

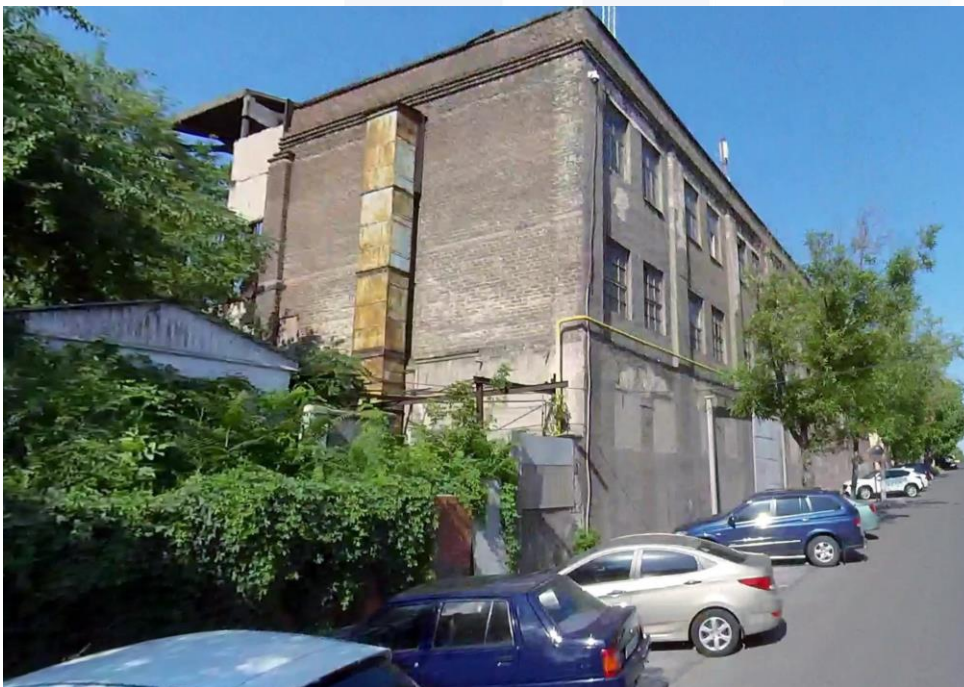
# Усиление каменной кладки, поврежденной взрывными динамическими воздействиями

*д.т.н. Кабанцев О.В., к.т.н. Симаков О.А.*

*Москва, 2023*

# Введение

**Каменные здания массовой застройки на новых территориях РФ**



Жилые многоэтажные здания с несущими стенами из каменной кладки

Промышленные здания с несущими стенами из каменной кладки

# Введение

Различия в повреждениях каменной кладки в эксплуатационный период и в результате взрывных динамических воздействий

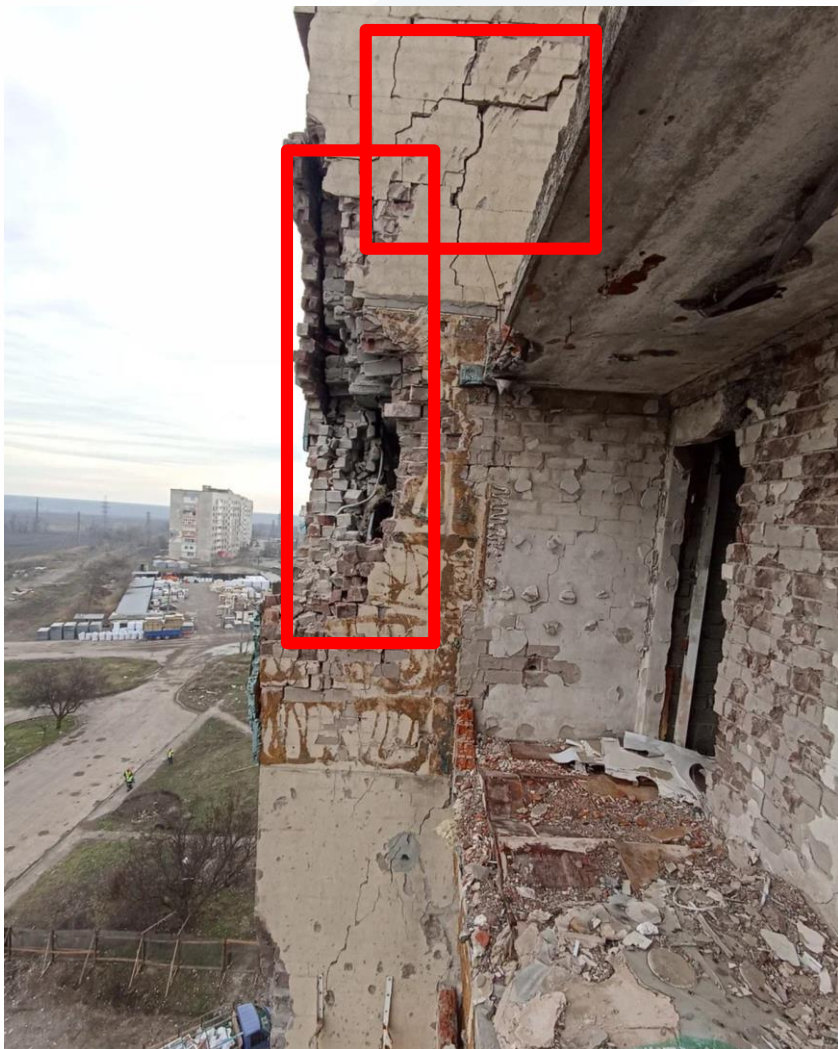
Повреждения каменной кладки в эксплуатационный период



Повреждения в результате взрывного динамического воздействия

Конструкции из каменной кладки имеют **специфические повреждения** в результате взрывных воздействий

# Методы



**Конструкции из каменной кладки имеют специфические повреждения в результате взрывных воздействий**

# Методы



**Конструкции из каменной кладки имеют специфические повреждения в результате взрывных воздействий**

# Методы



**Конструкции из каменной кладки имеют специфические повреждения в результате взрывных воздействий**

# Методы



Конструкции из каменной кладки имеют специфические повреждения в результате взрывных воздействий

# Методы





# Методы

## Характерные повреждения вследствие взрывных динамических воздействий:

- Локальные участки **полного разрушения** элементов несущих конструкций;
- Формирование системы наклонных и вертикальных трещин в кладке несущих конструкций;
- **Разрушение связей наружной версты** с основным массивом кладки;
- **Разрушение адгезионного взаимодействия между кирпичом и раствором** в горизонтальном кладочном шве **по всему сечению стены** на большой площади, прилегающей к участку разрушения.

