

# **Экспериментальные исследования прочности и деформаций каменной кладки исторических зданий и методов ее усиления**

**М.К.Ищук**

**Е.М.Ищук**

**ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко**

**Лаборатория реконструкции уникальных  
каменных зданий и сооружений  
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко**





**Сенатский корпус  
Московского Кремля  
Президентский дворец**



# Большой Кремлевский Дворец

Восстановление Александровского  
и Андреевского залов в 1996 г.



# Старый Гостиный Двор

## Устройство светопрозрачного покрытия по кирпичным стенам



# Большой театр



**Переопирание на новые опоры остановлено  
экспертизой.**





## Экспериментальные исследования прочности кладки из исторического кирпича на растворах малой прочности



Исторический кирпич с ЦВЗ «Манеж» и Большого театра, подготовленный для кладки образцов

## Изготовление опытных образцов





$$R_1 = 7,1 \text{ МПа}$$

$$R_2 = 8 \text{ МПа}$$

$$N = 184 \text{ кН}$$

$$N_{1\text{тр}} = 0,81 \text{ N}$$

## Образцы после испытаний



$R_1=7,1$  МПа

$R_2=8$  МПа

$N=205$  кН

$N_{1тр}=0,63N$

Испытание на сжатие

# Испытания на сжатие массивных столбов из исторического кирпича.



## Формула прочности кладки Л.И. Онищика

$$R_u = K_{\text{рука кам}} K_{\text{габар}} \beta_n A R_1 \left( 1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2R_1}} \right) \gamma =$$
$$= K_{\text{рука кам}} K_{\text{габар}} \beta_n A R_1 \frac{0,1 + \frac{R_2}{2R_1}}{0,3 + \frac{R_2}{2R_1}} \gamma.$$

- $\beta_n$  - коэффициент, учитывающий пластичность известкового раствора
- Прочность кладки образцов, выложенных каменщиком «С» выше в 1,23 раза прочности кладки, выложенной каменщиком «Д».

## Заблуждение №1 при исследовании прочности кладки

Расчетное сопротивление кладки сжатию в СП 15.13330 «Каменные и армокаменные конструкции» назначается по временному сопротивлению кладки  $R_u$ , или что тоже самое, по формуле Онищика

$$R = k \cdot R_u = 2 \cdot R_u = K_{\text{рука кам}} K_{\text{габар}} \beta_n AR_1 \left( 1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2R_1}} \right) \gamma =$$

- $\beta_n$  - коэффициент, учитывающий пластичность известкового раствора
- В лабораторных условиях  $K_{\text{рука кам}} \approx 1,55$ .
- При низком качестве  $K_{\text{рука кам}} \approx 0,8$ .
- Фактически в нормах  $R = k R_u = 3 \cdot R_u$
- Онищик Л.И. (1949 г.) «...более низкое значение 0,8 должно учитываться дополнительно в случае производства работ специальными контингентами неквалифицированной рабочей силы...».
- Таким образом неучет этого при испытании изготовленной в лабораторных условиях кладки может привести к необоснованному завышению прочности по сравнению с нормами в 1,9 раза.

## Заблуждение №2 при исследовании прочности кладки

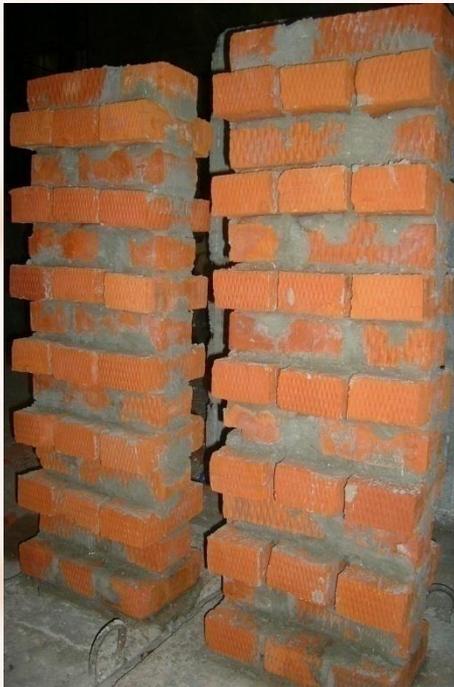
Расчетное сопротивление кладки сжатию в СП 15.13330 «Каменные и армокаменные конструкции» назначается по временному сопротивлению кладки  $R_u$ , или что тоже самое, по формуле Онищика

$$R_u = k \cdot R = 2 \cdot R_u$$
$$\cdot = 2 K_{\text{рука кам}} K_{\text{габар}} \beta_n A R_1 \left( 1 - \frac{a}{b + \frac{1}{2} \frac{R_2}{R_1}} \right) \gamma$$

