
Формирование таблиц для предварительной оценки несущей способности центрально-нагруженного простенка из каменной кладки с упругой характеристикой 1000, 1200 и 1500

Б.К. Джамуев, А.С. Малькова, В.А. Кирпичникова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация: В статье представлены результаты исследования, целью которого является формирование таблиц для предварительной оценки несущей способности погонного метра центрально-нагруженного простенка различной толщины, высоты и прочности, выполненного из каменной кладки с упругой характеристикой $\alpha=1000, 1200, 1500$. Проанализированы результаты расчета 540 различных вариаций центрально-нагруженного каменного элемента с различными видами материала камня и раствора. Результаты исследования позволяют исключить использование программного комплекса для предварительного определения несущей способности центрально-нагруженной каменной конструкции и могут стать частью практического пособия инженеров, занимающихся техническим обследованием и проектированием конструкций из каменной кладки.

Ключевые слова: несущая способность, простенок, каменная конструкция, упругая характеристика кладки, центрально-нагруженный элемент, камень, кирпич, блок, кладочный раствор, коэффициент продольного изгиба, гибкость.

Введение

Каменная кладка по-прежнему широко используется в современном строительстве – для облицовки фасадов зданий и создания фундаментов. Традиционно используется несколько типов каменной кладки – кирпичная, блочная и бутовая [1, 2].

Каменная кладка имеет ряд преимуществ, в том числе высокую прочность и долговечность, хорошие эстетические качества, устойчивость к воздействию внешних факторов, таких, как влажность, температура и механические нагрузки. Однако, у каменной кладки имеется и ряд недостатков: высокая стоимость материалов и трудоемкость процесса укладки. Тем не менее, благодаря своим преимуществам каменная кладка остается популярным и востребованным методом строительства [3].

Техническое обследование зданий из каменной кладки, в том числе исторических объектов культурного наследия [4–6], рекомендуется проводить периодически, чтобы своевременно выявлять и устранять возможные проблемы, которые могут возникнуть в результате износа материалов, неправильной эксплуатации или воздействия внешних факторов [7, 8].

Определение несущей способности существующих конструкций – одна из ключевых задач инженерно-технического обследования. Это сложный процесс, требующий глубокого анализа состояния объекта, учитывающего воздействие множества факторов, накопившихся за период эксплуатации [9]. Конструкции, независимо от материала подвергаются постоянному воздействию агрессивных сред. Это могут быть климатические факторы: циклическое замораживание и оттаивание, атмосферные осадки, ветровые нагрузки, температурные колебания. Технологические воздействия также оказывают существенное влияние: вибрации от работающего оборудования, неравномерные осадки грунта, неправильная эксплуатация, недостаточный или избыточный уход. Все эти факторы приводят к развитию различных дефектов и повреждений, снижающих прочностные характеристики и эксплуатационные качества конструкции [10, 11].

Несущая способность каменных конструкций определяется в соответствии с указаниями СП 15.13330.2020. При этом, зачастую, оперативно определить несущую способность на объекте, например, в полевых условиях, не представляется возможным, из-за привязки к техническому обеспечению для возможности использования программного комплекса [12–14]. Таким образом, результаты исследования актуальны для инженеров-обследователей, находящихся в полевых условиях и не имеющих возможность использования программного комплекса, с целью ускоренного определения несущей способности центрально-нагруженной каменной

конструкции, а также для проектировщиков, тем самым сокращая время на выполнение конкретного раздела отчетной документации.

Модели и методы

Целью исследования является формирование таблиц для ускорения процесса определения в полевых условиях несущей способности погонного метра центрально-нагруженного элемента различной толщины, высоты и прочности, выполненного из каменной кладки с упругой характеристикой $\alpha=1000, 1200, 1500$.

Объектом исследования является центрально-нагруженный элемент (стена, простенок, колонна), выполненный из каменной кладки, упругая характеристика которой составляет $\alpha=1000, 1200, 1500$ т.е. исследование охватывает следующие виды кладок, прочность которых находится в пределах от 0,1 МПа до 20,0 МПа:

1) кладка из полнотелого и пустотелого керамического кирпича пластического прессования, из пустотелых силикатных камней, из камней, изготовленных из бетона на пористых заполнителях и поризованного, из легких природных камней на растворах марок М25-М200;

2) кладка из крупных блоков, изготовленных из бетона на пористых заполнителях и поризованного, крупнопористого бетона на легких заполнителях, плотного силикатного бетона и из легкого природного камня на растворах марок М25-М200;

