

# Графическое сравнение формул расчета прочности на сжатие кирпичной кладки

П. Л. Десятова<sup>1</sup>, Д. С. Дронов<sup>2</sup>, В. С. Ненашев<sup>3</sup>.

<sup>1-3</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье      Научная статья

## Аннотация

*Необходимость в применении неразрушающих методов изучения прочности кирпичных конструкций является актуальной задачей на сегодняшний день. Одним из неразрушающих методов является использование формул расчета прочности на сжатие кирпичной кладки. В данной статье проведен сравнительный анализ трёх эмпирических формул по определению прочности кирпичной кладки на сжатие, используемых в строительных нормах России и Европы. Построены графики зависимости расчетных значений предела прочности кирпичной кладки при сжатии от предела прочности кирпича, позволяющие наглядно увидеть различие методик расчёта. Также в ходе работы было найдено несоответствие формулы профессора Онищика из его монографии «Каменные конструкции» с формулой в пособии по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81).*

Ключевые слова:      Кирпич, кладка, сжатие, формулы, анализ, кирпичная кладка, еврокод

## Содержание

1.	Введение	86
2.	Обзор литературы	86
3.	Постановка цели и задач	87
4.	Методика	87
5.	Выводы	93

### Контактный автор:

1. +79110034939, desyatovapolina@gmail.com (Десятова Полина Леонидовна, студент)
2. +79650064925, dronovdaniil@mail.ru (Дронов Данил Сергеевич Д. С., студент)
3. +7(921)7703116, v.s.nenashev@gmail.com (Ненашев Валентин Сергеевич, студент)

## 1. Введение

Проектирование строительных конструкций включает в себя комплекс расчетов, учитывающий большое число факторов и параметров. С точки зрения оптимизации процесса проектирования, строительные знания должны сводиться к одному основополагающему методу расчета. Для этого необходимо учесть все особенности и опыт ранее изложенных публикаций, трудов и работ, чтобы найти единый метод расчета того или иного параметра.

В данной статье, внимание обращено на проблему расхождения подхода к расчету прочности на сжатие кирпичной кладки в России и Европе. При рассмотрении данного вопроса, можно отметить, что формулы и аналитические методы расчета в каждой из стран принципиально различаются. Это актуальный вопрос, поскольку аналитический метод расчета прочности на сжатие кирпичной кладки широко используется при отсутствии возможности прямых испытаний, например, при обследовании кирпичных зданий исторической застройки, где нужно без извлечения образцов кирпичной кладки из стены произвести оценку прочности.

## 2. Обзор литературы

В основе рассмотрения формул расчета прочности на сжатие кирпичной кладки лежат такие нормативные документы, как Еврокод 6 [6] и СНиП II-22-81 "Каменные и армокаменные конструкции" [4]. В статье мы руководствуемся конкретными данными, соответствующими в данных документах.

Неразрушающие методы наименее трудоемки и более дешевы в сравнении со стандартными испытаниями. [9]. В основе рассмотрения формул расчета прочности на сжатие кирпичной кладки лежат такие нормативные документы, как Еврокод 6 [6] и СНиП II-22-81 "Каменные и армокаменные конструкции" [4]. В статье мы руководствуемся конкретными данными, представленными в данных документах.

Нельзя не принять во внимание труд, проделанный профессором, доктором наук Онищиком Львом Ивановичем, издавшим первый учебник по курсу «Каменные конструкции», описанные исследования в котором актуальны и на сегодняшний день. Формула, выведенная Онищиком, применяется также в наше время, а ее рабочих аналогов до сих пор нет.

На сегодняшний день есть принципиально разные позиции по поводу оценки прочности на сжатие кирпичной кладки. Авторы Марчюкайтис Г. В. [12] и Сапелин Н.А.[11] в своих статьях также производят сравнение двух методов расчета прочности на сжатие с помощью эмпирических формул расчета, что демонстрирует заинтересованность научного сообщества решить вопрос сопоставления результатов расчета в разных странах неразрушающими способами.

Исследованием каменных конструкций, в частности формулами расчета кирпичной кладки, занимаются множество стран, такие как Китай [33], США, Беларусь [34], Литва, страны Европы[35-42].

Хочется заметить, что был внесен вклад по изучению каменных конструкций студентами и преподавателями Инженерно-строительного института СПбПУ Петра Великого [9, 17, 18], такими как улыбин А. В., Зубков С. В., Зимин С. С., Беспалов В. В., Казимирова А. С., Ненашев В.С., Снегирев Н.И. и др.

В работе [22] Ласьков Н.Н и Подогова В.И. описывают механизмы разрушения каменной кладки на микро-, мезо- и макроуровне.

В своих статьях [23-24] разработали методику расчета на основе теории сопротивления анизотропных материалов при сжатии, отражающую особенности напряженно-деформированного состояния и характера разрушения. Данная методика применима для оценки прочности сжатых элементов и конструкций.

В частности, авторы Артюшин Д.В. и Шумихина В.А. [25] производили ряд экспериментов для локализации и выявления характерных схем разрушения для кирпичных призм на основе экспериментальной теории сопротивления каменной кладки. Расчетная модель, сформированная авторами, описывает физическую картину сопротивления стандартных каменных призм сжатию и применима для расчета каменных конструкций.

Среди отечественных исследователей каменных кладок следует выделить Пангаева В.В. [27-28]. В частности, в работе [27] в соавторстве с Федоровым А.В. описывается метод моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) каменной кладки. Авторы предлагают методику расчета и анализа напряжений в кирпиче и растворе, которую возможно применить при исследовании кладки в существующих зданиях.

В работе [32] приводят опыт проекта реконструкции московского архитектурного памятника XVII века.

### 3. Постановка цели и задач

Целью данной статьи является проведение сравнительного анализа различных формул по определению прочности кирпичной кладки на сжатие, используемых в строительных нормах России и Европы.

Из поставленной цели вытекают следующие задачи:

- 1) Изучить отечественные и зарубежные нормативы и выявить актуальные формулы, используемые для определения прочности на сжатие кирпичной кладки.
- 2) Построить графики зависимости прочности кладки от прочности раствора при заданной прочности кирпича для каждой из найденных формул.
- 3) Сравнить полученные графики и значения.

