

## О деформативности и сейсмостойкости конструкций из каменной кладки

**Олег Васильевич КАБАНЦЕВ**, доктор технических наук, доцент, профессор, e-mail: kanz@mgsu.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

**Геннадий Павлович ТОНКИХ**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник 2 НИЦ, e-mail: 5059144@mail.ru

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), 121352 Москва, ул. Давыдовская, 7

**Аннотация.** В статье изложены результаты исследований упругопластического деформирования и разрушения каменной кладки при двухосном напряженном состоянии. Приведены результаты экспериментальных исследований деформирования каменных конструкций в условиях, соответствующих режиму работы при сейсмических воздействиях. Показаны механизмы формирования и накопления микроразрушений в каменной кладке при плосконапряженном состоянии. Обосновано наличие пластической фазы деформирования каменных конструкций с учетом сейсмических воздействий. По результатам исследований определены значения коэффициентов пластичности каменной кладки для условий двухосного напряженного состояния и величины коэффициентов допускаемых повреждений для каменных конструкций сейсмостойких зданий. Результаты исследований подтверждают корректность нормативных подходов к расчету каменных конструкций сейсмостойких зданий с учетом допустимого объема повреждений.

**Ключевые слова:** каменная кладка, кирпич, раствор, напряженно-деформированное состояние, деформативность, пластическое деформирование, несущая способность.

## DEFORMABILITY AND SEISMIC RESISTANCE OF MASONRY CONSTRUCTIONS

**Oleg V. KABANTSEV**, e-mail: kanz@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

**Gennadiy P. TONKIKH**, e-mail: 5059144@mail.ru

All-Russian Research Institute on Civil Defense and Emergency Situations of EMERCOM of Russia, ul. Davydovskaya, 7, Moscow 121352, Russian Federation

**Abstract:** The article presents the results studies of elastic-plastic deformation masonry under biaxial stress state. The results of experimental research masonry deformation in conditions corresponding to the mode of operation under seismic influences are presented. Shows the mechanisms of formation and accumulation of micro destruction in a biaxial stress state. The presence the plastic phase of deformation masonry in the conditions of seismic influences is proved. Based on the research results, the values of the masonry ductility coefficients for biaxial stress state conditions and the values of the allowable damage coefficients for stone structures of earthquake-resistant buildings were determined. The research results confirm the correctness of regulatory approaches to the calculation masonry structures earthquake-resistant buildings, taking into account the allowable amount of damage.

**Key words:** masonry, brick, mortar, strain-stress state, deformability, plastic deformation, bearing capacity.

Серия статей, посвященных вопросам пластичности каменной кладки, опубликована в 2019 г. в журнале «Промышленное и гражданское строительство». В статье «Каменная кладка: хрупкий или пластичный материал?» [1] автор приводит следующее утверждение: «Поставленный в заголовке статьи вопрос по своей сути — риторический, не требующий в силу своей крайней очевидности ответа...». Далее в

этой же статье, равно как и в публикации [2], автор обосновывает выводы о том, что «...эффект пластичности кирпичной кладки зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах, полностью отсутствует...», а также: «...кирпичная кладка должна быть отнесена к упругохрупким материалам...» [1, с. 26].

Приведенные выводы автора [1, 2] следует обсудить детально. Поскольку в этих статьях изло-

жено мнение о каменных конструкциях в сейсмоопасных районах, рассмотрим проблему нормирования сейсмостойкости несущих конструкций в целом и каменных конструкций в частности. Прогноз сейсмостойкости зданий в рамках современных норм основан на концепции предельных состояний и базируется на принципе учета упругопластической работы конструкций при сейсмических воздействиях, что

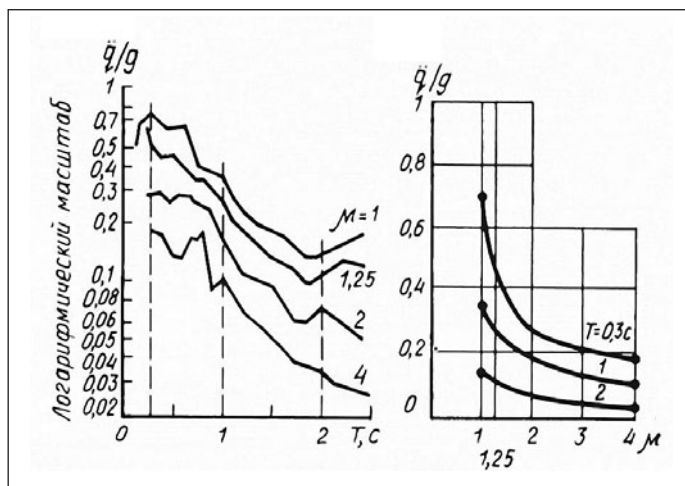


Рис. 1. Графики зависимости динамической реакции нелинейного осциллятора при различном уровне пластических деформаций системы [6]