- $\beta_n$  - коэффициент, учитывающий пластичность известкового раствора
- В лабораторных условиях  $K_{\text{рука кам}} \approx 1,55$ .
- При низком качестве  $K_{\text{рука кам}} \approx 0,8$ .
- Фактически в нормах  $R_u = k R_u = 3 \cdot R$
- Онищик Л.И. (1949 г.) «...при испытании растворных кубиков на пористом основании с отсосом влаги их прочность в 2 раза выше, чем без отсоса, почему в формулу введен коэффициент  $1/2$ ...».
- Таким образом неучет этого при испытании изготовленной в лабораторных условиях кладки может привести к необоснованному завышению прочности по сравнению с нормами в 1,9 раза.

## Раздел 2. Исследование совместной работы старой и новой кладок.





«старая»  
кладка



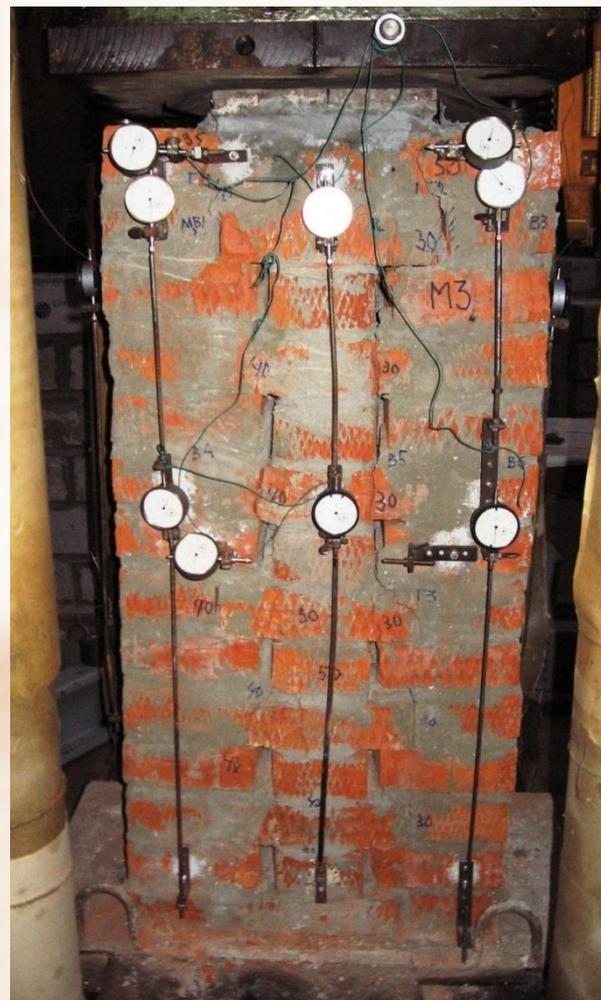
«новая»  
кладка

«новая»  
кладка

«старая»  
кладка