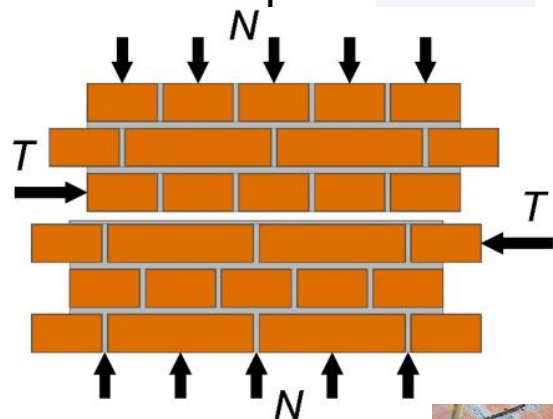
## Вывод:

- Поврежденная каменная кладка **не соответствует** основной модели, на которой базируются нормы: модель Л.И. Онищика, С.В. Полякова, Г.А. Гениева, **«Каменная кладка как континуальная среда с обобщенными («эффективными») характеристиками»**
- Поврежденная каменная кладка **может быть описана** моделью В.Э. Вильдемана, Г.Г. Кашеваровой, О.В. Кабанцева **«Каменная кладка как кусочно-однородный разномодульный композит с разрывными полями внутренних связей»**

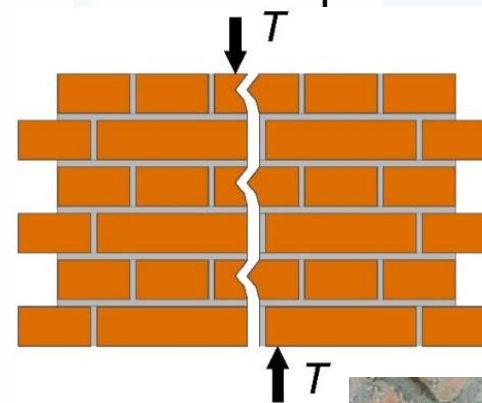
# Экспериментальные исследования механизмов разрушения каменной кладки

# Методы

Разрушение кладки при действии сдвигающих усилий в плоскостях, параллельных горизонтальному шву



Разрушение кладки при действии сдвигающих усилий перпендикулярно горизонтальному шву

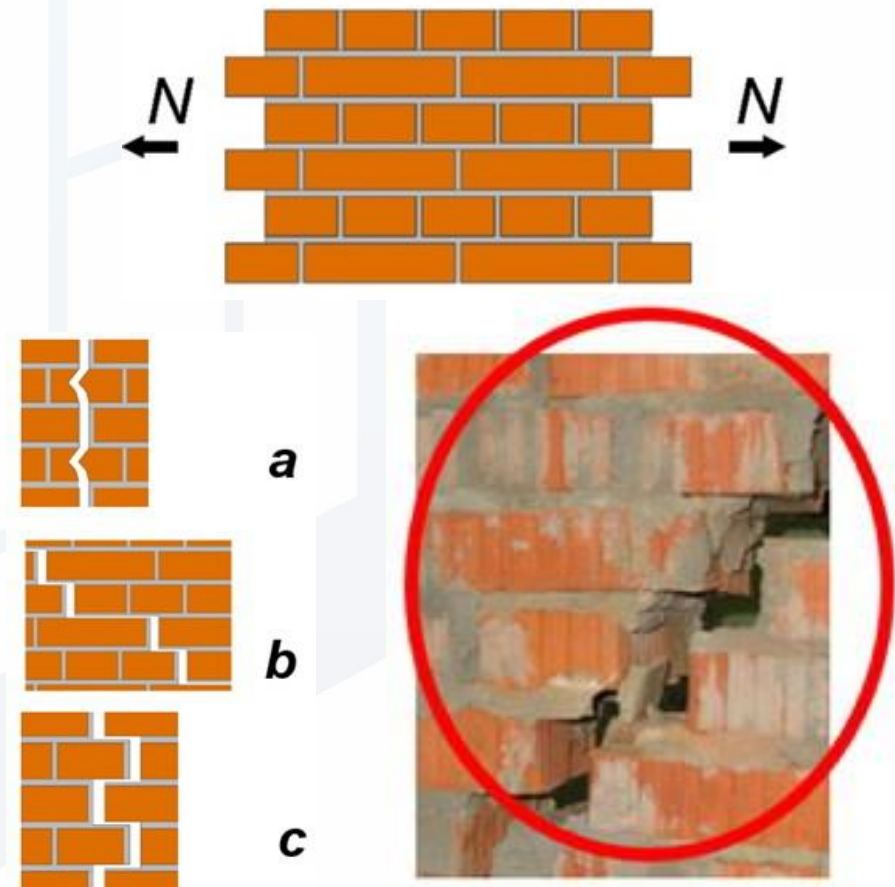
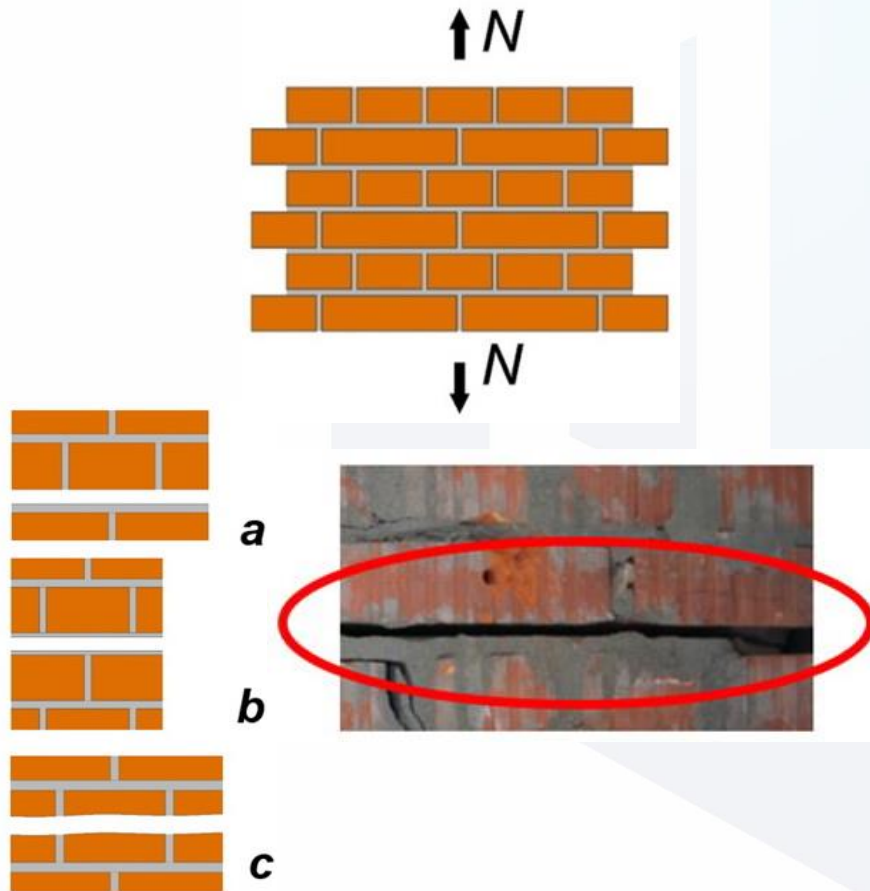