### 4. Методика

Для объективной оценки применения различных формул принимаем одинаковые характеристики кладки для расчета. В нашем случае применяем стандартный цементный раствор марки М75 для 7 типов кирпича марок диапазоном М75-М300 (М75, М100, М125, М150, М200, М250, М300). Раствор при расчете имеет одинаковую толщину горизонтального шва более 3 мм.

В данной работе используем два основных существующих метода, практикуемых в России и странах Европы: расчет прочности с помощью формулы Онищика и формул, изложенных в стандарте Eurocode 6. На основании расчетов формируются сводные таблицы и графики зависимости прочности кирпичной кладки от прочности кирпича. Итоговый график позволяет оценить различия в рассматриваемых методиках.

#### 1. Расчет кирпичной кладки на сжатие по Еврокод 6

Нормативное сопротивление сжатию каменной кладки определяют по результатам испытаний в соответствии с EN 1052-1, проводимых для конкретного объекта, или по результатам ранее проведенных испытаний, сведенных в базу данных, при этом оценку результатов испытаний проводят с применением формулы для конкретного типа кирпичной кладки.

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} \quad (1)$$

Где:

$f_k$  — нормативное сопротивление сжатию каменной кладки, Н/мм<sup>2</sup>;

$K$  — константа, которую, при необходимости, изменяют согласно 3.6.1.2(3) и/или 3.6.1.2(6);

$f_b$  — приведенное (нормализованное) сопротивление сжатию камня (блока) в направлении нагрузки, Н/мм<sup>2</sup>;

$f_m$  — прочность кладочного раствора на сжатие, Н/мм<sup>2</sup>.

Согласно Еврокод 6, данная формула применима для каменной кладки с применением раствора общего назначения и легкого раствора. С целью проведения расчета принимаем  $f_b = R_{сж к}$ ,  $f_m = R_{сж р}$ ,

Где:

$R_{сж к}$  - предел прочности при сжатии кирпич;

$R_{сж р}$  - предел прочности при сжатии цементного раствор.

Далее задаем коэффициент  $K$  по таблице 3.3. [6] Стандартный кирпич, применяемый в нашем расчете, относится к группе 2, раствор общего назначения. Принимаем  $K = 0,45$ .

Производим расчет по формуле (1) всех типов кирпичных кладок, результаты расчета заносим в таблицу 1. На основании полученных данных строим кривую – зависимость нормативного сопротивления сжатию от приведенного сопротивления сжатию кирпича при заданном одинаковом растворе.

Таблица 1. Результаты расчета нормативного сопротивления сжатию кирпичной кладки по Еврокод 6.

№	K	$f_b$	$f_m$	$f_b^{0,7}$	$f_m^{0,3}$	$f_k$
1	0,45	7,5	7,5	4,098	1,830	3,375
2	0,45	10	7,5	5,012	1,830	4,128
3	0,45	12,5	7,5	5,859	1,830	4,826
4	0,45	15	7,5	6,657	1,830	5,483
5	0,45	20	7,5	8,142	1,830	6,706
6	0,45	25	7,5	9,518	1,830	7,840
7	0,45	30	7,5	10,814	1,830	8,907



Рисунок 1. График зависимости нормативного сопротивления сжатию от приведенного сопротивления сжатию кирпича при заданном одинаковом растворе  $f_k$  ( $f_b$ ).

Согласно Eurocode 6 расчетная прочность каменной кладки принимается равной:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (2)$$

где  $\gamma_M$  – коэффициент надежности каменной кладки, учитывающий вид и качество кладки и принимаемый от 1,7 до 3 (ниже при сравнении расчетных значений прочности кладки по СНиП II-22-8 и Eurocode 6 принято  $\gamma_M = 3$ ) [12]. Коэффициент принят с учетом выбранного материала и класса конструкции в зависимости от проектного срока эксплуатации и уровня контроля при производстве работ.

## 2. Расчет кирпичной кладки на сжатие по формуле профессора Л.И. Онищика

Для расчетной оценки предела прочности кладки при центральном сжатии разными исследователями (Крейгером, Графом и др.) были предложены эмпирические формулы. Анализ этих формул, а также многочисленных опытов с различными кладками позволил проф. Л. И. Онищикоу предложить формулу, лучше других совпадающую с опытными данными, которая с 1939 г. была положена в основу норм прочности кладки в нашей стране. В этой формуле предел прочности любой кладки ставится в зависимость от пределов прочности камня и раствора при сжатии, определенных при испытании стандартных образцов, а также от эмпирических коэффициентов. Последние отражают специфические особенности работы камня и раствора в той или иной кладке и получены на основании многочисленных опытов. Заметим, что на данный момент в отечественных исследованиях не существует каких-либо аналогов данной формулы.

Профессором Л. И. Онищиком предел прочности кладки из кирпича, обыкновенных камней, кирпичных блоков и бута при центральном сжатии оценивается по формуле:

$$R_u = AR_1 \times \left(1 - \frac{a}{\frac{b+R_2}{R_1}}\right)\eta ; \quad (3)$$

Где:

$R_u$  - предел прочности кладки при сжатии;

$R_1$  и  $R_2$  - соответственно пределы прочности камня и раствора при сжатии в кг/см<sup>2</sup>;

$a$  и  $b$  - эмпирические безразмерные коэффициенты, зависящие от вида кладки и определяемые по табл. 1;

$A$  - конструктивный коэффициент (безразмерный), зависящий от прочности и вида камня, подсчитываемый по формуле (4):

$\eta$  - поправочный коэффициент для кладок на растворах низких марок. В нашем случае марка раствора М75 является выше 25, поэтому расчет этого коэффициента не производится.

$$A = \frac{100+R_1}{100m+nR_1} \quad (4)$$

Где:

$m$  и  $n$  - коэффициенты, зависящие от вида кладки.

Величины коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $m$  и  $n$  принимаем в соответствии с монографией Л.И.Онищика «Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий». Для кирпичной кладки (высота ряда от 5 до 15 см) и из крупных кирпичных блоков используем следующие значения:

$a = 0,2$ ;  $b = 0,3$ ;  $m = 1,25$ ;  $n = 3$ .

