

УДК 692.233:69.04

**ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ
СПОСОБНОСТИ СТЕН И ПРОСТЕНКОВ КИРПИЧНОГО ДОМА С
ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАБЛИЦ**

Викторов Валерий Васильевич,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции».

Викторова Ольга Леонидовна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и архитектура».

Куприянова Алина Евгеньевна

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

студент.

Аннотация

Численным методом, с помощью электронных таблиц, выполнено моделирование несущей способности простенков кирпичного здания, определена нагрузка на фундаменты, выполнен расчет армирования ростверка.

Ключевые слова: кирпичные здания, кирпичные простенки, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние кирпичных стен.

**INFORMATION MODELING OF THE BEARING CAPACITY OF
WALLS AND PIERS OF A BRICK HOUSE USING SPREADSHEETS/**

Abstract

Using the numerical method, using spreadsheets, the load-bearing capacity of the piers of a brick building was modeled, the load on the foundations was determined, and the reinforcement of the grillage was calculated.

Keywords: brick buildings, brick piers, numerical modeling, stress-strain state of brick walls.

В соответствии с [1] технические решения принимаемые при проектировании и возведении зданий должны обеспечивать безопасность. Безопасность зданий обеспечивается либо прямым исполнением положений нормативных документов, входящих в соответствующие перечни, либо выполнением расчетов по апробированным методикам.

При проектировании зданий с кирпичными несущими и самонесущими стенами наиболее трудоемким процессом является определение несущей способности простенков и стен в соответствии с [2].

На каждом этаже имеется по несколько десятков различных простенков, а с учетом количества этажей число таких простенков может исчисляться сотнями.

Простенки самонесущих стен воспринимают нагрузку только от собственного веса, которая постепенно накапливается от вышележащих этажей к этажам нижележащим.

Простенки несущих стен дополнительно несут нагрузку от перекрытий, опирающихся на них. Причем, как правило, каждый простенок имеет индивидуальные габаритные размеры, индивидуальную грузовую площадь и индивидуальную нагрузку, действующую по этой грузовой площади.

В процессе расчета для каждого простенка в соответствии с [3] необходимо определить нагрузку, действующую на простенок. В соответствии с [2] определить несущую способность простенка в двух плоскостях. При необходимости подобрать требуемое армирование простенка сетчатой арматурой.

Электронные таблицы типа "MS Excel" позволяют ускорить работу по расчету несущей способности простенков. Однако, зачастую в процессе проектирования по ходу расчета в исходные данные приходится вносить некоторые коррективы, которые приводят к необходимости корректировки данных в тех таблицах, где эти данные уже заведены. Здесь возможны два подхода – либо заполнение электронных таблиц сначала с новыми исходными данными, либо корректировка данных в уже заполненных таблицах. И первый и второй способ весьма трудоемки, причем второй способ оставляет широкое поле для возникновения возможных ошибок от недоисправленных показателей.

Выходом в данном случае может быть создание сквозной структуры таблиц с исходными данными и результатами расчета, где внесение корректив в любом месте таблицы отразится на значениях всех остальных таблиц.

В настоящей работе приводится описание структуры таких взаимосвязанных таблиц в формате "MS Excel".

Исходные данные и результаты расчета находятся в двух типах файлов базовом "Base_Pressure.xls" и линейном "Wall_pressure.xls". Базовый файл для находится в единичном экземпляре. Количество линейных файлов может быть любым, в зависимости от сложности здания и требуемых объемов расчета. для расчета.

Базовый файл содержит несколько закладок с базовыми исходными данными. В закладке "Base" содержится таблица марками кирпича и марками раствора по этажам, а также типом кирпича (глиняный, силикатный, бетонный блок подвала и т.п.). Дополнительные данные таблицы с нормативной и расчетной табличной плотностью кладки, деформациями усадки, упругой характеристикой кладки и другими данными подгружаются автоматически из дополнительной таблицы с базовыми данными.

Лист "Wall" содержит информацию составе наружных и внутренних стен. Имеются таблицы с информацией о послойном составе стен и автоматически

формируемая сводная таблица с номером стены, ее названием и значениями нормативной и расчетной нагрузок от веса стены.