# Экспериментальные исследования механизмов разрушения каменной кладки

# Методы

Разрушение кладки при действии растягивающих напряжений перпендикулярно горизонтальному шву

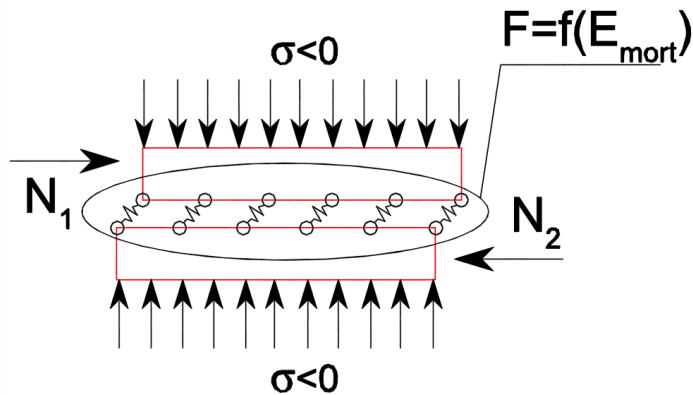
Разрушение кладки при действии растягивающих напряжений параллельно горизонтальному шву



# Модель каменной кладки в условиях сжатия и сдвига

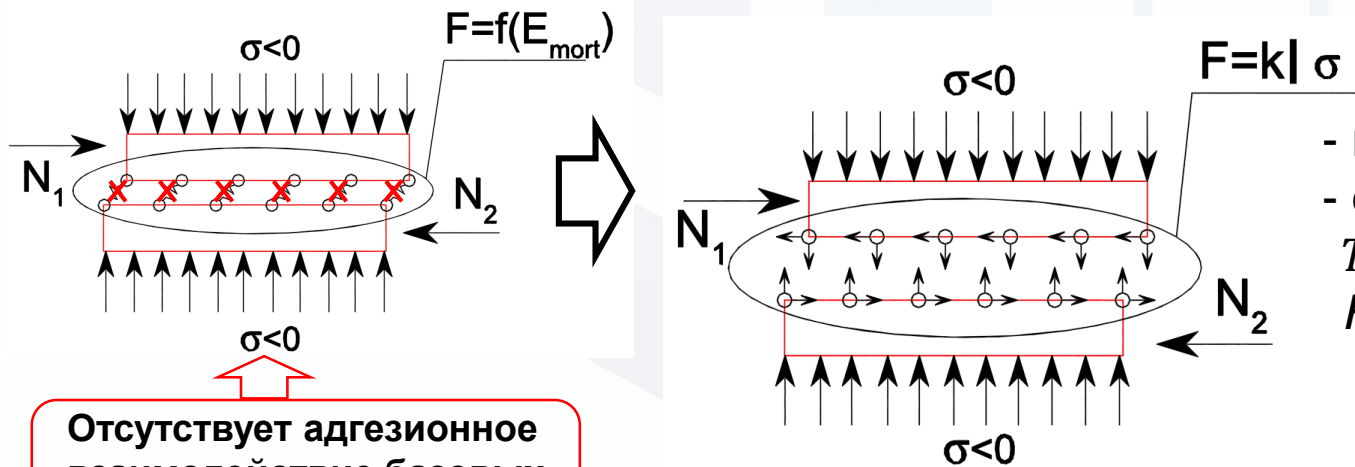
# Результаты

## Исходное состояние



- напряжения  $\sigma < 0$ ;
- основное уравнение этапа:  
 $T = N_1 - N_2 < K|\sigma|$   
 $F = f(E_{mort})$

## Состояние после взрывного динамического воздействия



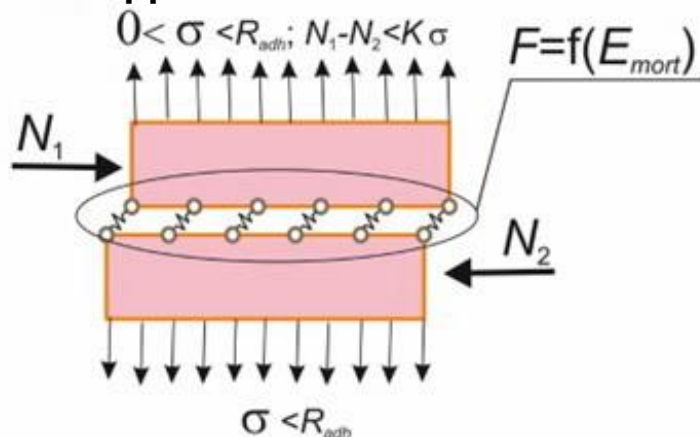
- напряжения  $\sigma < 0$ ;
- основное уравнение этапа:  
 $T = N_1 - N_2 > k|\sigma|$   
 $F = k|\sigma|$