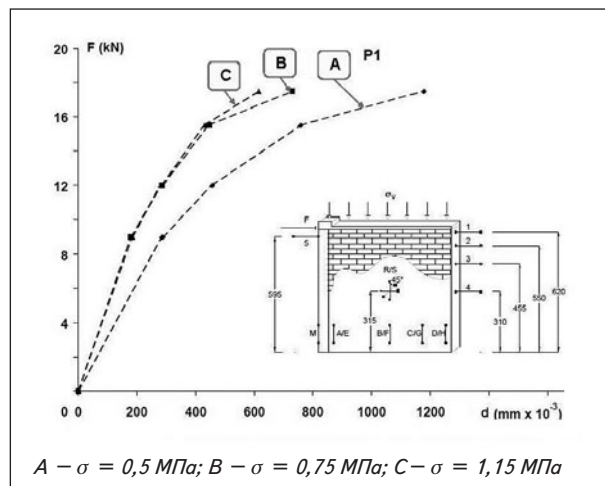


Рис. 2. График зависимости «сдвигающая сила – смещение» при различных сжимающих напряжениях в горизонтальном шве [16]

реализовано в действующих нормах путем введения коэффициента допустимых повреждений  $K_1$ . Этот коэффициент соответствует обобщенной характеристике состояния несущей системы здания в режиме «после землетрясения», которая определяется как предельно допустимая величина «остаточных деформаций», что представляет собой результат пластической фазы деформирования. Такой подход был предложен и обоснован в ряде работ ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко [3, 4].

В нормы европейского сообщества Eurocode 8 [5], посвященные вопросам сейсмостойкого строительства, введен коэффициент, аналогичный  $K_1$  отечественных норм и именуемый коэффициентом поведения  $q$ . Данное в еврокоде определение достаточно полно характеризует его сущность: коэффициент поведения вводится «...с целью отказа от выполнения явного нелинейного расчета конструкции при проектировании, способность конструкции рассеивать энергию за счет пластического деформирования ее элементов или же путем использования других механизмов учитывается с помощью линейного расчета, ос-

нованного на спектре редуцированной реакции, который в дальнейшем будет называться расчетным спектром. Указанная редуциция достигается за счет введения коэффициента поведения  $q$ , «...коэффициент поведения  $q$  является аппроксимацией отношения фактических сейсмических усилий которые конструкция могла бы выдержать, если бы ее реакция была полностью упругой и она имела 5 %-ное вязкое демпфирование, к минимальным сейсмическим силам, используемым при проектировании с применением линейной модели. Таким образом, коэффициент  $q$  обеспечивает удовлетворительную реакцию конструкции при ее линейном расчете».

С учетом упругопластического характера работы конструкций при сейсмическом воздействии может (и должен) измениться динамический отклик системы. В работе А. S. Veletsos [6] выполнен анализ влияния уровня пластических деформаций, реализованных в системе при динамическом воздействии, на динамическую реакцию такой системы. Показано, что величина относительного ускорения нелинейного осциллятора ( $\ddot{q}/g$ ) существенным образом зависит от уровня пла-

стических деформаций в общей величине деформаций. Для оценки влияния пластической фазы на сейсмическую реакцию введено понятие коэффициента пластичности  $\mu$ :

$$\mu = 1 + \frac{Z_{pl}}{Z_{el}}, \quad (1)$$

где  $Z_{pl}$  и  $Z_{el}$  – соответственно пластические и упругие деформации системы.

Влияние объема пластической фазы деформаций на динамическую реакцию нелинейного осциллятора представлено на рис. 1. Исследования [6] и аналогичные работы показывают, что динамическая реакция осциллятора может быть снижена при допущении некоторого объема пластической деформации конструкции. Величина объема пластической фазы определяется как возможностями конструкции и конструкционного материала, так и обеспечением требуемого уровня надежности конструкции в целом. Учет упругопластического характера работы конструкций совершенно необходим в рамках современного представления об обеспечении сейсмостойкости зданий и сооружений, что и отражено в современных нормах сейсмостойкого строительства (СП 14.13330.2018).

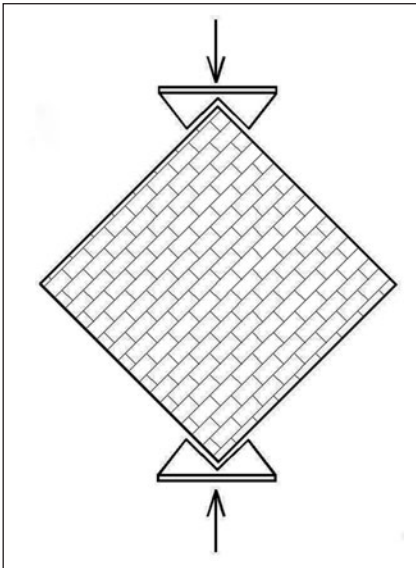


Рис. 3. Схема экспериментальных исследований с диагональным нагружением образца из каменной кладки