Лист "Floor" реализована аналогично закладке "Wall" но содержит информацию составе и весе полов.

Лист "Septum" реализована аналогично закладке "Wall" но содержит информацию составе и весе перегородок. Дополнительно имеется информация о высоте перегородок и погонной нагрузке от ее веса.

Лист "Var" содержит таблицу с информацией о временных полезных, и технологических нагрузках, и таблицу с нагрузками от веса несущих конструкций перекрытий.

Листы "Plate_n" (_n - произвольный номер) содержат таблицы со значением нагрузок на стены от веса различных участков перекрытий.

В данные таблицы заносится информация о типе перекрытия (балочного/консольного), пролет и ширина рассматриваемого участка. Дополнительно в таблицы заносится информация о номерах полезной нагрузки и конструкции перекрытия из листа "Var", номере типа пола из листа "Floor", номере типа перегородки из листа "Septum". Виды постоянных и временных нагрузок, действующих на перекрытие, заносятся в виде соответствующих цифровых кодов и координат расположения нагрузки на перекрытии. Правильность вида нагрузки контролируется по автоматически появляющемуся названию и номинальному значению нагрузки.

Линейный файл содержит три типа листов.

Лист "Ось_n" (_n - произвольный номер стены) содержит ссылки на имя базового файла и лист "Plate" в базовом файле. В таблицу листа поэтажно заносится информация о номере типа стены на этаже (из листа "Wall") и номер участка покрытия слева и справа из листа "Plate_n". Все необходимые данные о пролете и нагрузке от перекрытия на стену подгружаются автоматически. Контроль производится по подгружаемому названию типа стены или типа перекрытия.

В основной таблице выполняется расчет несущей способности простенка по следующему алгоритму

Для каждого простенка определяется продольная сила N , действующей с эксцентриситетом e_0 .

Каждый рассматриваемый простенок имеет высоту l , равную высоте этажа. Толщину h , равную толщине несущего слоя стены. Ширину b , равную ширине несущего слоя простенка.

Площадь поперечного сечения A , вычисляется по формуле $A = b \cdot h$.

Площадь сжатой части поперечного сечения A_c принимается в предположении того, что равнодействующая нагрузки проходит через центр сжатой зоны и вычисляется по формуле

$$A_c = A \cdot (1 - 2 \cdot e_0 / h) = b \cdot h_c.$$

Высота сжатой части сечения кладки. Вычисляется по формуле

$$h_c = h - 2 \cdot e_0.$$

Материал простенков – каменная (армокаменная) кладка из кирпича (глиняного или силикатного, одинарного или полуторного) или крупных бетонных блоков (конструкции фундаментов) и цементно–песчаного раствора.

В зависимости от марки кирпича и марки раствора кладка имеет расчетное сопротивление неармированной кладки сжатию R . Табличное значение расчетного сопротивления умножается на коэффициенты условий работы, коэффициенты зимней кладки, коэффициент качества кладки и строительных материалов. Значения коэффициентов могут регулироваться в процессе моделирования.

Упругая характеристика неармированной кладки α , принимается автоматически.

Расчетная длина простенка l_0 принимается равной высоте этажа l .

Гибкость простенка в плоскости изгиба λ_h , гибкость сжатой части простенка в плоскости изгиба λ_{hc} и гибкость простенка из плоскости изгиба λ_b вычисляется по формулам $\lambda_h = l_0 / h$; $\lambda_{hc} = l_0 / h_c$; $\lambda_b = l_0 / b$.

Коэффициент продольного изгиба простенка φ , коэффициент продольного изгиба сжатой части простенка φ_c , коэффициент продольного изгиба простенка в направлении из плоскости изгиба φ_b , определяются автоматически в зависимости от гибкости λ и упругой характеристики кладки α (α_{sk} для армированной кладки). Расчетный коэффициент продольного изгиба простенка φ_l вычисляется по формуле $\varphi_l = \frac{\varphi + \varphi_c}{2}$;

Коэффициент учитывающий длительность действия нагрузки m_g для простенков толщиной более 30 см принимается равным 1,0.