3) кладка из керамических камней (кроме крупноформатных) на растворах марок М10-М200;

4) кладка из камней, изготовленных из тяжелого бетона, тяжелых природных камней и бута на растворах марок М10-М200;

5) кладка из крупных блоков, изготовленных из тяжелого и крупнопористого бетона на тяжелых заполнителях и из тяжелого природного камня (плотностью ≥ 1800 кг/м³) на растворах марок М10-М200;

Ограничения по расчетной схеме, а именно по способам закрепления в уровнях горизонтальных опор, в данном исследовании не вводились, т.к. предполагается, что расчетная высота элемента заранее определена. В исследовании расчетная высота образцов начинается с 0,1 м и далее варьируется в пределах 1,0-5,0 м с шагом 1,0 м, фактическая длина составляет 1,0 м (погонный метр) с шагом 0,1 м, прочность кладки варьируется от 0,1 МПа до 20,0 МПа. Т.к. исследование в первую очередь направлено на инженеров, занимающихся обследованием зданий и сооружений, то в нем рассматривается кирпичная кладка толщиной в 1,5 (380 мм), 2,0 (510 мм), 2,5 (640 мм), 3,0 (770 мм), 3,5 (900 мм) кирпича, как наиболее распространённая для несущих кирпичных стен зданий, возведенных с начала XX века по настоящее время.

На рис. 1 представлены размеры объекта исследования (рис. 1а) и схема нагружения (рис. 1б).

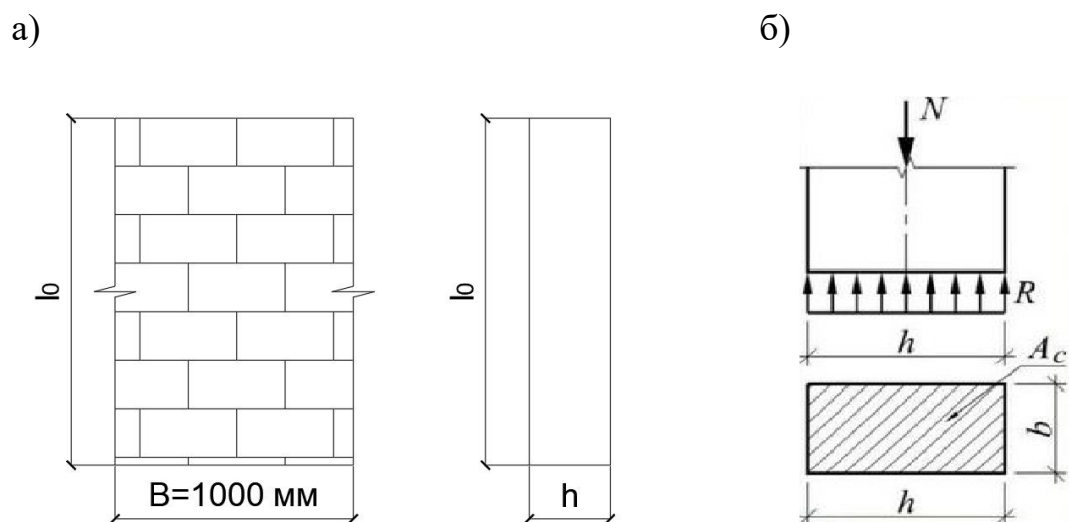


Рис. 1. – Размеры объекта исследования (а) и схема нагружения (б)

Величина максимальной расчетной продольной силы, при которой произойдет исчерпание несущей способности в центрально-нагруженном

неармированном каменном элементе, определялась согласно п.7.1 СП 15.13330.2020:

$$N_{ult} = m_g \cdot \varphi \cdot R \cdot A, \quad (1)$$

где m_g – коэффициент, учитывающий влияние длительной нагрузки и принимаемый равным единицы, если меньший из двух размеров прямоугольного поперечного сечения элемента ≥ 30 см;

R – расчетное сопротивление сжатию кладки, определяемое по таблицам раздела 6 СП 15.13330.2020 с учетом понижающих коэффициентов и коэффициентов условий работы γ_c (МПа). В исследовании величина расчетного сопротивления кладки варьировалась от 0,1 МПа до 5,0 МПа;

A – площадь поперечного сечения элемента (см²)

φ – коэффициент продольного изгиба.