Рис. 4. Общий вид образца в испытательной установке

По результатам исследований [7–11] в СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах» упругопластический характер работы каменных конструкций учитывался введением коэффициента допускаемых повреждений  $K_1 = 0,25$ . Значение коэффициента допускаемых повреждений  $K_1 < 1$  означает возможность реализации достаточно большого объема допускаемых

### 1. Повреждаемость зданий различных конструктивных систем при землетрясениях

Конструктивный тип	Средняя степень повреждения $d$
Каменные здания с монолитными железобетонными поясами и включениями: образующими четкий пространственный каркас	1,3
не образующими четкий пространственный каркас	2,2
Каменные здания с монолитными железобетонными поясами	2,8
Крупнопанельные здания	1,1
Здания с железобетонным каркасом	2,3
Монолитные железобетонные здания	1,5

повреждений, что и определяет некоторый (и весьма значимый!) объем пластической фазы деформирования. Таким образом, даже на начальном этапе разработки концепции сейсмостойкости, основанной на принципах предельных состояний, было принято, что каменные конструкции способны реализовать пластическую фазу деформирования и при этом их состояние «после землетрясения» с остаточными деформациями, которые определяются наличием локальных разрушений, признавалось приемлемым. В последующих редакциях норм коэффициент  $K_1$  для конструкций из каменной кладки увеличен до 0,4. Однако и принятое увеличенное значение коэффициента соответствует возможности реализации значительных объемов пластических деформаций в каменных конструкциях при сейсмических воздействиях.

На основе концепции современных норм были запроектированы здания и сооружения, подвергшиеся сейсмическим воздействиям. Анализ последствий землетрясений [12, 13] показал, что каменные здания, запроектированные с учетом допущения развития в несущих конструкциях пластических деформаций, обеспечивают в целом необходимый уровень сейсмостойкости при

расчетном сейсмическом воздействии. Обобщенный анализ повреждаемости каменных зданий по ряду землетрясений представлен в [14] (табл. 1).

Приведенные выше сведения позволяют сформулировать следующее. Каменные конструкции реализуют пластическую фазу деформирования в условиях сейсмических воздействий. Действующие отечественные и зарубежные нормы сейсмостойкого строительства регламентируют учет возможности развития пластических деформаций в каменных конструкциях путем введения коэффициента допускаемых повреждений  $K_1 < 1$  или его аналога в еврокоде коэффициента поведения  $q$ . Сейсмическая реакция каменных зданий в условиях реальных землетрясений подтверждает справедливость и корректность принятой концепции.

Однако если по мнению автора статьи [1] «...кирпичная кладка должна быть отнесена к упругохрупким материалам...» и «...эффект пластичности кирпичной кладки зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах, полностью отсутствует...», то и объем допустимых повреждений должен быть близок к нулю, а соответствующий  $K_1 \approx 1$ . В таком случае принципы отечественных и зарубежных норм не отражают



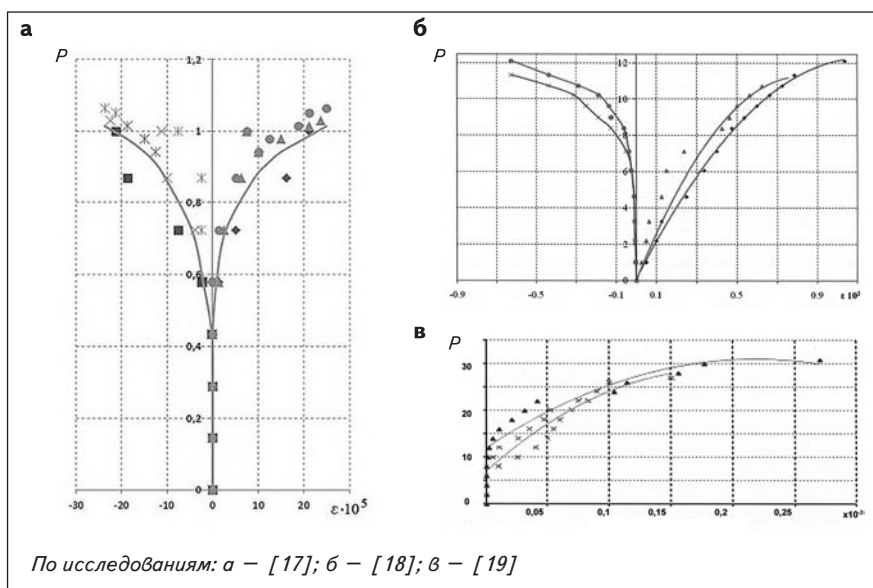


Рис. 5. Диаграммы относительных деформаций образцов из каменной кладки (знак деформаций: положительный – деформации сжатия)

представляемых автором работ [1, 2] свойств каменной кладки и требуют коренного пересмотра с отказом от учета пластической фазы деформирования каменных конструкций. Столь радикальные и вместе с тем спорные утверждения являются исключением из общего мнения ученых и исследователей в области сейсмостойкого строительства. Более того, мнение автора исследований [1, 2] входит в прямое противоречие с результатами исследований ученых ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, лежащих в основе действующих норм.