Поскольку раствор для кладки приняли изначально постоянным, то значение конструктивного коэффициента  $A$  будет постоянным. Значение предела прочности раствора:

$$A = \frac{100 + 75}{100 \cdot 1,25 + 3 \cdot 75} = 0,5$$

Производим расчет предела прочности кладки при сжатии по формуле (2) и записываем с таблицу 2.

После приводим нормативные значения предела прочности к расчётным по формуле<sup>1</sup>:

$$R = 0,5R_u$$

<sup>1</sup>Пояснения к данной формуле приведены в пункте 3, основанном на пособии к СНиП II-22-81.

**Таблица 2. Результаты расчета предела прочности кирпичной кладки по формуле проф. Л.И. Онищика.**

№	A	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	a	b	R <sub>u</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	R <sub>u</sub> , Мпа	R, Мпа
1	0,5	75	75	0,2	0,3	30,030	3,030	1,501
2	0,5	75	100	0,2	0,3	31,892	3,189	1,595
3	0,5	75	125	0,2	0,3	33,011	3,301	1,651
4	0,5	75	150	0,2	0,3	33,757	3,376	1,688
5	0,5	75	200	0,2	0,3	34,692	3,469	1,735
6	0,5	75	250	0,2	0,3	35,253	3,525	1,763
7	0,5	75	300	0,2	0,3	35,627	3,563	1,781

На основании расчетных значений предела прочности кирпичной кладки в таблице 2 строится график.

**Зависимость расчетного значения предела прочности кладки при сжатии от предела прочности кирпича по ф-ле Онищика**

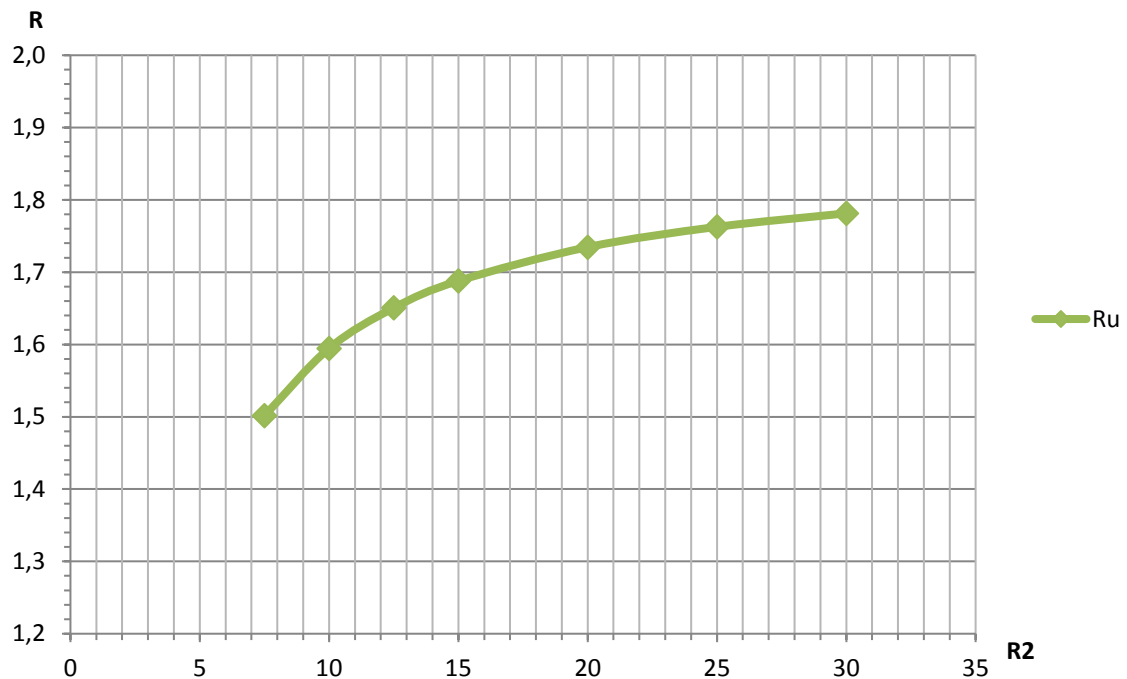


Рисунок 2. График зависимости предела прочности кладки при сжатии от предела прочности кирпича.

### 3. Расчет кирпичной кладки на сжатие по формуле Онищика из пособия по проектированию каменных и армокаменных конструкций к СНиП II-22-81

Согласно пособию по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81), утвержденному Приказом ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР от 15 августа 1985, в пункте 3.8. поясняется: «Предел прочности всех видов кладок при кратковременном нагружении определяется по формуле профессора Л.И. Онищика»:

$$R_u = AR_1 \times \left(1 - \frac{a}{\frac{b+R_2}{2R_1}}\right)\eta ; \quad (5)$$

Но данная запись формулы отличается от первоисточника – монографии «Каменные конструкции» Л.И. Онищика. Примечательно то, что в данной формуле в знаменателе перед  $R_1$  появляется коэффициент 2. Сравнивая данную формулу с ранее представленной, можно заметить, что они имеют одинаковые характеристики, которые в совокупности образуют одну и ту же функцию. Это приводит к тому, что при расчете уменьшается значение предела прочности кладки.

Стоит отметить, что после 1939 года не велась активная работа по изучению кирпичной кладки. Наиболее масштабные исследования каменной кладки в нашей стране проводились в довоенное время. Во время Великой Отечественной войны капитальное жилищное строительство не проводилось до 1943 года, а на оккупированных территориях было уничтожено почти 50% жилого фонда. Программа послевоенного строительства требовала интенсификации отрасли. Строительство жилых домов из кирпича значительно проигрывало в скорости железобетонным аналогам, а с начала 1960-х годов жилищное строительство в СССР было основано на промышленном домостроении - сооружении микрорайонов из 5-ти и 9-этажных серийных панельных домов, что значительно снижало себестоимость строительства. Все это привело к тому, что строительство из кирпича стало нерентабельно, и поэтому с точки зрения науки утратило свою актуальность.