**Имитация усиления «старой» кладки «новой».**

**Исследовалось качественное заполнение швов и некачественное**



**Образцы для испытаний на местное сжатие**



$$N_u = 0,45 \text{ МН}$$

$$N_u / N_{эм} = 0,45 / 0,8 = 0,56.$$

$$N_{1тр} / N_u = 0,88$$

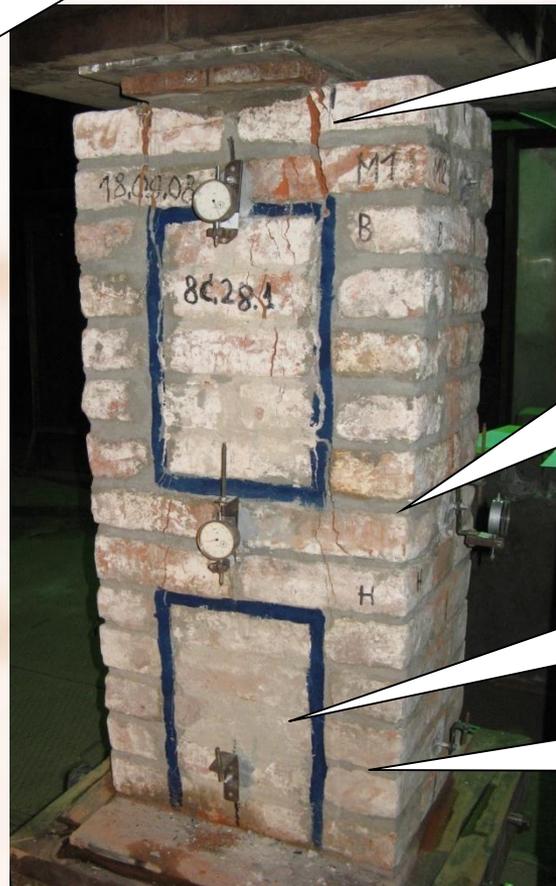
**Несущая способность на местное сжатие не зависела от качества заполнения горизонтальных растворных швов между старой и новой кладкой и составила 0,56 от несущей способности эталонного образца**

# Испытание на местное сжатие образцов из старой кладки, восстановленной новой

Более поздняя кладка на сложном цементно-известковом растворе М75



Более ранняя кладка на известковом растворе М10



Вертикальные трещины после испытания кладки на местное сжатие

Перевязочные тычковые кирпичи более поздней кладки на сложном цементно-известковом растворе М75

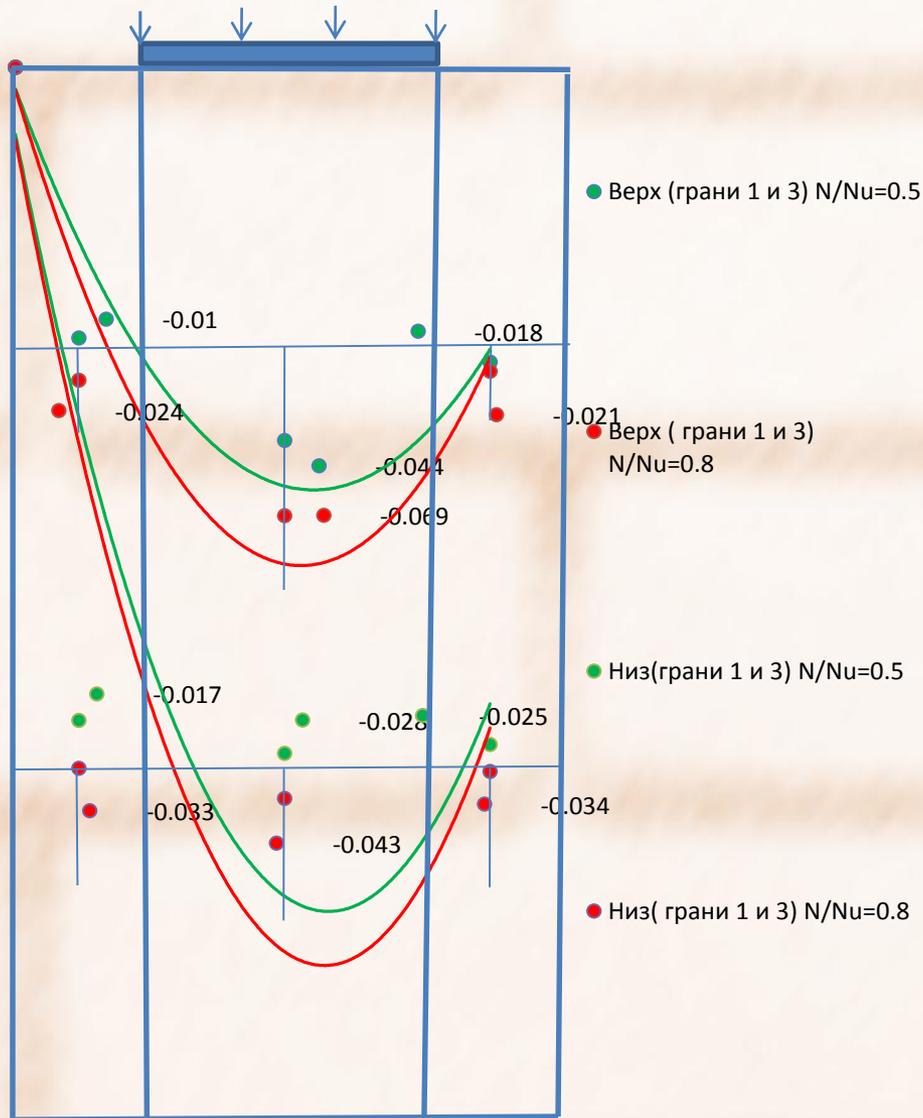
Более ранняя кладка на известковом растворе М10