Отсутствует адгезионное взаимодействие базовых материалов кладки

## Модель каменной кладки в условиях растяжения и сдвига

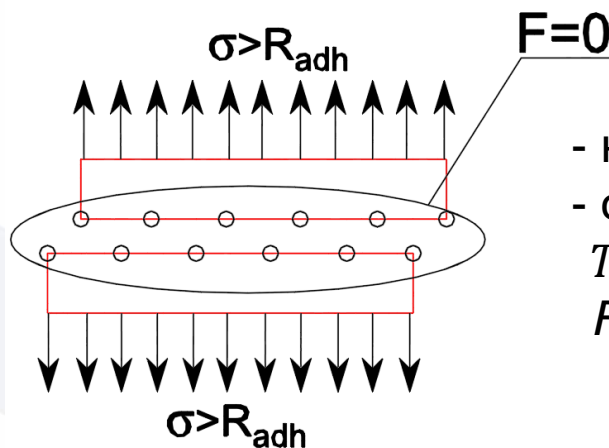
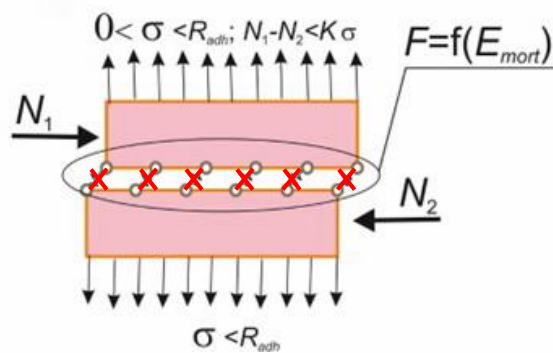
# Результаты

### Исходное состояние



- напряжения  $\sigma > 0$ ;
- основное уравнение этапа:  
 $T = N_1 - N_2 < K|\sigma|$   
 $F = f(E_{mort})$

### Состояние после взрывного динамического воздействия

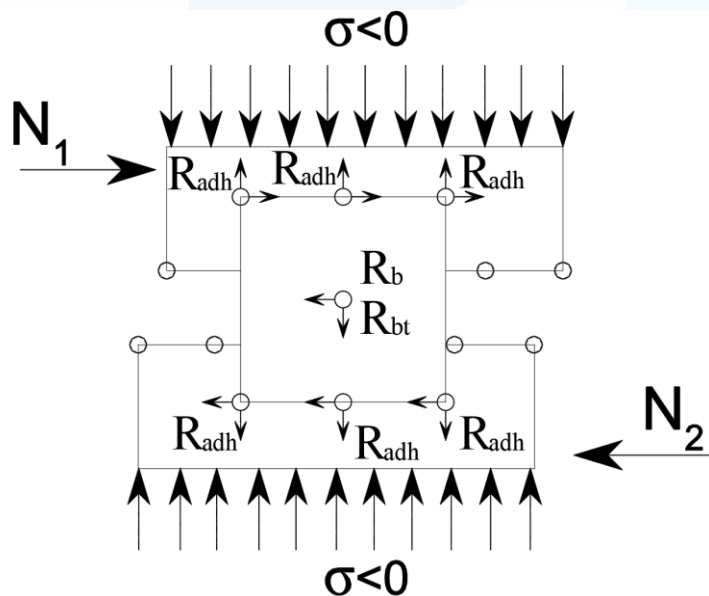


- напряжения  $\sigma > 0$ ;
- основное уравнение этапа:  
 $T = 0$   
 $F = 0$

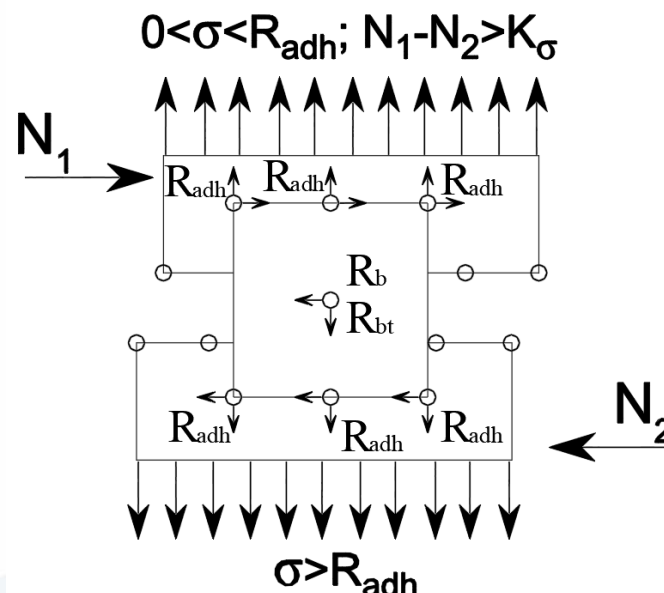
Отсутствует адгезионное взаимодействие базовых материалов кладки

# Модель восстановления каменной кладки **Результаты**

Восстановление конструкций, поврежденных взрывными воздействиями возможно методом компенсации разрушенных внутренних связей базовых материалов каменной кладки введением усиливающих внешних конструкций



сжатия и сдвига



растяжения и сдвига

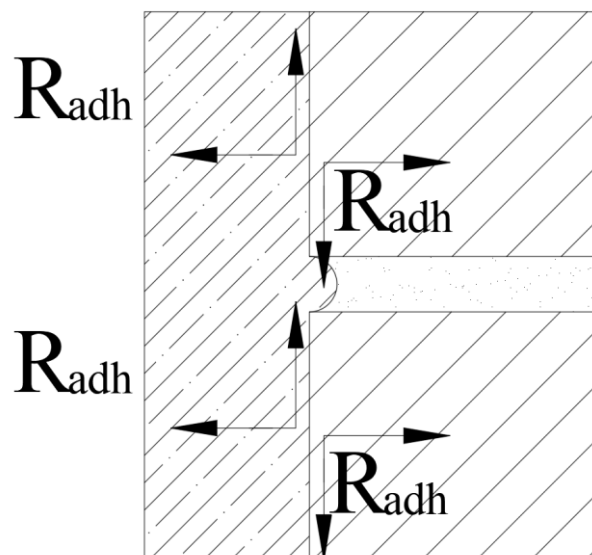
**Ключевое условие:** Совместность работы аппликации с усиливаемой кладкой

**Необходимые элементы:**

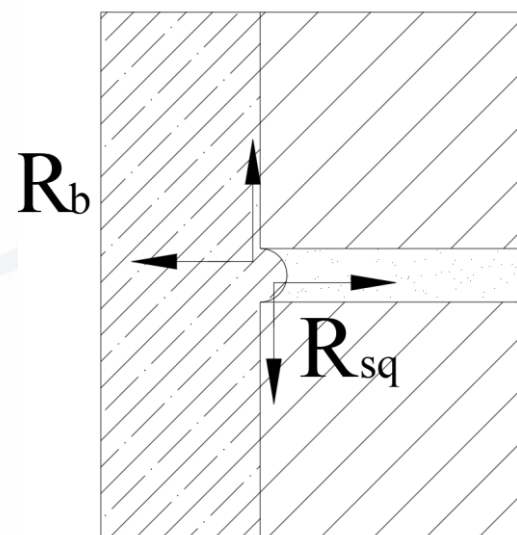
Подбор рецептуры состава для выполнения аппликаций по торкрет-технологии. Высокие прочностные характеристики взаимодействия аппликации и кладочного материала.