При этом строительство развивалось и требовало новых стандартов и регулирующих нормативов. Каменные конструкции в данном случае были не исключением. Но поскольку данной тематикой долгое время не занимались должным образом с точки зрения науки, появление коэффициента в формуле не обосновано в данном нормативном документе, и логично предположить, что была допущена опечатка.

Величины коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $m$  и  $n$  принимаем в соответствии с пособием по проектированию каменных и армокаменных конструкций к СНиП II-22-81, и совпадают с учебником Онищика. Для кирпичной кладки (высота ряда от 5 до 15 см) и из крупных кирпичных блоков используем следующие значения:

$$a = 0,2; b = 0,3; m = 1,25; n = 3.$$

Поскольку раствор для кладки приняли изначально постоянным, то значение конструктивного коэффициента  $A$  будет постоянным. Значение предела прочности раствора равен 0,5.

Производим расчет предела прочности кладки при сжатии по формуле (2) и записываем с таблицу 2. На основании таблицы строится график. Приведём нормативные значения предела прочности к расчётным:

$$R = 0,5R_u \quad (5)$$

В пособии по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81) разъясняется [5]: «При установлении расчетных сопротивлений для каменных конструкций принята следующая система коэффициентов. Коэффициент изменчивости прочности кирпичной кладки на основании статистических данных принят равным  $C = 0,15$ , а условное нормативное сопротивление  $R_n = R_u (1-2C) = 0,7R_u$ , при этом обеспеченность величины  $C$  равна 0,98. Вероятное понижение прочности кладки по сравнению с уровнем, принятым в нормах, учитывается делением  $R_n$  на коэффициент 1,2, а другие второстепенные факторы, не учитываемые расчетом, и дефекты (ослабление кладки пустошовкой, гнездами, небольшие отклонения столбов и стен от вертикали и т.п.) на коэффициент 1,15. Таким образом, дополнительный коэффициент надежности для кирпичной кладки принят равным  $1,2 \times 1,15 = 1,4$  и расчетное сопротивление  $R = 0,7R_u / 1,4 = 0,5R_u$ .»

Таблица 3. Результаты расчета предела прочности кирпичной кладки по СНиП II-22-8.

№	A	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	a	b	R <sub>u</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	R <sub>u</sub> , Мпа	R, Мпа
1	0,5	75	75	0,2	0,3	22,560	2,256	1,128
2	0,5	75	100	0,2	0,3	26,284	2,628	1,314
3	0,5	75	125	0,2	0,3	28,522	2,852	1,426
4	0,5	75	150	0,2	0,3	30,015	3,001	1,501
5	0,5	75	200	0,2	0,3	31,883	3,188	1,594
6	0,5	75	250	0,2	0,3	33,005	3,301	1,650
7	0,5	75	300	0,2	0,3	33,754	3,375	1,688

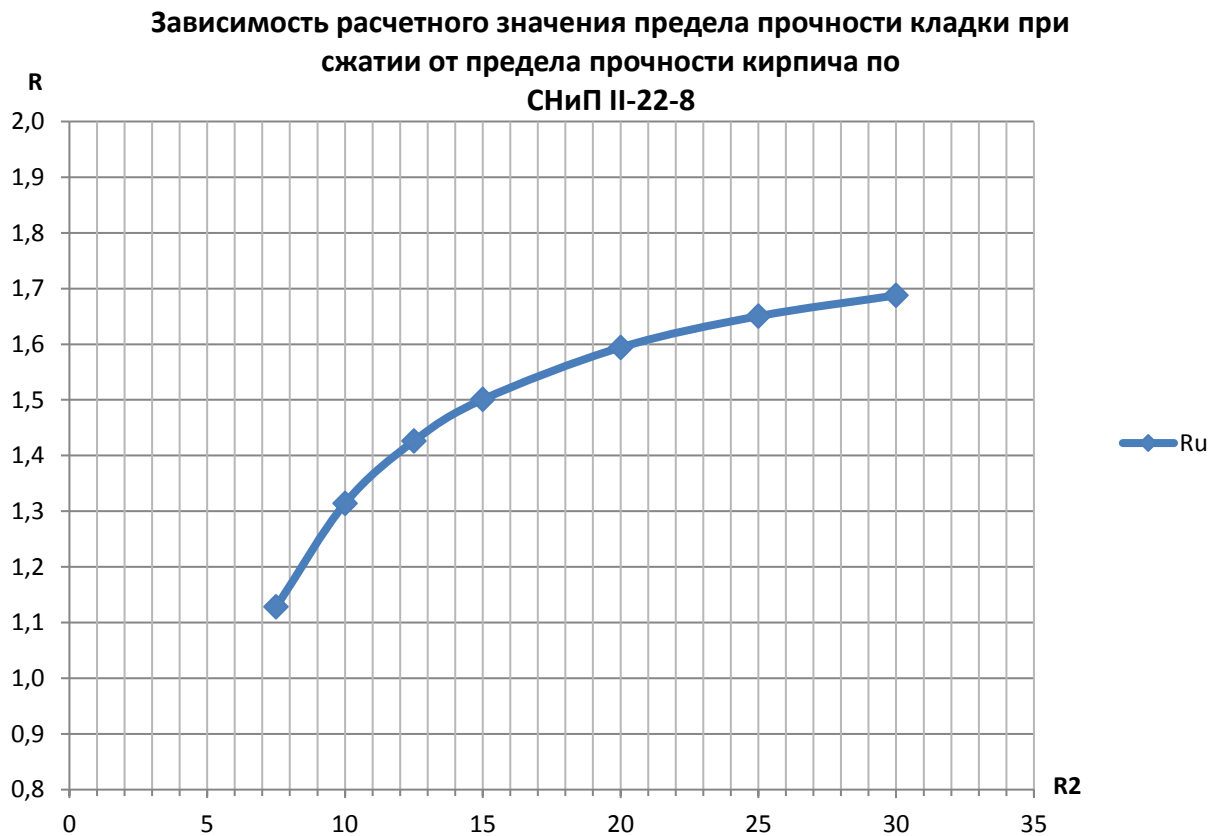


Рисунок 3. График зависимости предела прочности кладки при сжатии от предела прочности кирпича.