Более поздняя кладка на сложном цементно-известковом растворе М75

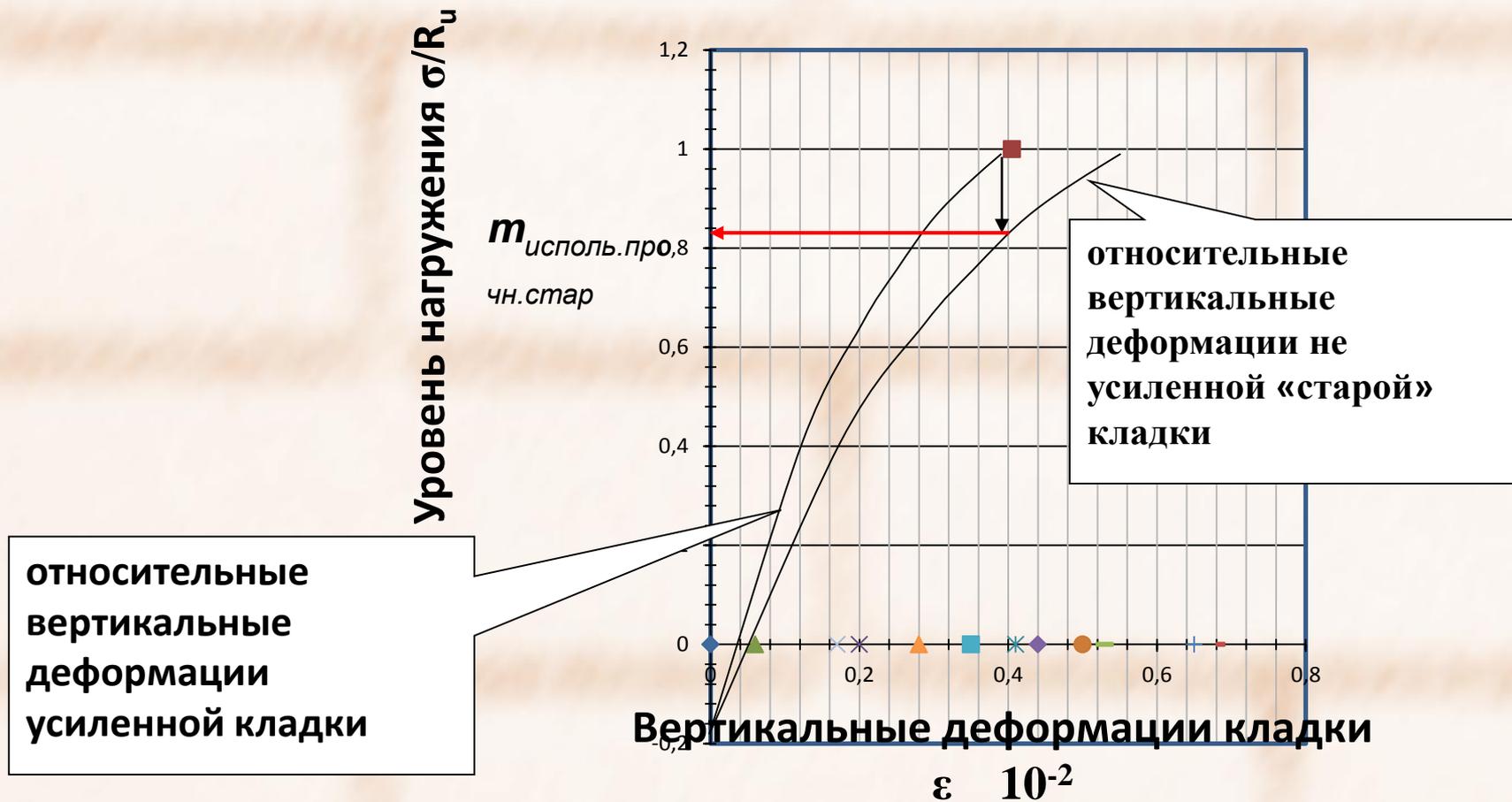
$$N_u = 0,35 \text{ МН}$$

$$N_{1\text{тр}} / N_u = 0,6$$

# Вертикальные деформации кладки показывают, что старая и новая кладка работают совместно



Нахождение коэффициента  $m_{\text{исполь.прочн.стар}}$  по графикам относительных вертикальных деформаций не усиленной «старой» кладки и усиленной кладки серии «Манеж ЦС»