Значение коэффициента продольного изгиба определялось по таблице 7.1 СП 15.13330.2020 [12] по предварительно найденной величине гибкости и заданной упругой характеристике кладки:

$$\lambda_h = l_0 / h, \quad (2)$$

где l_0 – расчетная высота (длина) элемента, определяемая согласно п.7.3 СП 15.13330.2020, в зависимости от условий опирания на горизонтальные опоры (м). В исследовании расчетная высота элемента варьировалась от 0,1 м до 5,0 м;

h – толщина элемента (м). В рамках исследования использовались толщины элементов кратные размеру кирпича, т.е.: 1,5 (380 мм), 2,0 (510 мм), 2,5 (640 мм), 3,0 (770 мм), 3,5 (900 мм) кирпича.

Результаты исследования

В соответствии с целью исследования была определена несущая способность различных вариаций центрально-нагруженного каменного элемента. Результаты расчета каменной кладки приведены в таблицах 1÷3.

Промежуточные значения следует определять путем линейного интерполирования.

Таблица № 1

Несущая способность погонного метра (кН) центрально-нагруженного каменного простенка при упругой характеристике кладки $\alpha=1000$

<i>при толщине кладки – 1,5 кирпича (380 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	38	38	37	35	33	31
1,0	380	380	370	350	330	308
5,0	1900	1900	1852	1752	1652	1541
10,0	3800	3800	3704	3504	3304	3082
15,0	5700	5700	5556	5256	4956	4623
20,0	7600	7600	7408	7008	6608	6164
<i>при толщине кладки – 2 кирпича (510 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	51	51	51	49	47	45
1,0	510	510	510	491	471	451
5,0	2550	2550	2550	2454	2354	2254
10,0	5100	5100	5100	4908	4708	4508
15,0	7650	7650	7650	7362	7062	6762
20,0	10200	10200	10200	9816	9416	9016
<i>при толщине кладки – 2,5 кирпича (640 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	64	64	64	63	61	59
1,0	640	640	640	631	611	591
5,0	3200	3200	3200	3156	3056	2956
10,0	6400	6400	6400	6312	6112	5912
15,0	9600	9600	9600	9468	9168	8868
20,0	12800	12800	12800	12624	12224	11824

Таблица № 2 (продолжение)

<i>при толщине кладки – 3 кирпича (770 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	77	77	77	77	75	73
1,0	770	770	770	770	752	732
5,0	3850	3850	3850	3850	3758	3658
10,0	7700	7700	7700	7700	7516	7316
15,0	11550	11550	11550	11550	11274	10974
20,0	15400	15400	15400	15400	15032	14632
<i>при толщине кладки – 3,5 кирпича (900 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	90	90	90	90	89	87
1,0	900	900	900	900	892	872
5,0	4500	4500	4500	4500	4460	4360
10,0	9000	9000	9000	9000	8920	8720
15,0	13500	13500	13500	13500	13380	13080
20,0	18000	18000	18000	18000	17840	17440

Таблица № 2

Несущая способность погонного метра (кН) центрально-нагруженного
каменного простенка при упругой характеристике кладки $\alpha=1200$

<i>при толщине кладки – 1,5 кирпича (380 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	38	38	37	35	34	32
1,0	380	380	372	355	336	316
5,0	1900	1900	1862	1774	1682	1580
10,0	3800	3800	3723	3549	3365	3160
15,0	5700	5700	5585	5323	5047	4741
20,0	7600	7600	7446	7098	6730	6321

Таблица № 2 (продолжение)

<i>при толщине кладки – 2 кирпича (510 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	51	51	51	49	48	46
1,0	510	510	510	495	477	459
5,0	2550	2550	2550	2473	2384	2294
10,0	5100	5100	5100	4946	4768	4588
15,0	7650	7650	7650	7420	7151	6881
20,0	10200	10200	10200	9893	9535	9175
<i>при толщине кладки – 2,5 кирпича (640 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	64	64	64	63	62	60
1,0	640	640	640	633	617	599
5,0	3200	3200	3200	3165	3083	2993
10,0	6400	6400	6400	6330	6166	5986
15,0	9600	9600	9600	9494	9250	8980
20,0	12800	12800	12800	12659	12333	11973
<i>при толщине кладки – 3 кирпича (770 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	77	77	77	77	76	74
1,0	770	770	770	770	755	739
5,0	3850	3850	3850	3850	3776	3693
10,0	7700	7700	7700	7700	7553	7385
15,0	11550	11550	11550	11550	11329	11078
20,0	15400	15400	15400	15400	15106	14770
<i>при толщине кладки – 3,5 кирпича (900 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	90	90	90	90	89	88
1,0	900	900	900	900	894	878
5,0	4500	4500	4500	4500	4468	4388
10,0	9000	9000	9000	9000	8936	8776
15,0	13500	13500	13500	13500	13404	13164
20,0	18000	18000	18000	18000	17872	17552