Утверждения автора публикаций [1, 2] базируются на анализе результатов исследований (в том числе экспериментальных) каменных конструкций в условиях осевого центрального и внецентренного сжатия, но такие условия не являются сколько-нибудь значимыми для каменных конструкций при сейсмических воздействиях.

Как показано и обосновано в работах [8, 11], в условиях землетрясения сейсмостойкость каменных зданий определяется работой стен, параллельных направлению сейсмических воздей-

ствий, которые (в силу своей жесткости) воспринимают горизонтальные нагрузки. При этом в стенах формируется двухосное напряженное состояние, условия которого принципиально отличны от условий одноосного центрального или внецентренного сжатия. С учетом указанных столь значимых отличий в работе [15] предложена деформационная теория **пластичности каменной кладки** (выделено авторами данной статьи) как гомогенной среды с набором необходимых характеристик прочности. В рамках теории, предложенной в работе [15], обоснованы соотношения, позволяющие решать задачи плоского (двухосного) напряженного состояния, включая условия сейсмических воздействий. Таким образом, использование результатов экспериментальных исследований каменных конструкций в условиях осевого центрального и внецентренного сжатия для анализа работы каменных конструкций при двухосном напряженном состоянии некорректно.

Наличие пластической фазы деформирования каменных конструкций в условиях двухосного

напряженного состояния было подтверждено также в рамках физических экспериментов. Так, зарубежные исследователи [16] получили экспериментальные зависимости, демонстрирующие наличие пластической фазы деформирования каменных конструкций в условиях плоского напряженного состояния (рис. 2).

В целях научного обоснования важнейших характеристик, определяющих сейсмостойкость каменных конструкций, а также для разработки научно обоснованных методик повышения их сейсмостойкости в России за последние 20 лет проведены экспериментальные и теоретические исследования каменной кладки, а также кладки с различными элементами, повышающими сейсмостойкость [17–21].

Отечественные исследования выполнены по иной (по отношению к зарубежным методикам) схеме исследований – применен рекомендованный С. В. Поляковым метод, в рамках которого образец из каменной кладки нагружается по диагонали (рис. 3, 4). При такой схеме нагружения, как показано С. В. Поляковым, в центральной зоне образца формируется напряженное состояние, в наибольшей степени соответствующее состоянию каменной конструкции при сейсмических воздействиях. В результате исследовательских работ получены экспериментально обоснованные зависимости «усилия – относительные деформации» (рис. 5).

Анализ представленных результатов отечественных и зарубежных исследований показывает: экспериментально установленные схемы деформирования при двухосном напряженном состоянии, которое формируется в условиях сейсмических воздействий в каменных конструкциях, однозначно демонстрируют наличие нелинейной зависимости