Коэффициент, учитывающий влияние работы кладки за пределами сжатой зоны ω , вычисляется по формуле $\omega = 1 + \frac{e_0}{h}$ и принимается не более 1,45.

Предельно допустимое значение расчетной продольной силы для внецентренно сжатого простенка из неармированной кладки вычисляется по формуле

$$N_{np} = m_g \cdot \varphi_l \cdot R \cdot A_c \cdot \omega$$

Предельно допустимое значение расчетной продольной силы для центрально сжатого простенка из неармированной кладки, либо простенка в направлении из плоскости изгиба вычисляется по формуле

$$N_{np} = m_g \cdot \varphi \cdot R \cdot A.$$

В зависимости от действующих на нее нагрузок кладка может армироваться стальными сварными сетками с расстоянием между стержнями s , укладываемыми в горизонтальные ряды кладки с расстоянием между сетками s .

Материал сеток – арматурная сталь класса А-240 (ГОСТ 5481-82*) диаметром 6, 8 мм или В-500 (ГОСТ 6727-80) диаметром 3, 4, 5 мм. Сетки должны быть сварены контактной точечной сваркой в соответствии с ГОСТ 14098-91.

Нормативное R_{sn} и расчетное R_s сопротивление стали растяжению принимается в соответствии с [5].

В расчете эти значения участвуют с учетом коэффициента условий работы стали γ_{cs} , принимаемого в соответствии с табл. 14 [2].

Предельно допустимое значение расчетной продольной силы для внецентренно сжатого простенка из армированной кладки вычисляется по формуле:

$$N_{np} = m_g \cdot \varphi_l \cdot R_{skb} \cdot A_c \cdot \omega$$

где в R_{skb} - расчетное сопротивление армированной внецентренно сжатой кладки, вычисляется по формуле

$$R_{skb} = R + 2 \cdot \frac{\mu \cdot R_s}{100} \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot e_0}{h} \right)$$

Предельно допустимое значение расчетной продольной силы N для центрально сжатого простенка из армированной кладки, либо простенка в направлении из плоскости изгиба вычисляется по формуле.

$$N_{np} = m_g \cdot \varphi \cdot R_{sk} \cdot A$$

где в R_{sk} - расчетное сопротивление армированной кладки, вычисляется по формуле

$$R_{sk} = R + 2 \cdot \mu \cdot R_s / 100;$$

в формулах коэффициент армирования принимается не менее минимального $\mu_{min} = 0,1\%$ и не более максимального $\mu_{max} = \frac{50 \cdot R}{\left(1 - \frac{2 \cdot e_0}{y} \right) \cdot R_s}$.

При выполнении условия прочности $N_{np} \geq N$ - несущая способность простенка обеспечена с коэффициентом запаса

$$K = \frac{N_{np} - N}{N_{np}} \times 100\%.$$

При невыполнении условия прочности следует изменить марку раствора, марку камня или коэффициент армирования простенка.

Процесс выполнения расчета заключается в переключении ячейки с номером рассматриваемого этажа.

Результат расчета представлен на рис. 2.