«Старая» кладка была более деформативна, чем «новая» и ее прочность после усиления использовалась только на 80%

# Испытания усиленных инъекцией раствором на основе гидравлической извести образцов кладки из исторического кирпича



## 1 этап. Разрушение не усиленной кладки



## 2-ой этап. Разрушение кладки, усиленной инъекцией после 1 –го этапа

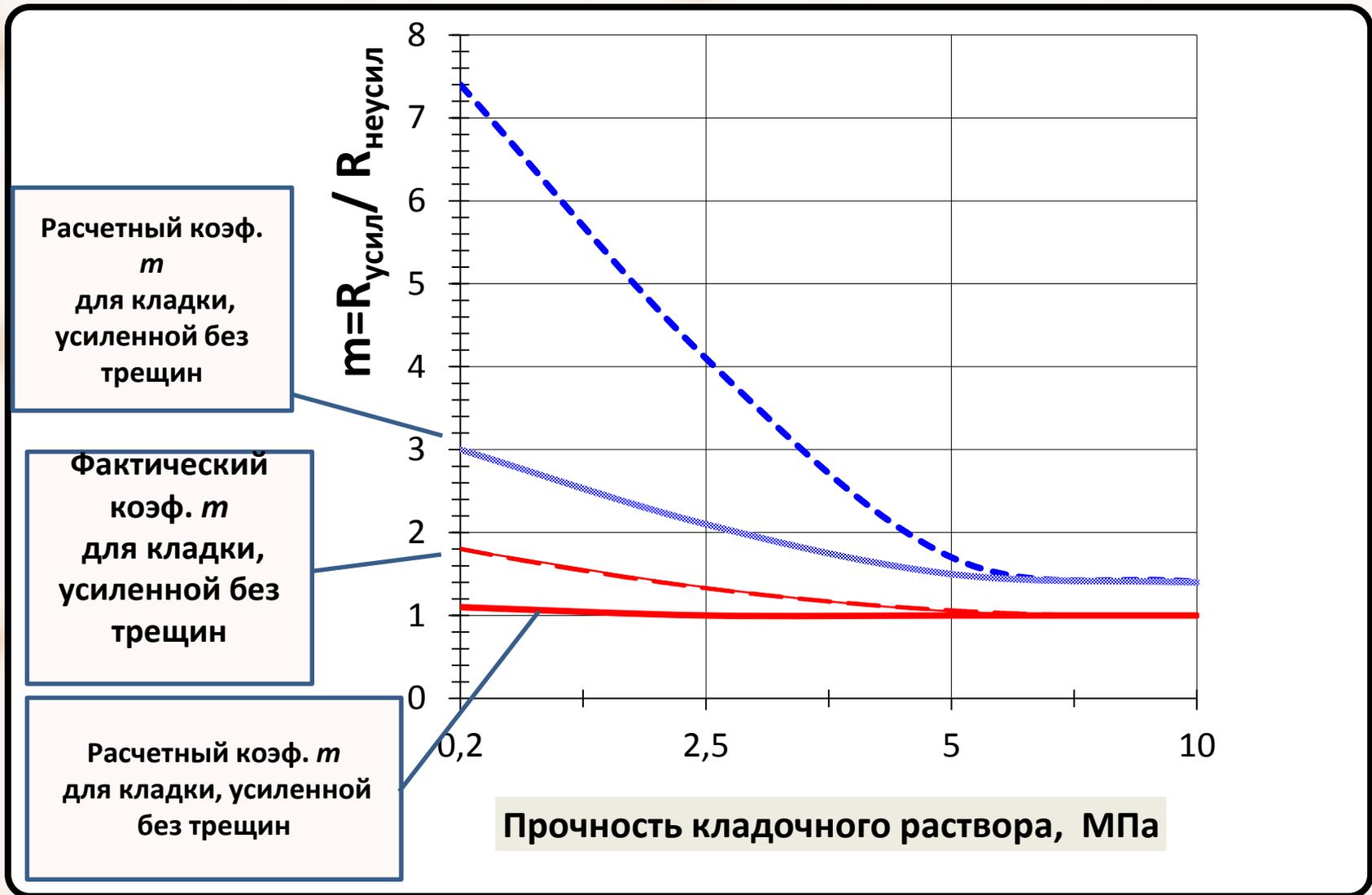
Новая трещина, образовавшаяся после второго этапа испытаний