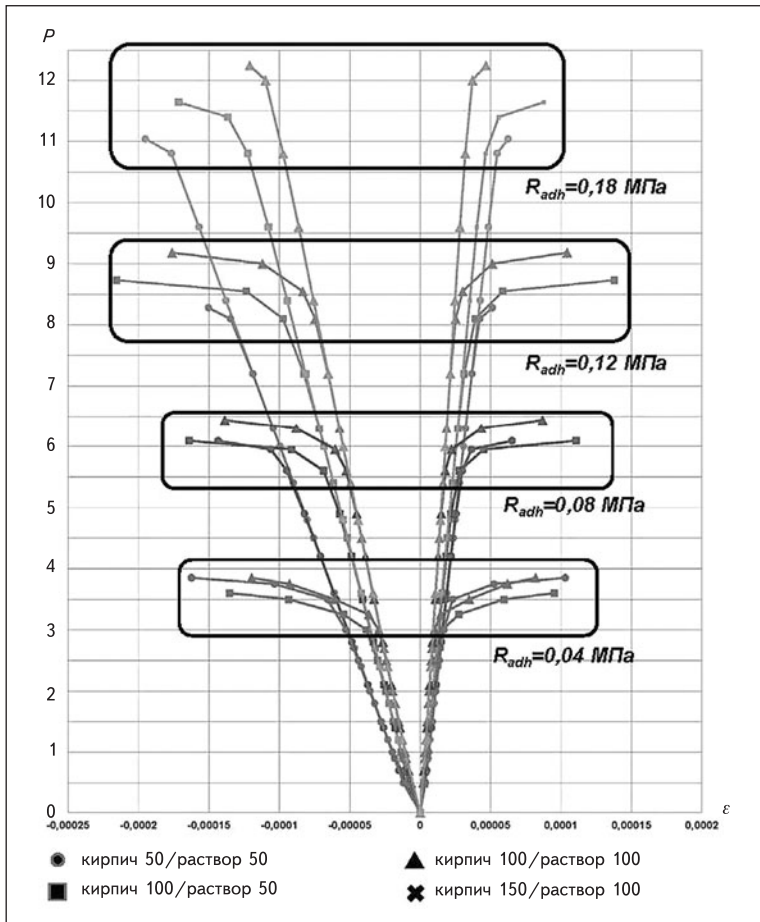


Рис. 6. Графики «нагрузка – деформации» ( $P$  – нагрузка;  $\varepsilon$  – относительные деформации)

«нагрузка – деформации». Указанная нелинейная зависимость определяется формированием под нагрузкой двух выраженных фаз – упругой и пластической. Пластическая фаза при этом реализуется в большей или меньшей степени, что связано с механическими характеристиками каменной кладки, которая является выраженным кусочно-однородным композитом и характеризуется как параметрами базовых материалов (кирпич и раствор), так и условиями их взаимодействия.

Исследованиями установлено, что уровень несущей способности каменной кладки при двухосном напряженном состоянии находится в прямой зависимости от уровня адгезионной прочности  $R_{adh}$  взаимодействия кирпича и

раствора в горизонтальном кладочном шве: чем больше адгезия, тем выше несущая способность, но меньше величина пластической фазы деформирования (рис. 6).

В условиях двухосного напряженного состояния величина пластичности характеризуется коэффициентом пластичности  $\mu$ , значение которого определяется по формуле Н. Н. Попова и Б. С. Расторгуева [22]:

$$\mu = \varepsilon_{tot} / \varepsilon_{el}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{tot}$  – полные относительные упруго-пластические деформации фазы;  $\varepsilon_{el}$  – относительные деформации упругой фазы.

Формула (2) имеет надежное теоретическое и экспериментальное обоснование и представляет собой важнейшую составля-

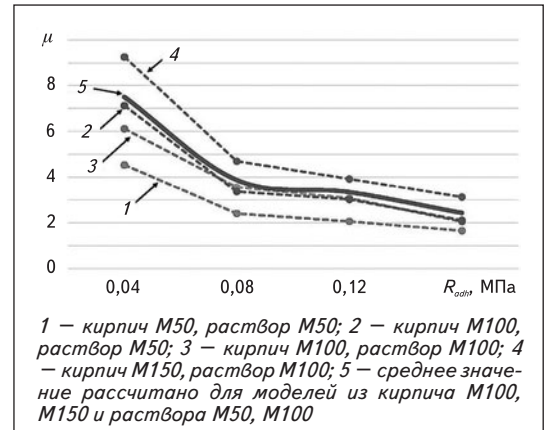


Рис. 7. График коэффициента пластичности  $\mu$

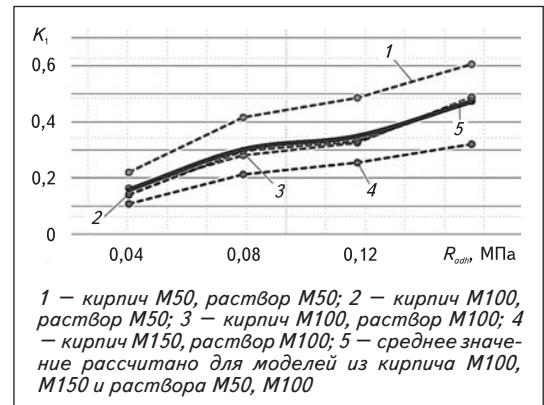


Рис. 8. График коэффициента допускаемых повреждений  $K_d$  для каменной кладки

ющую основ теории расчета железобетонных конструкций при кратковременных динамических воздействиях, например расчет железобетонных конструкций убежищ и других защитных сооружений. При этом следует отметить, что необоснованное отрицание или непонимание смысла формулы (2), высказанное в статьях [1, 2], не является основанием для отказа от ее применения. В противном случае следовало бы отказаться от использования ключевых положений теории расчета железобетонных конструкций при кратковременных динамических воздействиях, разработанных учеными МИСИ (МГСУ), включая в том числе методы оценки пластичности.

На основе формулы (2) построены графики коэффициента

пластичности как функции величины адгезионной прочности взаимодействия кирпича и раствора в горизонтальном кладочном шве [23] (рис. 7).

Анализ графика (см. рис. 7) показывает, что при повышении уровня адгезионной прочности коэффициент пластичности снижается, чему в результате исследований получено следующее обоснование. Если блокирован основной механизм, обеспечивающий развитие пластической фазы — формирование и накопление микроразрушений в зоне контакта кирпича и раствора в горизонтальном шве (высокая адгезия этому препятствует) — разрушения формируются в менее пластичном материале — кирпиче (камне), что приводит к снижению величины пластической фазы, т. е. к снижению коэффициента пластичности.