## Основные механизмы совместной работы бетонной торкрет-аппликации

# Результаты



механизм адгезии



механизм сдвига микрошпонок

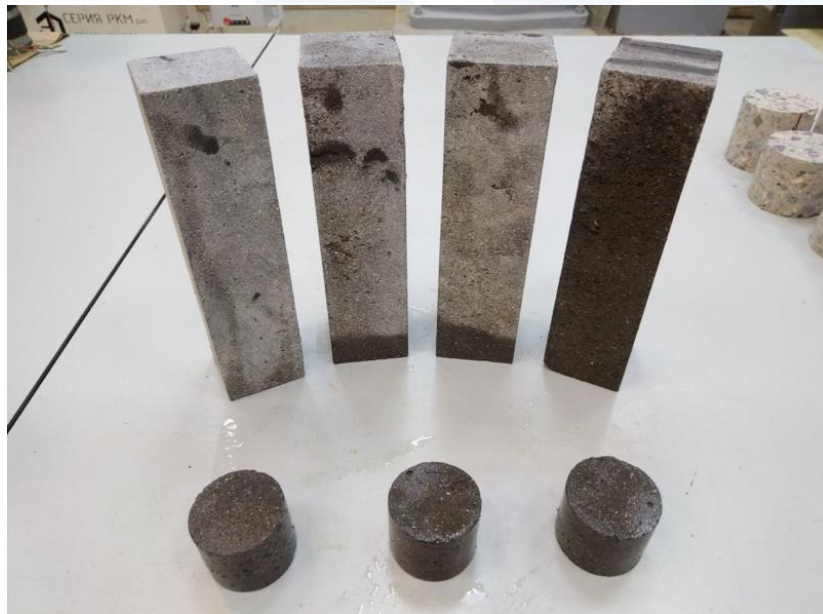
Технология торкрет-бетона обеспечивает

- **высокий уровень адгезионной прочности** по линии контакта аппликации и каменной кладки;
- **прочность шпоночного узла** по линии контакта аппликации в горизонтальных швах кладки

## Испытание материала

Разработана специальная рецептура мелкозернистого бетона для нанесения на поверхность каменной кладки по торкрет-технологии.

Специальный состав обладает повышенной адгезионной прочностью взаимодействия с основанием.



Прочность бетона аппликации на сжатие:  
 $R_b \geq 63 \text{ Мпа} (\approx \text{B90})$

## Результаты

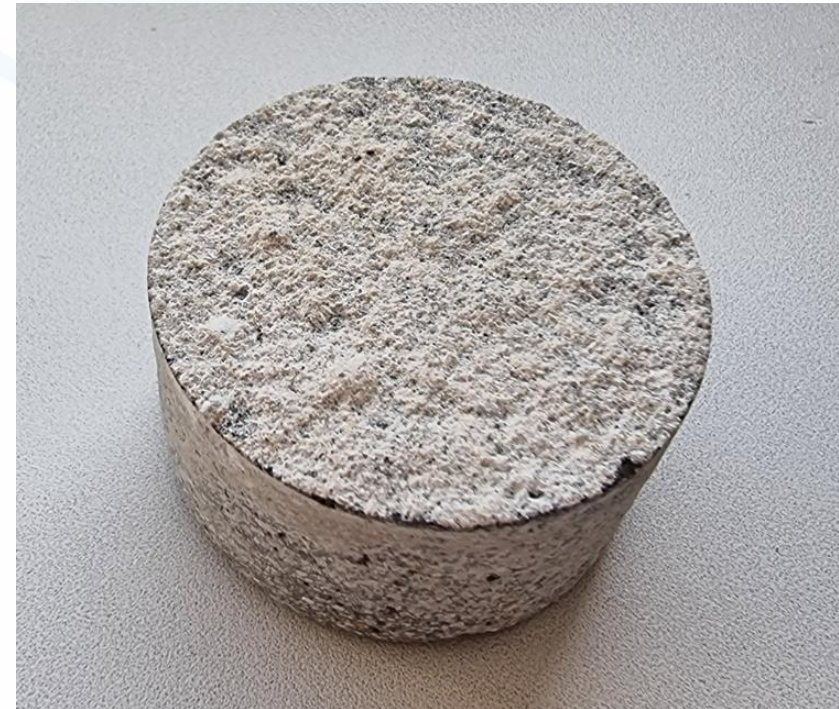
Модуль упругости бетона  
аппликации:  
 $E_b, (25,6-28 \text{ Мпа} \cdot 10^3 \approx \text{B40})$