Ниже на общем графике мы можем увидеть результат расчетов по всем трём формулам.

### Результаты расчета предела прочности кирпичной кладки по Eurocode 6, формуле Онищика и СНиП II-22-81

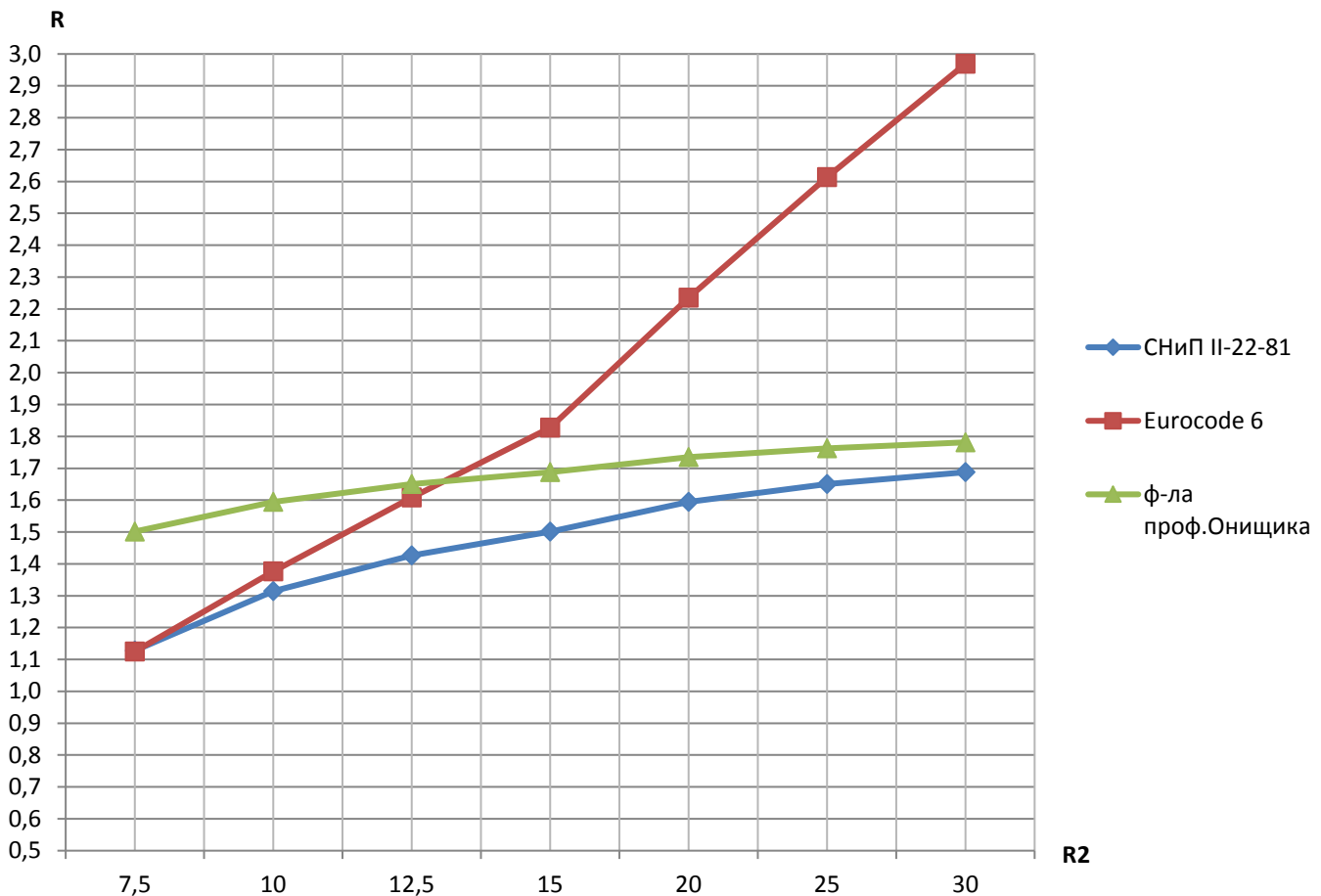


Рисунок 4. Общий график зависимости предела прочности кладки при сжатии от предела прочности кирпича.

## 5. Выводы

1. Проведя обзор литературы и нормативной документации, мы выяснили, что в России нет современной формулы по определению прочности на сжатие каменной кладки, и поэтому используемой на данный момент является формула проф. Л.И.Онищика. В ходе работы было найдено несоответствие формулы профессора Онищика в его монографии с формулой в пособии по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81), где принципиальным отличием является численный коэффициент 2 в знаменателе, который изначально отсутствовал в первоисточнике, а затем появился в СНиП.

2. В ходе работы были построены графики зависимости расчетных значений предела прочности кирпичной кладки при сжатии от предела прочности кирпича. Графики функции при поставленных исходных значениях схожи с известными ранее, которые строились для формулы Онищика.

3. После изображения графиков видно различие данных методик расчёт. Два графика имеют одинаковый характер, а Eurocode 6 показывает другой вид кривой. На основании этого можно утверждать, методология выведения эмпирических формул принципиально различается. В дальнейшем следует провести дополнительные экспериментальные исследования по испытанию на сжатие кирпичной кладки и сравнить полученные данные с приведенными результатами в статье, полученные с помощью эмпирических формул.