Полученные в исследованиях результаты подтверждают предположение С. В. Полякова о том, что деформирование и разрушение кладки (т. е. процессы, формирующие пластическую фазу деформирования) определяются не только суммой деформаций кирпича и раствора или разрушением этих материалов, но в су-

щественно большей мере — деформированием или разрушением «...тонких слоев контактных прослоек» [24, с. 65].

Коэффициент допускаемых повреждений  $K_1$  для каменных конструкций определен по [25] как функция коэффициента пластичности по формуле

$$K_1 = \frac{1}{2\mu_{lim} - 1}, \quad (3)$$

где  $\mu_{lim}$  — предельно допустимое значение коэффициента пластичности.

На основе формулы (3) построены графики коэффициента допускаемых повреждений  $K_1$  для каменных конструкций как функции адгезионной прочности взаимодействия кирпича и раствора в горизонтальном кладочном шве (рис. 8).

Результаты исследований показывают, что в отдельных случаях (например, для кладки из кирпича М100 на растворе М100 при высоком уровне адгезионной прочности  $R_{adh} = 0,18$  МПа) величина нормативного значения коэффициента допускаемых повреждений  $K_1 = 0,4$  недостаточна и требует увеличения.

Обобщенные результаты исследований деформативности и несущей способности конструк-

ций из каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния, включая характеристики сейсмостойкости, приведены в работе [26], представлены на международных и национальных конференциях, где получили положительную оценку специалистов.

### Вывод

«Риторический» вопрос автора статьи «Каменная кладка: хрупкий или пластичный материал?» [1] имеет обоснованный научными исследованиями ответ: анализ сейсмической реакции зданий из каменной кладки, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований однозначно подтверждают наличие пластической фазы деформирования каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния, что соответствует концепции работы каменных конструкций при сейсмических воздействиях, принятой при формировании современных норм сейсмостойкого строительства. Отрицание наличия пластических свойств не соответствует объективно установленной схеме работы каменных конструкций в условиях сейсмических воздействий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Грановский А. В. Каменная кладка: хрупкий или пластичный материал? // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 3. С. 22–28. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.03.22-28.
2. Грановский А. В. Может ли кладка стен из керамического пустотелого камня обладать пластичностью // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 77–82. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.07.77-82.
3. Айзенберг Я. М., Климиник Л. Ш. О критериях предельных состояний и диаграммах «восстанавливающая сила–перемещение» при расчетах на сейсмические воздействия // Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений / под ред. И. И. Гольденבלата). М. : Стройиздат, 1972. С. 46–60.
4. Ойзерман В. И. Расчет конструкций на сейсмическое воздействие по методу предельных состояний // Реферативная информация ЦИНИС. Сер. XIV. 1978. Вып. 9. С. 4–7.
5. EN 1998-1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules seismic actions and rules for buildings [Еврокод 8. Правила расчета с учетом сейсмостойкости строительных конструкций. Ч. 1. Общие правила. Сейсмические воздействия и общие требования к зданиям]. Brussels, CEN, 2005. 102 p.
6. Veletsos A. S. Effect of inelastic behavior on the response of simple systems to earthquake motion [Влияние неупругого поведения на реакцию простых систем при землетрясении] // Proc. 2nd World Conf. on Earthquake Engineering. Japan, Tokyo and Kyoto, 1960. Vol. II. Pp. 895–912.
7. Коноводченко В. И. Исследования сейсмостойкости кирпичной кладки и виброкирпичных панелей // Сейсмостойкость крупнопанельных и каменных зданий. М. : Стройиздат, 1967. С. 171–180.
8. Поляков С. В., Сафаргалиев С. М. Сейсмостойкость зданий с несущими кирпичными стенами. Алма-Ата : Казахстан, 1988. 185 с.