## Исследование адгезионной прочности взаимодействия

# Результаты



**Адгезия к базовому материалу (кирпич силикатный):**

**Разрушение только по краевому слою базового материала (кирпич) ( $R_t=0,9-1,2$  МПа)**

## Исследование адгезионной прочности взаимодействия

# Результаты

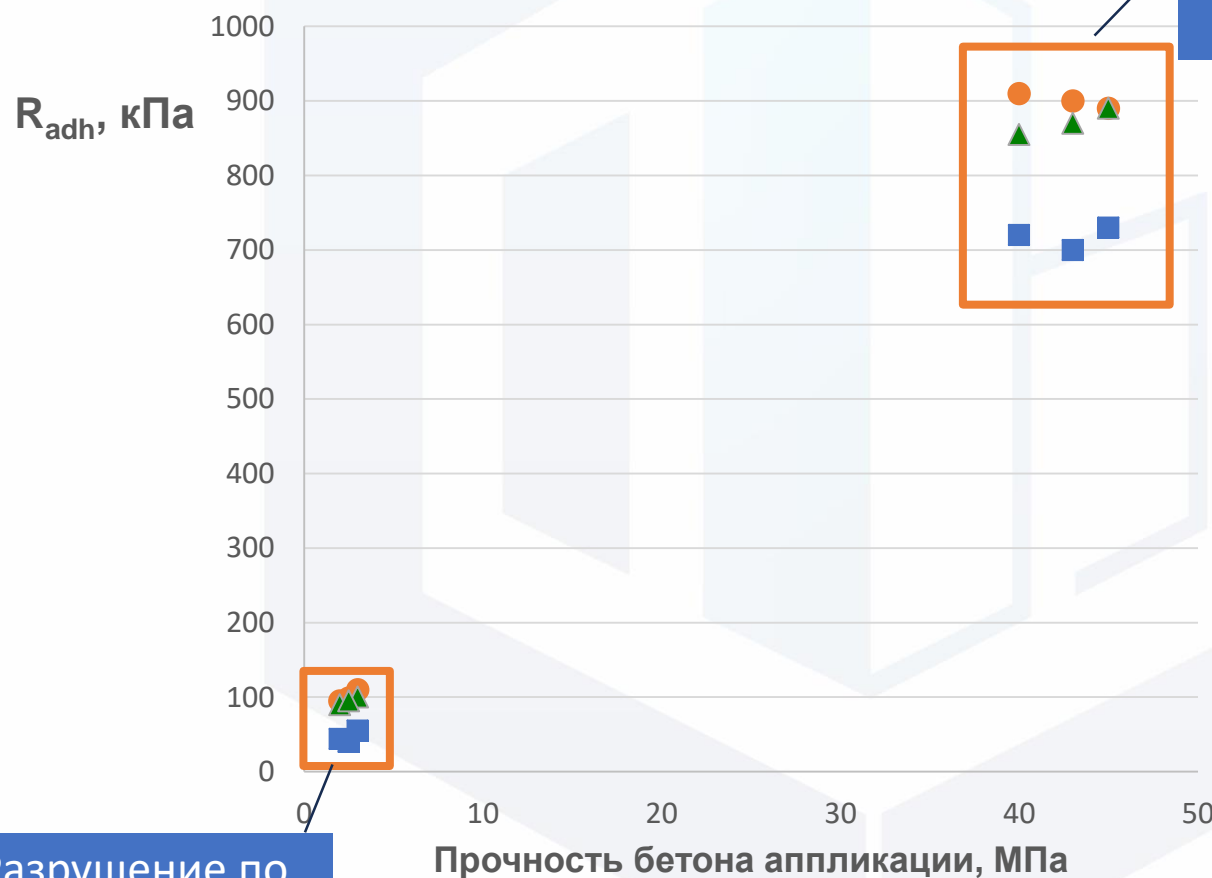


Адгезия к базовому материалу (кирпич керамический):

**Разрушение только по краевому слою базового материала (кирпич) ( $R_t=0,8-1,4$  МПа)**

# Исследование адгезионной прочности взаимодействия

# Результаты



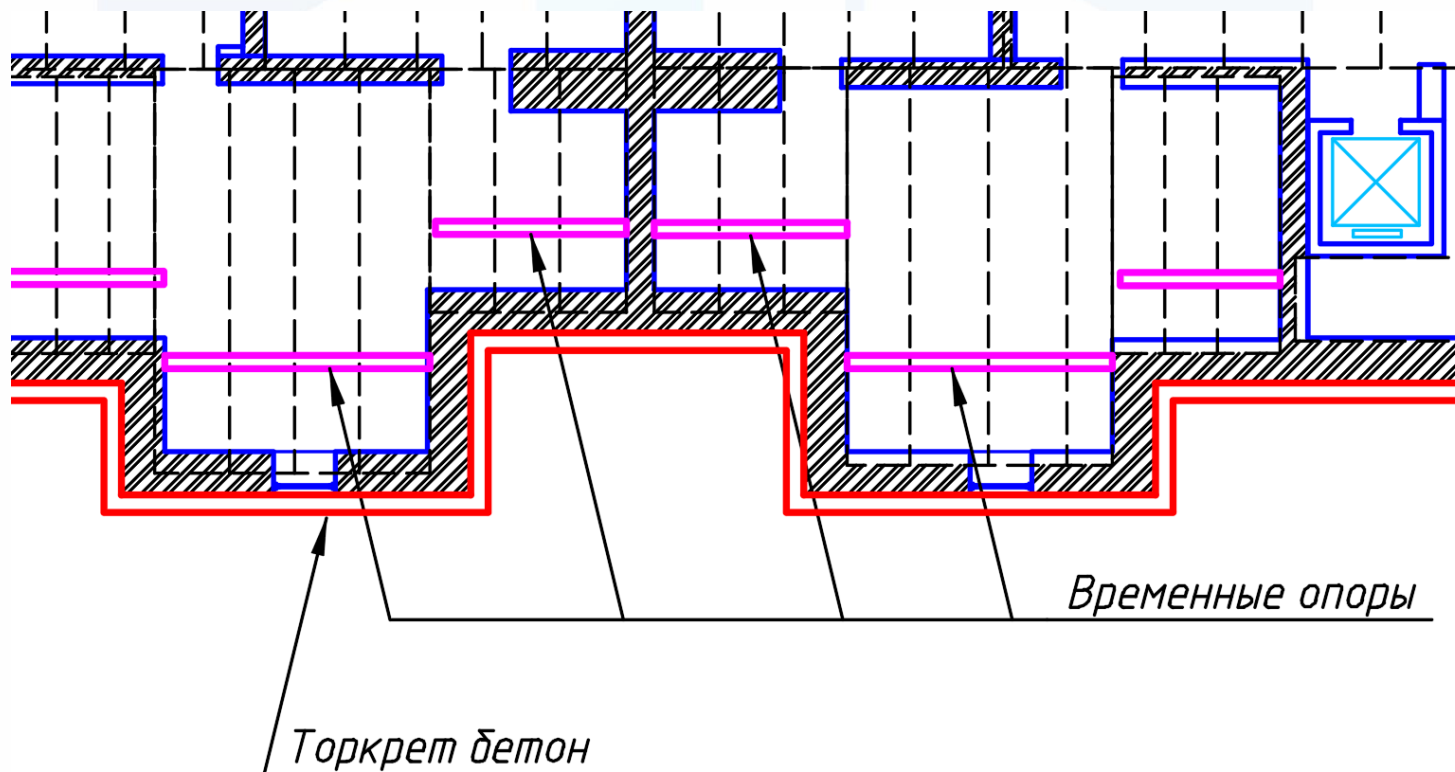
Разрушение по базовому материалу (кирпич)