Заинъектированная после первого этапа испытаний трещина не раскрылась



Разрушение усиленной эпоксидной смолой кладки происходило по новым трещинам, старые не раскрылись, что говорит о высоком качестве усиления.

# Зависимость коэффициента увеличения прочности усиленной инъекцией эпоксидной смолы кладки от прочности кладочного раствора



# Отсутствие эффекта усиления инъекцией метилметакрилата кладки без трещин



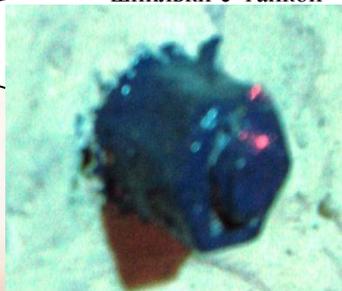
Граница распространения метилметакрилата

### 3. Усиление кладки косвенным армированием





Выступающий конец  
шпильки с гайкой



**Разрушение происходило не от образования трещин,  
а преимущественно от раздробления кладки**

## Коэффициенты условий работы поперечной арматуры в кладке в зависимости от типа и процента армирования

Вид армирования	Коэф. $m_{sw}$
Поперечные элементы стальной обоймы $N \leq \psi \varphi \left[ \left( m_g m_k R + \eta \frac{2,5\mu}{1 + 2,5\mu} \cdot \frac{R_{sw}}{100} \right) A + R_{sc} A'_z \right]$	$\frac{2,5\mu}{1 + 2,5\mu}$
Поперечные элементы ж.б. обоймы $N \leq \psi \varphi \left[ \left( m_g m_k R + \eta \frac{3\mu}{1 + 3\mu} \cdot \frac{R_{sw}}{100} \right) A + m_b R_b A_b + R_{sc} A'_z \right]$	$\frac{3\mu}{1 + \mu}$
Армированная растворная обойма $N \leq \psi \varphi \left( m_g m_k R + \eta \frac{2,8\mu}{1 + 2\mu} \cdot \frac{R_{sw}}{100} \right) A$	$\frac{2,8\mu}{1 + 2\mu}$
Сетки	$2\mu$
Буроинъекционные шпильки с анкерровкой гайками с обеих сторон	$4,5\mu$
Буроинъекционные шпильки с анкерровкой гайками с одной стороны	$3,1\mu$

Испытания кладки из исторического  
кирпича для московской мэрии в  
лаборатории реконструкции  
уникальных каменных зданий и  
сооружений ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко

# **Спасибо за внимание**

**ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко**

**Лаборатория реконструкции уникальных каменных зданий  
и сооружений**

**+7 499 170 10 86**

**+7 499 174 79 96**

**+7 926 535 20 52**

**[kamkon@ya.ru](mailto:kamkon@ya.ru)**