9. Сафаргалиев С. М. Сейсмостойкость зданий из индустриальных кирпичных изделий. Алма-Ата: Наука КазССР, 1988. 181 с.
10. Кожаринов С. В. Исследование деформаций кирпичной кладки при действии горизонтальных нагрузок // Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений: сб. ИССС АН ТаджССР. Душанбе, 1980. С. 127–134.
11. Корчинский И. Л., Поляков С. В. К расчету стен каменных зданий, возводимых в сейсмических районах // Строительная механика и расчет сооружений. 1959. № 3.
12. Андреев О. О., Ойзерман В. И. Уроки землетрясения. Общие выводы // Карпатское землетрясение 1986 г. / под ред. А. В. Друмя, Н. В. Шебалина, Н. Н. Складнева, С. С. Графова, В. И. Ойзермана. Кишинев : Штиинца, 1990. С. 323–325.
13. Кабанцев О. В. Макросейсмический эффект землетрясения 4 октября 1994 г. на островах Итуруп, Кунашир, Шикотан // Экспресс-информация ВНИИИС Госстроя СССР. Сер. 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. М., 1995. Вып. 4. С. 7–11.
14. Ципенюк И. Ф. Оценка надежности и учет повторяемости землетрясений при расчетах крупнопанельных зданий на сейсмические воздействия // Развитие методов расчета на сейсмостойкость: сб. науч. тр. М., 1987. С. 138–152.
15. Тюпин Г. А. Деформационная теория пластичности каменной кладки // Строительная механика и расчет сооружений. 1980. № 6. С. 28–30.
16. Capozucca R. Shear behaviour of historic masonry made of clay bricks [Поведение исторической каменной кладки из глиняного кирпича в режиме сдвига] // The Open Construction and Building Technology Journal. 2011. No. 5. (Suppl 1-M6). Pp. 89–96.
17. Тонких Г. П., Кабанцев О. В., Симаков О. А. [и др.]. Экспериментальные исследования сейсмостойкости каменной кладки наружными бетонными аппликациями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 2. С. 35–41.
18. Тонких Г. П., Кошаев В. В., Кабанцев О. В. Экспериментальные исследования несущей способности комбинированной каменной кладки при главных нагрузках // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 6. С. 26–31.
19. Кабанцев О. В., Тонких Г. П. [и др.] Экспериментальные исследования несущей способности каменной кладки с трещинами при их инъецировании цементным раствором по разрядно-импульсной технологии // Вестник МГСУ. 2011. № 2. Т. 1. С. 127–135.
20. Копаница Д. Г., Усеинов Э. С. Динамические свойства фрагмента кирпичной кладки в процессе разрушения от действия сжимающей силы // Железобетонные конструкции. Исследования, проектирование, методика преподавания: сб. докладов Междунар. научно-методической конф., посвященной 100-летию со дня рождения В. Н. Байкова (4–5 апреля 2012 г., Москва) / под ред. А. Г. Тамразяна. М. : МГСУ, 2012. С. 182–187.
21. Копаница Д. Г., Кабанцев О. В., Усеинов Э. С. Экспериментальные исследования фрагментов кирпичной кладки на действие статической и динамической нагрузки // Вестник ТГАСУ. 2012. № 4. С. 157–178.
22. Попов Н. Н., Расторгуев Б. С. Динамический расчет железобетонных конструкций. М. : Стройиздат, 1974. 207 с.
23. Кабанцев О. В., Усеинов Э. С. Влияние уровня нормального сцепления на процесс пластического деформирования каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // Вестник ТГАСУ. 2015. № 6. С. 78–89.
24. Поляков С. В., Сафаргалиев С. М. Монолитность каменной кладки. Алма-Ата : Гылым, 1991. 160 с.
25. Кабанцев О. В., Усеинов Э. С., Шарипов Ш. О методике определения коэффициента допускаемых повреждений сейсмостойких конструкций // Вестник ТГАСУ. 2016. № 2. С. 117–129.
26. Кабанцев О. В. Прочность и деформативность каменной кладки при двухосном напряженном состоянии // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 16–23.

## REFERENCES

1. Granovsky A. V. Masonry: the brittle or plastic material? *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2019, no. 3, pp. 22–28. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.03.22-28. (In Russian).
2. Granovsky A. V. Whether can wall masonry of ceramic hollow stone has plasticity. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2019, no. 7, pp. 77–82. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.07.77-82. (In Russian).
3. Ayzenberg Ya. M., Kilimnik L. Sh. About criteria of limit States and diagrams the restoring force-displacement at calculations on seismic influences. *Seysmostoykost' zdaniy i inzhenernykh sooruzheniy* [Seismic resistance of buildings and engineering structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1972, pp. 46–60. (In Russian).
4. Oyzerman V. I. Calculation of structures for seismic effects by the method of limit states. *Referativnaya informatsiya TsINIS*, seriya XIV, 1978, iss. 9, pp. 4–7. (In Russian).
5. EN 1998-1. *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance*. Part 1: General rules seismic actions and rules for buildings. Brussels, CEN, 2005. 102 p.
6. Veletsos A. S. Effect of inelastic behavior on the response of simple systems to earthquake motion. *Proc. 2nd World Conf. on Earthquake Engineering*. Japan, Tokio and Kioto, 1960, vol. II, pp. 895–912.
7. Konovodchenko V. I. Research of seismic resistance of brickwork and vibro-brick panels. *Seysmostoykost' krupnopanel'nykh i kamennykh zdaniy* [Seismic resistance of large-panel and stone buildings]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1967, pp. 171–180. (In Russian).