## Литература

- [1]. Онищик Л. И. Прочность и устойчивость каменных конструкций //Москва, Ленинград. Главная редакция строительной литературы. – 1937.
- [2]. Онищик Л. И. Каменные конструкции //М.: Гос. Издательство строительной литературы. – 1939.
- [3]. СП 15.13330.2012. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования / Минрегион России.- М., 2012. 78 с.
- [4]. СНиП II-22-81 "Каменные и армокаменные конструкции". - М.: ФГУП ЦПП, 2007. - 40 с.
- [5]. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81\*).- М.: ВДПП Госстроя СССР, 1989. - 138 с.
- [6]. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1: Общие правила для армированных и неармированных конструкций/ СТБ EN 1996-1-1-2008,- Ввел. 1.07.2009,- Минск: Госстандарт, 2009, - 127 с.
- [7]. Антаков А. Б. Прочность каменных кладок, армированных композитными сетками //Успехи современного естествознания. – 2014. – №. 7. – С. 116-120.
- [8]. [Кашеварова Г. Г., Зобачева А. Ю. Моделирование процесса разрушения кирпичной кладки //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2010. – №. 1.
- [9]. Улыбин А. В., Зубков С. В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений //Инженерно-строительный журнал. – 2012. – Т. 29. – №. 3. – С. 29-34.
- [10]. Кабанцев О. В. Пластическое деформирование и разрушение каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния //Вестник МГСУ. – 2016. – №. 2.
- [11]. Сапелин Н.А., Ким Д.И. Определение прочности при сжатии крупноформатных керамических камней: анализ российских и европейских методик испытаний //Строительные материалы оборудование, технологии XXI века. 2012. №12(167). С. 46-48.
- [12]. Марчюкайтис Г. В. и др. Оценка прочности и деформативности каменной кладки при сжатии согласно СНиП II-22-81 и Eurocode 6 //Строительные материалы. – 2004. – №. 11. – С. 48-49.
- [13]. Лихачева С. Ю., Кулагин Ю. М. Экспериментальное определение размера и конечно-элементного разбиения типового фрагмента каменной кладки //Приволжский научный журнал. – №. 4. С 64-69.
- [14]. Адищев В. В., Кучеренко И. В., Грачева М. С. Моделирование физических характеристик кирпичных кладок //Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – №. 2-3. – С. 94-102.
- [15]. Хасенов С. С., Толыбаева К. Т. Определение прочности кладки неразрушающим методом деформаций и ее усиление //Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2014. – №. 2. – С. 35-40.
- [16]. Деркач В.Н., Галалюк А.В.,Беспалов В.В. Несущая способность кирпичных сводов исторических зданий// Обследование зданий и сооружений:

## References

- [1]. Onishchik L. I. Prochnost i ustoychivost kamennykh konstruksiy //Moskva, Leningrad. Glavnaya redaktsiya stroitelnoy literatury. – 1937.
- [2]. Onishchik L. I. Kamennyye konstruksii //M.: Gos. Izdatelstvo stroitelnoy literatury. – 1939.
- [3]. SP 15.13330.2012. Kamennyye i armokamennyye konstruksii. Normy proyektirovaniya / Minregion Rossii.- M., 2012. 78 s.
- [4]. SNiP II-22-81 "Kamennyye i armokamennyye konstruksii". - M.: FGUP TsPP, 2007. - 40 s.
- [5]. Posobiye po proyektirovaniyu kamennykh i armokamennykh konstruksiy (k SNiP II-22-81\*).- M.: VDPP Gosstroya SSSR, 1989. - 138 s.
- [6]. Yevrokod 6. Proyektirovaniye kamennykh konstruksiy. Chast 1-1: Obshchiye pravila dlya armirovannykh i nearmirovannykh konstruksiy// STB EN 1996-1-1-2008,- Vvel. 1.07.2009,- Minsk: Gosstandart, 2009, - 127 s.
- [7]. Antakov A. B. Prochnost kamennykh kladok, armirovannykh kompozitnymi setkami //Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. – 2014. – №. 7. – S. 116-120.
- [8]. [Kashevarova G. G., Zobacheva A. Yu. Modelirovaniye protsessa razrusheniya kirpichnoy kladki //Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. – 2010. – №. 1.
- [9]. Ulybin A. V., Zubkov S. V. O metodakh kontrolya prochnosti keramicheskogo kirpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy //Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. – 2012. – T. 29. – №. 3. – S. 29-34.
- [10]. Kabantsev O. V. Plasticheskoye deformirovaniye i razrusheniye kamennoy kladki v usloviyakh dvukhosnogo napryazhennogo sostoyaniya //Vestnik MGSU. – 2016. – №. 2.
- [11]. Sapelin N.A., Kim D.I. Opredeleniye prochnosti pri szhatii krupnoformatnykh keramicheskikh kamney: analiz rossiyskikh i yevropeyskikh metodik ispytaniy //Stroitelnyye materialy oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2012. №12(167). S. 46-48.
- [12]. Marchyukaytis G. V. i dr. Otsenka prochnosti i deformativnosti kamennoy kladki pri szhatii soglasno SNiP II-22-81 i Eurocode 6 //Stroitelnyye materialy. – 2004. – №. 11. – S. 48-49.
- [13]. Likhacheva S. Yu., Kulagin Yu. M. Eksperimentalnoye opredeleniye razmera i konechno-elementnogo razbiyeniya tipovogo fragmenta kamennoy kladki //Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. – №. 4. S 64-69.
- [14]. Adishchev V. V., Kucherenko I. V., Gracheva M. S. Modelirovaniye fizicheskikh kharakteristik kirpichnykh kladok //Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. – 2013. – №. 2-3. – S. 94-102.
- [15]. Khasenov S. S., Tolybayeva K. T. Opredeleniye prochnosti kladki nerazrushayushchim metodom deformatsiy i yeye usileniye //Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpayeva. – 2014. – №. 2. – S. 35-40.
- [16]. Derkach V.N., Galalyuk A.V.,Bespalov V.V. Nesushchaya sposobnost kirpichnykh svodov istoricheskikh zdaniy// Obsledovaniye zdaniy i sooruzheniy: problemy i puti ikh resheniya.