Расчет простенка		ПРС	1/104
Лист с нагрузками			Ось_1_Е_Ж
Этаж			11
Вертикальная нагрузка на простенок от верхних этажей	$N_{верг}$		447,376 кН/м
Высота простенка (высота столба)	L		3,000 м
Ширина простенка (ширина сечения)	b		1,660 м
Толщина простенка (высота сечения)	h		0,51 м
Высота стены над проемом			0,600 м
Вес простенка	$N_{прост}$		74,742 кН
Площадь простенка	$A_{прост}$		0,8466 м ²
Нагрузка на перекрытие справа (расчетная, приведенная)	$P_{пер.пр}$		11,055 кПа
Ширина грузовой площади справа	$D_{пер.пр}$		3,320 м
Пролет справа (полный)	$l_{пер.пр}$		7,70 м
Вертикальная сила справа	$N_{вер.пр}$		132,253 кН
Момент справа	$M_{вер.пр}$		28,434 кНм
Нагрузка на перекрытие слева (расчетная, приведенная)	$P_{пер.лев}$		10,762 кПа
Ширина грузовой площади слева	$D_{пер.лев}$		3,320 м
Пролет слева (полный)	$l_{пер.лев}$		1,35 м
Вертикальная сила слева	$N_{вер.лев}$		46,236 кН
Момент слева	$M_{вер.лев}$		10,371 кНм
Вертикальная нагрузка на простенок от перекрытий	$N_{верг}$		180,49 кН
Дополнительная ветровая нагрузка (+10%)	$N_{ветр}$		174,05 кН
Полная вертикальная нагрузка	N		1914,571 кН
Изгибающий момент	M		18,064 кНм
Эксцентриситет нагрузки	e_p		0,020 м
Коэффициент площади простенка	γ_A		1,000
Вид кирпича			силикат
Прочность кирпича	R_k		200,00 кгс/см ²
Прочность раствора	R_p		150,00 кгс/см ²
Коэффициенты			
	a		0,20
	b		0,30
	m		1,25
	n		3,00
	A		0,41
	γ		1,00
Временное сопротивление кладки	$R_{ск}$		58,24 кгс/см ²
Временное сопротивление кладки	$R_{ск}$		5,82 МПа
Коэффициент условий работы	γ_1		0,80
Коэффициент зимних работ	γ_2		0,90
Нормативное сопротивление кладки	R_t		2,94 МПа
Расчетное сопротивление кладки	R		2,10 МПа
Упругая характеристика неармированной кладки	α		750,0
Арматура сеток			Вр-I
Диаметр арматуры	d_s		5 мм
Размер квадратной ячейки	c		50 мм
Шаг сеток	s		200 мм
Армирование			через 2 ряда
Коэффициент	c_s		0,60
Сопротивление арматуры нормативное	$R_{ар}$		237,0 МПа
Сопротивление арматуры расчетное	R_s		216,0 МПа
Коэффициент армирования фактический	μ		0,3933%
Коэффициент армирования расчетный (центр. скат)	μ		0,3933%
Коэффициент армирования расчетный (внецентр. скат)	μ		0,3933%
Сечение			неперearмировано
Временное сопротивление армированной кладки	$R_{скв}$		6,05 МПа
Расчетное сопротивление армированной кладки	$R_{ск}$		3,79 МПа
Расчетное сопротивление армированной кладки	$R_{скв}$		3,53 МПа
Упругая характеристика армированной кладки	α_s		519,42
Гибкость столба	λ		5,88
Высота сжатой части столба	h_c		0,47 м
Гибкость сжатой части столба	λ_c		6,38
Коэффициент продольного изгиба столба	φ		0,9171
Коэффициент продольного изгиба сжатой части столба	φ_c		0,9018
Коэффициент продольного изгиба	φ_1		0,9095
Коэффициент ω	ω		1,0392
Коэффициент	m_d		1,000
Допустимая нагрузка на кладку	$N_{штг}$		2900,7 кН
Коэффициент запаса (перегрузки)	λ_1		26,4%
Гибкость столба из плоскости	λ		1,8
Коэффициент продольного изгиба столба из плоскости	φ		0,982
Допустимая нагрузка на кладку	$N_{штг2}$		3161,0 кН
Коэффициент запаса (перегрузки)	λ_2		30,3%

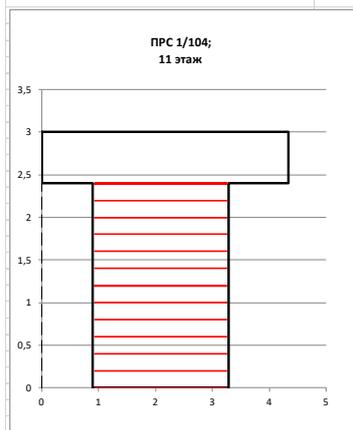


Рисунок 2 - Таблица определения несущей способности кирпичного простенка

В результате расчета определяется несущая способность простенка (допустимая нагрузка), которая сравнивается с нагрузкой, действующей на простенок. Нагрузки сравниваются, вычисляется коэффициент запаса или перегрузки.

Если действующая нагрузка превышает допустимую, несущая способность простенка может быть откорректирована назначением или увеличением количества арматуры в простенках.

Дополнительно реализовано графическое изображение рассматриваемого простенка с примерной схемой расположения сеток армирования.