- Кирпич силикатный
- Кирпич керамический полнотельный
- ▲ Кирпич керамический пустотелый

Разрушение по границе контакта

Технические решения усиления поврежденных каменных конструкций односторонними аппликациями по торкрет-технологии

# Результаты

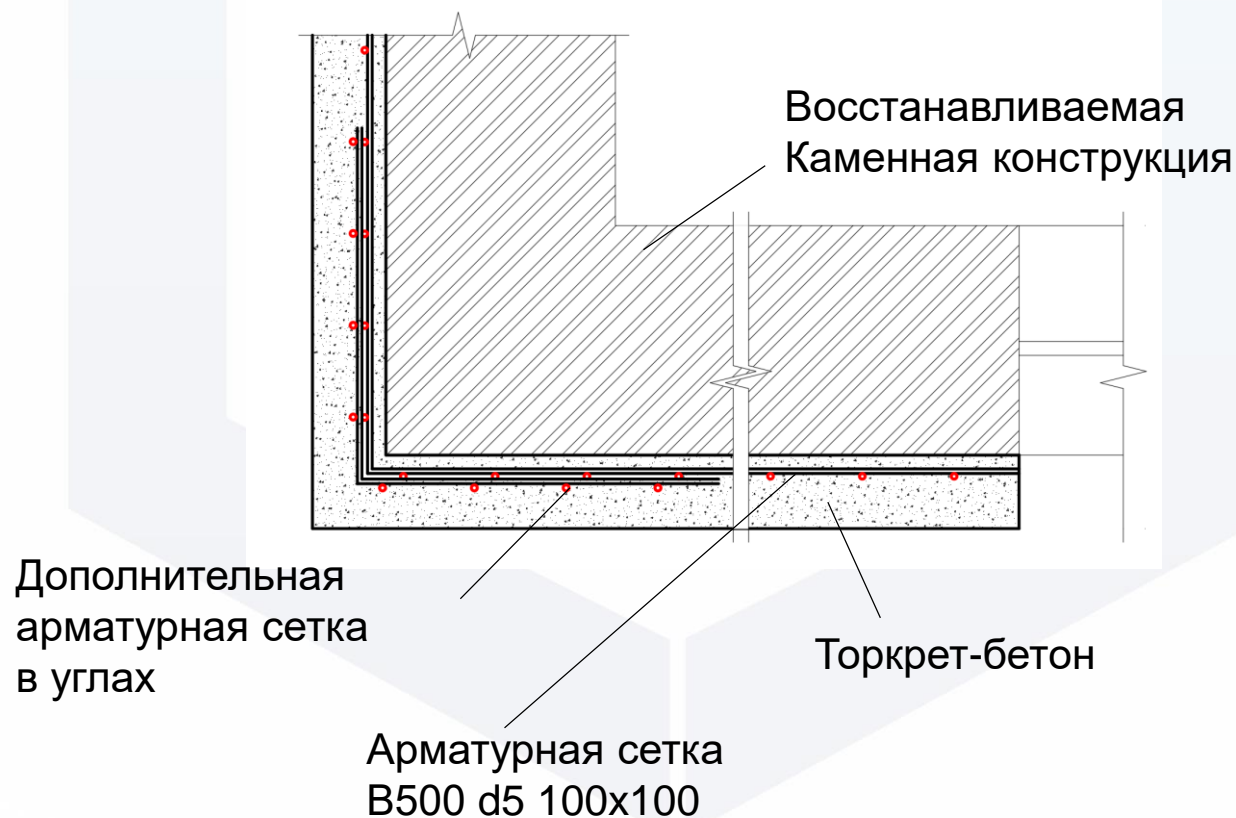


Общая схема усиления стен из каменной кладки односторонними аппликациями из торкрет-бетона

# Технические решения усиления поврежденных каменных конструкций односторонними аппликациями по торкрет-технологии

# Результаты

Схема усиления угла здания



**Технические решения усиления поврежденных каменных конструкций односторонними аппликациями по торкрет-технологии**

# Результаты

**Этап 1 - установка временных опор (покрытие)**



**Этап 2 - демонтаж наружной кладочной версты**



**Технические решения усиления поврежденных каменных конструкций односторонними аппликациями по торкрет-технологии**

# Результаты

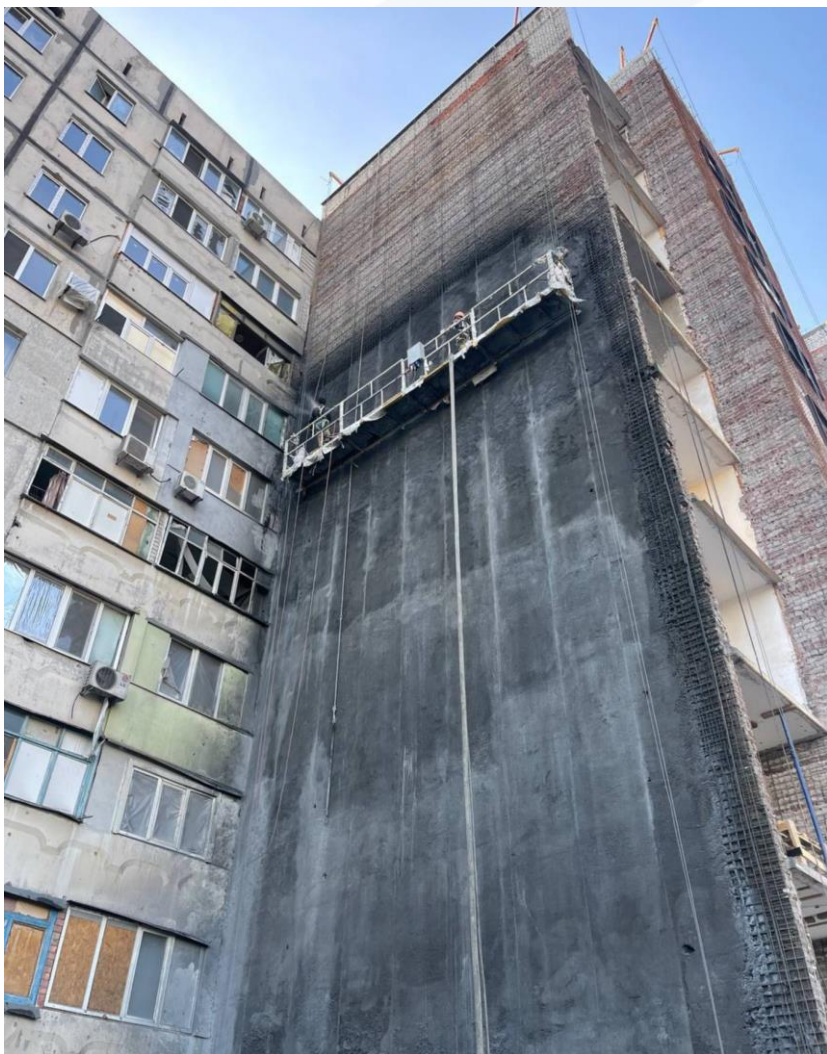
**Этап 3 – устройство армированных бетонных торкрет-аппликаций**