- проблемы и пути их решения. Материалы VIII международной научно-практической конференции.- 2017- С.63.
- [17]. Зимин С. С., Беспалов В. В., Казиминова А. С. Расчетная модель каменной арочной конструкции // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2015. – №. 3. – С. 33-37.
- [18]. Ненашев В.С., Снегирев Н.И. Опыт применения неразрушающих методов при оценке прочности материалов кирпичной кладки XVI века// Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения. Материалы VIII международной научно-практической конференции.- 2017- С.194-200.
- [19]. Ющубе С. В. и др. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния фрагментов кладки наружных стен из керамического камня //Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – №. 1. – С. 174-180.
- [20]. Дегтев. И.А., Донченко О.М., Тарасенко В.Н..Прочность и деформативность каменной кладки при силовом сжатии. Монография Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 174 с.
- [21]. Гринев В.В., Гринев В.Д., Атрахимович В.И.. Влияние геометрических характеристик на прочность каменной кладки// Наука та прогрес транспорту, 2007, 15. с.179-182
- [22]. Ласьков Н. Н., Подогова В. И. Схемы разрушения каменной кладки и условия их наступления // Эффективные строительные конструкции: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА. – 2016. – С. 3-8.
- [23]. Соколов Б. С., Антаков А. Б. Результаты исследований каменных и армокаменных кладок //вестник мГСУ. – 2014. – №. 3.
- [24]. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Новый подход к расчету каменных сводов.//Известия КГАСУ.2014 №3. с.75-81
- [25]. Артюшин Д.В., Шумихина В.А.. Экспериментально-аналитические исследования сопротивления каменной кладки сжатию//Региональная архитектура и строительство 2015 №3. с.62-67
- [26]. Зубков С.В., Улыбин А.В., Федотов. С.Д.. Исследование механических свойств кирпичной кладки методом плоских домкратов// Инженерно-строительный журнал, №8.2015. с.20-29
- [27]. Пангаев В.В., Федоров А.В. Физико-математическое моделирование напряженно-деформированного состояния каменной кладки зданий и сооружений. 22-я Всероссийская конференция по численным методам решения задач теории упругости и пластичности.2011
- [28]. Пангаев В.В. Модельные исследования напряженно-деформированного состояния каменной кладки при сжатии // Изв. Вузov. Строительство. - 2003. - №2. - С. 24-29.
- [29]. Кабанцев О.В. Дискретная модель каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния// Вестник ТГАСУ №4, 2015 с. 113-130.
- [30]. Кабанцев О.В. Деформационные свойства каменной кладки как разномодульной кусочно-однородной среды//Проектирование, строительство и реконструкция сейсмостойких зданий и сооружений №4, 2013. С.36-40
- [31]. Попов А. О., Мавлютов А. М., Яговаров Д. Ш. Расчет каменных сводов с использованием
- Materialy VIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.- 2017- S.63.
- [17]. Zimin S. S., Bepalov V. V., Kazimirova A. S. Raschetnaya model kamennoy arochnoy konstruksii // Vestnik Donbasskoy natsionalnoy akademii stroitelstva i arkhitektury. – 2015. – №. 3. – S. 33-37.
- [18]. Nenashev V.S., Snegirev N.I. Opyt primeneniya nerazrushayushchikh metodov pri otsenke prochnosti materialov kirpichnoy kladki XVI veka// Obsledovaniye zdaniy i sooruzheniy: problemy i puti ikh resheniya. Materialy VIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.- 2017- S.194-200.
- [19]. Yushchube S. V. i dr. Eksperimentalnoye issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya fragmentov kladki naruzhnykh sten iz keramicheskogo kamnya //Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2017. – №. 1. – S. 174-180.
- [20]. Degtev. I.A., Donchenko O.M., Tarasenko V.N..Prochnost i deformativnost kamennoy kladki pri silovom szhatii. Monografiya Belgorod: Izd-vo BGTU, 2015. – 174 s.
- [21]. Grinev V.V., Grinev V.D., Atrakhimovich V.I.. Vliyaniye geometricheskikh kharakteristik na prochnost kamennoy kladki// Nauka ta progres transportu, 2007, 15. s.179-182
- [22]. Laskov N. N., Podogova V. I. Skhemy razrusheniya kamennoy kladki i usloviya ikh nastupleniya // Effektivnyye stroitelnyye konstruksii: TEORIYA I PRAKTIKA. – 2016. – S. 3-8.
- [23]. Sokolov B. S., Antakov A. B. Rezultaty issledovaniy kamennykh i armokamennykh kladok //vestnik mgSu. – 2014. – №. 3.
- [24]. Sokolov B.S., Antakov A.B. Novyy podkhod k raschetu kamennykh svodov.//Izvestiya KGASU.2014 №3. s.75-81
- [25]. Artyushin D.V., Shumikhina V.A.. Eksperimentalno-analiticheskiye issledovaniya soprotivleniya kamennoy kladki szhatiyu//Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo 2015 №3. s.62-67
- [26]. Zubkov S.V., Ulybin A.V., Fedotov. S.D.. Issledovaniye mekhanicheskikh svoystv kirpichnoy kladki metodom ploskikh domkratov// Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, №8.2015. s.20-29
- [27]. Pangayev V.V., Fedorov A.V. Fiziko-matematicheskoye modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kamennoy kladki zdaniy i sooruzheniy. 22-ya Vserossiyskaya konferentsiya po chislennym metodam resheniya zadach teorii uprugosti i plastichnosti.2011
- [28]. Pangayev V.V. Modelnyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kamennoy kladki pri szhatii // Izv. Vuzov. Stroitelstvo. - 2003. - №2. - S. 24-29.
- [29]. Kabantsev O.V. Diskretnaya model kamennoy kladki v usloviyakh dvukhosnogo napryazhennogo sostoyaniya// Vestnik TGASU №4, 2015 s. 113-130.
- [30]. Kabantsev O.V. Deformatsionnyye svoystva kamennoy kladki kak raznomodulnoy kusochno-odnorodnoy sredy//Proyektirovaniye, stroitelstvo i rekonstruktsiya seysmostoykikh zdaniy i sooruzheniy №4, 2013. S.36-40
- [31]. Popov A. O., Mavlyutov A. M., Yagovarov D. Sh. Raschet kamennykh svodov s ispolzovaniyem