Таблица № 3

Несущая способность погонного метра (кН) центрально-нагруженного
каменного простенка при упругой характеристике кладки $\alpha=1500$

<i>при толщине кладки – 1,5 кирпича (380 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	38	38	38	36	35	33
1,0	380	380	375	362	346	328
5,0	1900	1900	1876	1808	1728	1639
10,0	3800	3800	3752	3616	3456	3278
15,0	5700	5700	5628	5424	5184	4917
20,0	7600	7600	7504	7232	6912	6556
<i>при толщине кладки – 2 кирпича (510 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	51	51	51	50	49	47
1,0	510	510	510	500	486	471
5,0	2550	2550	2550	2502	2429	2354
10,0	5100	5100	5100	5004	4857	4707
15,0	7650	7650	7650	7506	7286	7061
20,0	10200	10200	10200	10008	9714	9414
<i>при толщине кладки – 2,5 кирпича (640 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	64	64	64	64	62	61
1,0	640	640	640	636	625	610
5,0	3200	3200	3200	3178	3124	3049
10,0	6400	6400	6400	6356	6248	6098
15,0	9600	9600	9600	9534	9372	9147
20,0	12800	12800	12800	12712	12496	12196
<i>при толщине кладки – 3 кирпича (770 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	77	77	77	77	76	75
1,0	770	770	770	770	761	749
5,0	3850	3850	3850	3850	3804	3745
10,0	7700	7700	7700	7700	7608	7489
15,0	11550	11550	11550	11550	11412	11234
20,0	15400	15400	15400	15400	15216	14978

Таблица № 3 (продолжение)

<i>при толщине кладки – 3,5 кирпича (900 мм)</i>						
$l_0, \text{ м}$ $R, \text{ МПа}$	0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0,1	90	90	90	90	90	89
1,0	900	900	900	900	896	886
5,0	4500	4500	4500	4500	4480	4430
10,0	9000	9000	9000	9000	8960	8860
15,0	13500	13500	13500	13500	13440	13290
20,0	18000	18000	18000	18000	17920	17720

Выводы

1. В процессе исследования определена несущая способность более 540 различных вариаций центрально-нагруженного каменного простенка, выполненного из различных видов камня и раствора с упругой характеристикой $\alpha=1000, 1200, 1500$.

2. Разработан ускоренный способ определения несущей способности погонного метра центрально-нагруженного элемента, выполненного из каменной кладки, при имеющихся исходных данных (габаритах конструкции и прочности кладки), путем формирования таблицы для каждой рассмотренной упругой характеристики кладки.

3. Сформированные табличные данные и, как следствие этого результаты исследования, позволяют минимизировать необходимость использование программного комплекса, а в отдельных случаях практически полностью отказаться от него, что в конечном итоге сокращает время подготовки расчетного раздела отчетной документации.

4. Результаты исследования могут стать частью практического пособия инженеров, занимающихся техническим обследованием и проектированием конструкций из каменной кладки.

Литература

1. Бедов А.И., Габитов А.И. Проектирование, восстановление и усиление каменных и армокаменных конструкций: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Промышленное и гражданское строительство», «Городское строительство и хозяйство», «Гидротехническое строительство», «Проектирование зданий» направления подготовки «Строительство». Москва. Уфимский государственный нефтяной технический университет. 2017. 568 с.

2. Бедов А.И., Щепетьева Т.А. Проектирование каменных и армокаменных конструкций. Москва. АСВ. 2003. 240 с.

3. Бедов А.И., Знаменский В.В., Габитов А.И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Москва. АСВ. 2014. 704 с.

4. Забелина О.Б. Выбор способа усиления кирпичных вертикальных конструкций после детального технического обследования объекта федерального государственного бюджетного учреждения культуры «Политехнический музей» // Наука и бизнес: пути развития. 2018. №11(89). С. 102-107.