8. Polyakov S. V., Safargaliev S. M. *Seysmostoykost' zdaniy s nesushchimi kirpichnymi stenami* [Seismic resistance of buildings with load-bearing brick walls]. Alma-Ata, Kazhakhstan Publ., 1988. 185 p. (In Russian).
9. Safargaliev S. M. *Seysmostoykost' zdaniy iz industrial'nykh kirpichnykh izdeliy* [Seismic resistance of buildings made of industrial brick products]. Alma-Ata, Nauka KazSSR Publ., 1988. 181 p. (In Russian).
10. Kozharinov S. V. Investigation of masonry deformations under the action of horizontal loads. *Dinamika i seysmostoykost' zdaniy i sooruzheniy* [Dynamics and seismic stability of buildings and structures]. Proc. ISSS AN TadzhSSR. Dushanbe, 1980, pp. 127–134. (In Russian).
11. Korchinskiy I. L., Polyakov S. V. To the calculation the walls of stone buildings erected in seismic areas. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 1959, no. 3. (In Russian).
12. Andreev O. O., Oyzerman V. I. The lessons from the earthquake. General conclusion. *Karpatskoe zemletryasenie 1986 g.* [Carpathian earthquake of 1986]. Kishinev, Shtiintsa Publ., 1990, pp. 323–325. (In Russian).
13. Kabantsev O. V. Macroseismic effect of the October 4, 1994 earthquake on Iturup, Kunashir, Shikotan islands. *Ekspress-informatsiya VNIIS Gosstroya SSSR. Ser. 14. Stroitel'stvo v osobyykh usloviyakh. Seysmostoykoe stroitel'stvo*. Moscow, 1995, iss. 4, pp. 7–11. (In Russian).
14. Tsipenyuk I. F. Assessment of reliability and consideration of earthquake repeatability in the calculations of large-panel buildings for seismic effects. *Razvitiye metodov rascheta na seysmostoykost'* [Development of methods of calculation for seismic resistance]. Moscow, 1987, pp. 138–152. (In Russian).
15. Tyupin G. A. Deformation theory masonry plasticity. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 1980, no. 6, pp. 28–30. (In Russian).
16. Capozucca R. Shear behaviour of historic masonry made of clay bricks. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2011, no. 5 (Suppl 1-M6), pp. 89–96.
17. Tonkikh G. P., Kabantsev O. V., Simakov O. A. et al. Experimental studies of masonry aseismic reinforcement using external concrete applications. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*, 2011, no. 2, pp. 35–41. (In Russian).
18. Tonkikh G. P., Koshaev V. V., Kabantsev O. V. Experimental studies in combined stone masonry under main loads. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*, 2007, no. 6, pp. 26–31. (In Russian).
19. Kabantsev O. V., Tonkikh G. P. et al. The experimental study of the bearing capacity of masonry with cracks after the injection of the cement mortar using the discharge-pulse technology. *Vestnik MGSU*, 2011, no. 2, vol. 1, pp. 127–135. (In Russian).
20. Kopanitsa D. G., Useinov E. S. Dynamic properties of a fragment of brickwork in the process of destruction from the action of compressive force. *Zhelezobetonnye konstruksii. Issledovaniya, proektirovanie, metodika prepodavaniya* [Reinforced concrete structure. Research, design, teaching methodology]. Proc. doklady Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii, posvyashchenoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya V. N. Baykova (Moscow, April 4–5 2012) Moscow, MGSU Publ., 2012, pp. 182–187. (In Russian).
21. Kopanitsa D. G., Kabantsev O. V., Useinov E. S. Experimental investigations of the masonry fragments to the action of static and dynamic loads. *Vestnik TGASU*, 2012, no. 4, pp. 157–178. (In Russian).
22. Popov N. N., Rastorguev B. S. *Dinamicheskiy raschet zhelezobetonnykh konstruksiy* [Dynamic calculation reinforced concrete structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 207 p. (In Russian).
23. Kabantsev O. V., Useinov E. S. Plastic deformation of masonry under biaxial stress affected by adhesive strength between brick and mortar. *Vestnik TGASU*, 2015, no. 6, pp. 78–89. (In Russian).
24. Polyakov S. V., Safargaliev S. M. *Monolitnost' kamennoy kladki* [Monolithic character of the masonry]. Alma-Ata, Gylym Publ., 1991. 160 p. (In Russian).
25. Kabantsev O. V., Useinov E. S., Sharipov Sh. Determination of allowable damage factor of antiseismic structures. *Vestnik TGASU*, 2016, no. 2, pp. 117–129. (In Russian).
26. Kabantsev O. V. Strength and deformability of masonry under biaxial stress state. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2016, no. 7, pp. 16–23. (In Russian).

Для цитирования: Кабанцев О. В., Тонких Г. П. О деформативности и сейсмостойкости конструкций из каменной кладки // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 51–58. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.51-58.

For citation: Kabantsev O. V., Tonkikh G. P. Deformability and Seismic Resistance of Masonry Constructions. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2019, no. 9, pp. 51–58. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.51-58. ■