- модели Хейка-Брауна //НАУКА СЕГОДНЯ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ. – 2017. – С. 61-62.
- [32]. Пятницкий А. А., Махов И. О., Пыльцин М. А. Усиление сводчатых перекрытий здания-памятника //Вестник гражданских инженеров. – 2014. – №. 3. – С. 92-95.
- [33]. Pan L., Han C. Autoclaved Fly ash-lime brick wall of the proposed shear strength formula //Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications, 2012. – Т. 430. – С. 1906-1909.
- [34]. Nadol'skiy V. V., Holický M., Sýkora M. Comparison of reliability levels provided by the Eurocodes and standards of the Republic of Belarus //Вестник МГСУ. – 2013. – №. 2. – С. 7-21.
- [35]. Milani E., Milani G., Tralli A. Limit analysis of masonry vaults by means of curved shell finite elements and homogenization //International Journal of Solids and Structures. – 2008. – Т. 45. – №. 20. – С. 5258-5288.
- [36]. Creazza, G., Saetta, A., Matteazzi, R., Vitaliani, R., 2000. Analyses of masonry vaulted structures by using a 3-D damage model. In: European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS 2000, Barcelona, SP.
- [37]. Heyman, J., 1969. The safety of masonry arches. International Journal of Mechanical Sciences 43, 209–224.
- [38]. Massart, T., Peerlings, R.H.J., Geers, M.G.D., 2004. Mesoscopic modeling of failure and damage-induced anisotropy in brick masonry. European Journal of Mechanics A/Solids 23, 719–735
- [39]. Milani, G., Lourenço, P.B., Tralli, A., 2006a. Homogenised limit analysis of masonry walls. Part I: failure surfaces. Computers and Structures 84, 166–180. Milani, G., Lourenço, P.B., Tralli, A., 2006b. Homogenised limit analysis of masonry walls. Part II: structural examples. Computers and Structures 84, 181–195.
- [40]. Milani, G., Lourenço, P.B., Tralli, A., 2006c. Homogenization approach for the limit analysis of out-of-plane loaded masonry walls. Journal of Structural Engineering ASCE 132 (10), 1650–1663.
- [41]. Ferretti D., Coisson E., Rozzi M. (2017). A new numerical approach to the structural analysis of masonry vaults. Key Engineering Materials 2017 vol.747 pp.52-59.
- [42]. O'Dwyer D. (1999) Funicular analysis of masonry vaults. Computers and Structures 1999 №73 pp.187-197.
- modeli Kheyka-Brauna //НАУКА СЕГОДНЯ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ. – 2017. – С. 61-62.
- [32]. Pyatnitskiy A. A., Makhov I. O., Pylytsin M. A. Usileniye svodchatykh perekrytiy zdaniya-pamyatnika //Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. – 2014. – №. 3. – С. 92-95.
- [33]. Pan L., Han C. Autoclaved Fly ash-lime brick wall of the proposed shear strength formula //Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications, 2012. – Т. 430. – С. 1906-1909.
- [34]. Nadol'skiy V. V., Holický M., Sýkora M. Comparison of reliability levels provided by the Eurocodes and standards of the Republic of Belarus //Vestnik MGSU. – 2013. – №. 2. – С. 7-21.
- [35]. Milani E., Milani G., Tralli A. Limit analysis of masonry vaults by means of curved shell finite elements and homogenization //International Journal of Solids and Structures. – 2008. – Т. 45. – №. 20. – С. 5258-5288.
- [36]. Creazza, G., Saetta, A., Matteazzi, R., Vitaliani, R., 2000. Analyses of masonry vaulted structures by using a 3-D damage model. In: European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS 2000, Barcelona, SP.
- [37]. Heyman, J., 1969. The safety of masonry arches. International Journal of Mechanical Sciences 43, 209–224.
- [38]. Massart, T., Peerlings, R.H.J., Geers, M.G.D., 2004. Mesoscopic modeling of failure and damage-induced anisotropy in brick masonry. European Journal of Mechanics A/Solids 23, 719–735
- [39]. Milani, G., Lourenço, P.B., Tralli, A., 2006a. Homogenised limit analysis of masonry walls. Part I: failure surfaces. Computers and Structures 84, 166–180. Milani, G., Lourenço, P.B., Tralli, A., 2006b. Homogenised limit analysis of masonry walls. Part II: structural examples. Computers and Structures 84, 181–195.
- [40]. Milani, G., Lourenço, P.B., Tralli, A., 2006c. Homogenization approach for the limit analysis of out-of-plane loaded masonry walls. Journal of Structural Engineering ASCE 132 (10), 1650–1663.
- [41]. Ferretti D., Coisson E., Rozzi M. (2017). A new numerical approach to the structural analysis of masonry vaults. Key Engineering Materials 2017 vol.747 pp.52-59.
- [42]. O'Dwyer D. (1999) Funicular analysis of masonry vaults. Computers and Structures 1999 №73 pp.187-197.

*Десятова, П. Л., Дронов, Д. С., Ненашев, В. С., Графическое сравнение формул расчета прочности на сжатие кирпичной кладки // Alfabuild. 2019. № 5 (12). С. 85-97.*

*Desyatova, Polina, Dronov, Danil, Nenashev, Valentin, Graphic comparison of masonry compressive strength formulas. Alfabuild. 2019. 5 (12). Pp. 85-97. (rus)*

## Graphic comparison of masonry compressive strength formulas

Polina Desyatova<sup>1</sup>, Danil Dronov<sup>2</sup>, Valentin Nenashev<sup>3</sup>.

<sup>1-3</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

review article

### Abstract

*The need to use non-destructive methods for studying the strength of brick structures is an urgent task today. One of the non-destructive methods is the use of formulas for calculating the compressive strength of brickwork. This article is about a comparative analysis of three empirical formulas for determining the strength of brickwork for compression, used in building codes of Russia and Europe.*

*The graphs below show the dependence of the design values of the ultimate strength of brickwork under compression on the strength of the brick. This makes possible to see the difference in the calculation methods. Moreover, there was a discrepancy found in professor Onyshika's formula during the work from his "Stone-made constructions" monography with formula in Stone-made and armo-stone made constructions guideline. (SNiP II-22-81).*

Keywords:

Brick, masonry, compression, formulas, analysis, brickwork, Eurocode

---

<sup>1</sup> Corresponding author

1. +79110034939, desyatovapolina@gmail.com (Desyatova Polina, undergraduate)

2. +79650064925, dronovdanil@mail.ru (Dronov Danil, undergraduate)

3. +7(921)7703116, v.s.nenashev@gmail.com (Nenashev Valentin, undergraduate)