После назначения армирования простенков для каждого из этажей с использованием макроса, написанного на языке "Visual Basic" производится автоматический пересчет несущей способности простенка на всех этажах с заполнением результирующей таблицы коэффициентов запаса.

Результирующая информация о результатах расчета несущей способности простенков автоматически собирается на листе "Base_2". В таблице имеется информация о габаритных размерах простенков, их грузовой ширине и требуемом армировании простенка. Дополнительно для каждого простенка имеется информация о коэффициенте запаса несущей способности и эквивалентной нагрузке на перекрытие слева и справа. Величина эквивалентной нагрузки на перекрытие позволит выполнить корректное назначение несущей способности плит перекрытия.

Результат расчета представлен на рис. 3.

Армирование	Прс_1_101										
Этаж	Ширина	Длина	Ширина	Диаметр	Ячейка	Шаг сеток	Нагр на прк.		К-т	Прим.	
	грузовая						слева	справа			
	b _{гр} , м	l, м	b, м	Ø, мм	с, мм	s, мм	R _{лев} , кПа	R _{прав} , кПа	запаса		
21 этаж											
20 этаж											
19 этаж											
18 этаж	6,29	6,29	0,38						96,9%		
17 этаж	6,29	6,29	0,38					9,94	82,4%		
16 этаж	6,29	5,9	0,38				3,10	7,84	76,1%		
15 этаж	6,29	5,9	0,38				3,68	10,56	63,8%		
14 этаж	6,29	5,9	0,38				3,68	10,56	51,5%		
13 этаж	6,29	5,9	0,38				3,68	10,56	39,0%		
12 этаж	6,29	5,9	0,51				3,68	10,56	26,5%		
11 этаж	6,29	5,9	0,51				3,68	10,56	39,8%		
10 этаж	6,29	5,9	0,51				3,68	10,56	30,1%		
9 этаж	6,29	5,9	0,51				3,68	10,56	20,5%		
8 этаж	6,29	5,9	0,51	5	50	400	3,68	10,56	31,9%		
7 этаж	6,29	5,9	0,51	5	50	400	3,68	10,56	24,6%		
6 этаж	6,29	5,9	0,51	5	50	300	3,68	10,56	23,2%		
5 этаж	6,29	5,9	0,64	5	50	400	3,68	10,56	31,8%		
4 этаж	6,29	5,9	0,64	5	50	400	3,68	10,56	25,7%		
3 этаж	6,29	5,9	0,64	5	50	300	3,68	10,56	25,7%		
2 этаж	6,29	5,9	0,64	5	50	200	3,68	10,56	30,6%		
1 этаж	6,29	5,9	0,64	5	50	200	3,68	10,56	25,7%		
0 этаж	6,76	6,76	0,64	5	50	200		10,59	29,0%		
-1 этаж	6,76	6,7	0,6						13,5%		
летн.кл.	только летняя кладка;										
лаб.кнтр.	лабораторный контроль кирпича, раствора и качества кладки										
л.кл.+л.кн	летняя кладка с лабораторным контролем;										
не несет	несущая способность обеспечена быть не может, нужны дополнительные мероприятия по усилению при коэффициенте запаса меньше 10% рекомендуется усиление простенка										

Рисунок 3 -Результирующая таблица параметров поэтажного армирования кирпичного простенка

Следует отметить, что любое внесение изменений в исходные данные на различных этапах моделирования приводит к автоматическому пересчету всех результатов, связанных с ЭТИМ изменением.

Таким образом, после введения необходимых исходных данных, рутинный процесс проектирования превращается в достаточно увлекательный

процесс моделирования, при котором исходные данные для расчета можно менять без необходимости выполнения полного перерасчета несущей способности конструкций здания.

Библиографический список:

1. Федеральный закон от 30 декабря 2009 года №384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" М.: РГ Федеральный выпуск №5079, 2009.
2. СП 15.13330.2020 СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции. – М.: Минстрой РФ, 2020.
3. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Минстрой РФ, 2016.
4. СП 24.13330.2021 СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты. – М.: Минстрой РФ, 2021.
5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: Минстрой РФ, 2018.