5. Гойкалов А.Н. Особенности технического обследования исторических зданий при их восстановлении с учетом дефектов и повреждений каменных конструкций // XXI научно-методическая конференция ВИТУ, посвященная 90-летию со дня рождения профессора В.Т. Гроздова. Санкт-Петербург. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». 2017. С. 334-340.

6. Ефимов В.В., Щуров Е.С. Основные проблемы обследования объектов культурного наследия // Инженерный вестник Дона. 2022. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7553.

7. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. Москва. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. 1987. 37 с.

8. Кашина И.В., Забейворота В.А., Данилейко И.Ю., Сериков Е.А. Обследование технического состояния жилого дома в городе Ростов-на-Дону // Инженерный вестник Дона. 2019. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5514.

9. Руководство по проведению натуральных обследований промышленных зданий и сооружений. Москва. ЦНИИпромзданий. 1975. 102 с.

10. Ищук М.К. Влияние различных факторов на оценку прочности кладки при сжатии (к вопросу совершенствования норм по каменным конструкциям) // Строительные материалы. 2020. № 7. С. 67-72.

11. Исследование прочности и деформативности крупнопанельных и каменных конструкций. Москва. ВНИИС Госстроя СССР. 1988. 176 с.

12. Улыбин А. В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 3(29). С. 29-34.

13. Деркач В.Н., Жерносек Н.М. Методы оценки прочности каменной кладки, в отечественной и зарубежной практике обследования зданий и сооружений // Вестник Белорусско-Российского университета. 2010. №3. С. 135-143.

14. Житушкин В.Г., Кучеров В.Н. Определение прочности кладки из кирпича в натуральных условиях // Жилищное строительство. 2001. №9. С. 11-12.

References

1. Bedov A.I., Gabitov A.I.. Proektirovanie, vosstanovlenie i usilenie kamennyh i armokamennyh konstrukcij [Design, Restoration and Strengthening of



Masonry and Reinforced Masonry Structures]. Moskva. Ufimskij gosudarstvennyj neftjanoy tehnikeskij universitet. 2017. 568 p.

2. Bedov A.I., Shchepetieva T.A. Proektirovanie kamennyh i armokamennyh konstrukcij [Design of Masonry and Reinforced Masonry Structures]. Moskva. ASV. 2003. 240 p.

3. Bedov A.I., Znamensky V.V., Gabitov A.I. Ocenka tehnikeskogo sostojanija, vosstanovlenie i usilenie osnovanij i stroitel'nyh konstrukcij jekspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij [Assessment of the Technical Condition, Restoration and Strengthening of Foundations and Building Structures of Operated Buildings and Structures]. ASV. 2014. 704 p.

4. Zabelina O.B. Nauka i biznes: puti razvitija. 2018. №11(89). pp. 102-107.

5. Gojkalov A.N. XXI nauchno-metodicheskaja konferencija VITU, posvjashhennaja 90-letiju so dnja rozhdenija professora V.T. Grozdova. FGAOU VO «Sankt-Peterburgskij politehnikeskij universitet Petra Velikogo». 2017. pp. 334-340.

6. Efimov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7553.

7. Rekomendacii po obsledovaniju i ocenke tehnikeskogo sostojanija krupnopanel'nyh i kamennyh zdaniy [Recommendations for the Survey and Assessment of the Technical Condition of Large-Panel and Masonry Buildings]. Moskva. CNIISK im. V.A. Kucherenko. 1987. 37 p.

8. Kashina I.V., Zabeivorota V.A., Danileyko I.Yu., Serikov E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5514.

9. Rukovodstvo po provedeniju naturnyh obsledovanij promyshlennyh zdaniy i sooruzhenij [Manual for Conducting Field Surveys of Industrial Buildings and Structures]. Moskva. CNIIpromzdanij, 1975. 102 p.

10. Ishchuk M.K. Stroitel'nye materialy. 2020. №7. pp. 67-72.



11. Issledovanie prochnosti i deformativnosti krupnopanel'nyh i kamennyh konstrukcij [Study of the Strength and Deformability of Large-Panel and Masonry Structures]. Moskva. VNIIS Gosstroy USSR. 1988. 176 p.
12. Ulybin A.V. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2012. №3(29). P. 29-34.
13. Derkach V.N., Zhernosek N.M. Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta. 2010. №3. P. 135-143.
14. Zhitushkin V.G., Kucherov V.N. Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2001. №9. P. 11-12.

Дата поступления: 29.12.2024

Дата публикации: 25.02.2025