**Технические решения усиления поврежденных каменных конструкций односторонними аппликациями по торкрет-технологии**

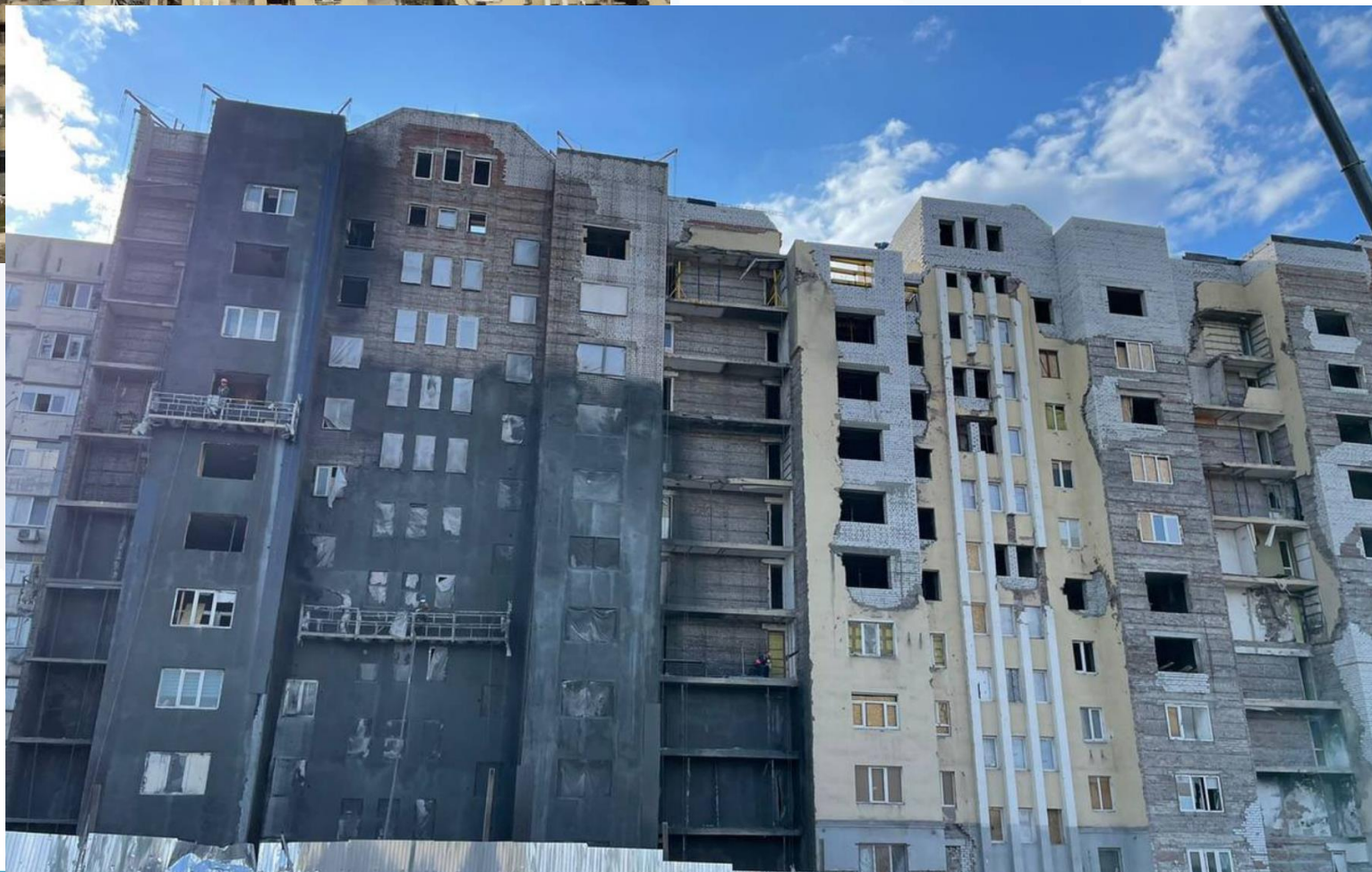
# Результаты

**Этап 3 – устройство армированных бетонных торкрет-аппликаций**





# Результаты



# Выводы

- 1. Каменная кладка, поврежденная минно-взрывными воздействиями, может быть описана моделью В.Э. Вильдемана, Г.Г. Кашеваровой, О.В. Кабанцева «Каменная кладка как кусочно-однородный разномодульный композит с разрывными полями внутренних связей»**
- 2. Методы усиления поврежденных каменных конструкций должны компенсировать нарушенное взаимодействие базовых материалов (кирпич и раствор) в сечении каменных конструкций.**
- 3. Предложен и обоснован метод усиления поврежденных каменных конструкций односторонними армированными аппликациями из торкрет-бетона.**
- 4. В рамках исследования выполнено:**
  - Подбор состава для торкрет-аппликаций;**
  - Разработана технология устройства односторонних торкрет-аппликаций;**
  - Определены прочностные характеристики контактного взаимодействия кладки и аппликации усиления;**
  - Разработана методика статического расчета усиленных элементов несущей системы домов из каменной кладки;**
  - Разработана методика расчета несущей способности стен и простенков из каменной кладки, усиленных односторонней армированной аппликацией из торкрет-бетона.**