

УДК 624.012.45+721,011

## УСИЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ МАТЕРИАЛОМ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

**Голубева Екатерина Александровна**

кандидат архитектуры, заведующая кафедрой современных технологий архитектурно-строительного проектирования, Уральский Государственный Архитектурно-Художественный Университет имени Н.С.Алфёрова, Екатеринбург, Российская Федерация

**Волкова Дарья Сергеевна**

аспирантка кафедры современных технологий архитектурно-строительного проектирования, Уральский Государственный Архитектурно-Художественный Университет имени Н.С.Алфёрова, Екатеринбург, Российская Федерация

### **Аннотация**

В данной работе представлена методика применения стали с памятью формы для усиления существующих железобетонных конструкций. Технология рентабельна, поскольку позволяет восстановить или значительно повысить несущую способность строительных конструкций.

При восстановлении железобетонных конструкций стало возможным использовать инновационный метод: сплавы с памятью формы на основе железа, которые сжимаются при однократном нагревании и, таким образом, создают постоянное предварительное напряжение в бетонной конструкции.

**Ключевые слова:** сплав памяти формы, железобетон, конструкции, восстановление, предварительное напряжение.

REINFORCEMENT OF THE STRUCTURAL SYSTEM OF EXISTING  
BUILDINGS WITH A MATERIAL WITH A SHAPE MEMORY EFFECT

Volkova D.S., Golubeva E.A.

## Abstract

This paper presents a technique for using shape memory steel to strengthen existing reinforced concrete structures. The technology is cost-effective because it allows you to restore or significantly increase the bearing capacity of building structures. During the restoration of reinforced concrete structures, it became possible to use an innovative method: shape memory alloys based on iron, which shrink during a single heating and thus create a constant pre-stress in the concrete structure.

**Keywords:** shape memory alloy, reinforced concrete, structures, recovery.

Разработка стали с памятью началась в начале 2000-х годов. В предыдущие десятилетия швейцарские федеральные лаборатории материаловедения и технологии уже были новаторами в упрочнении бетона полимерами, армированными углеродным волокном (углепластик). Это привело к идее использования сплавов с памятью формы для предварительного растяжения бетона.

Первоначальные испытания сплавов никель-титан дали положительные результаты. При всех своих достоинствах, нитинол, помимо высокой стоимости, имеет еще один существенный недостаток, который не позволяет его применять в строительстве, например в качестве арматуры. Все дело в том, что для того, чтобы сплав начал возвращаться к изначальной форме, воздействующая на него температура должна достигать 400°C! Эта температура недопустима для теплочувствительных строительных материалов – бетона и раствора.

В 2009 году исследователям удалось разработать сплав с памятью формы на основе железа Fe-SMA, что открыло новые возможности для восстановления гражданских зданий.[1]

В работе продемонстрирован образец применения новейшего строительного материала – сталь с памятью формы (СПФ - далее по тексту) в рамках восстановления жилого дома из железобетонных несущих

конструкций. По результатам проделанной работы можно сделать вывод: применение строительных элементов из СПФ увеличивает срок службы существующих железобетонных конструкций. Цель работы: выявить возможности использования данного материала для упрочнения существующих зданий из железобетонных конструкций.

СПФ в первую очередь следует использовать для усиления конструктивной системы существующих зданий, причем как для стальной, так и для железобетонной основы. Необходимость в усилении может возникнуть после ввода здания в эксплуатацию и касаться как вертикальных, так и горизонтальных несущих конструкций.

Например, в промышленных зданиях при реконструкции иногда требуется увеличить несущую способность существующих плит перекрытия. Благодаря СПФ такие задачи теперь можно решать даже в условиях ограниченного пространства и сложной объемно-планировочной структуры зданий. Эксперименты показали, что непрерывное предварительное напряжение в бетонной конструкции можно создать путем однократного нагрева стальных элементов из СПФ, внедренных в конструкцию. Рассмотрим два основных способа:

Для первого способа возьмем усиление бетонной плиты, есть возможность крепления пластин из специальной стали на нижнюю плоскость плиты с помощью дюбелей, а затем нагреть ее электрическим излучателем.

Для второго способа используется арматура пластины, которые можно укладывать в предварительно выполненных выемках бетонной плиты, затем в канавку вставляется ребристый арматурный стержень из стали с эффектом памяти и заполняется специальным раствором. Далее, профиль нагревается и, таким образом, создается предварительное напряжение (Иллюстрация1, 1а). Другой вариант применения - усиление железобетонной мостовой балки, путем заделки арматурного стержня в дополнительный слой торкрет-бетона для дополнительного армирования, во

избежание образования трещин или других повреждений под воздействием фактора окружающей среды (Иллюстрация 2, 3) [2].

В перспективе СПФ может стать эффективным методом изготовления сборных криволинейных железобетонных конструкций. В отличие от традиционного гидравлического предварительного напряжения, которое создает трение в изогнутых конструкциях, что значительно ограничивает использование этого метода. Профиль из СПФ теперь также возможны конструкции с высокой кривизной ввиду того, что при нагревании профиль равномерно сжимается по всей длине без потерь на трение и передает нагрузку на бетон. [3]

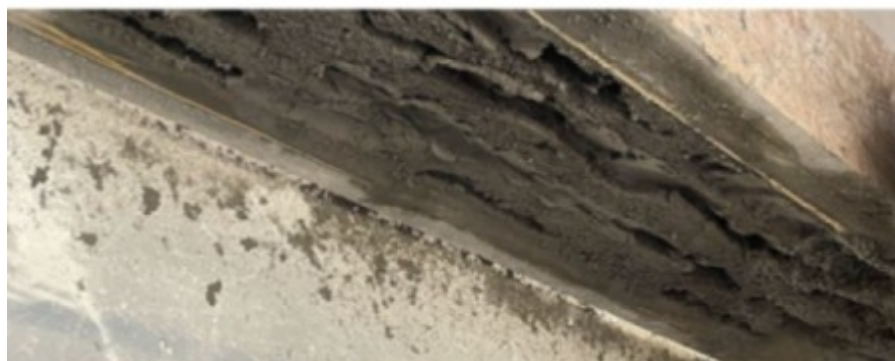


Иллюстрация 1. Установка пластин СПФ на бетонную плиту

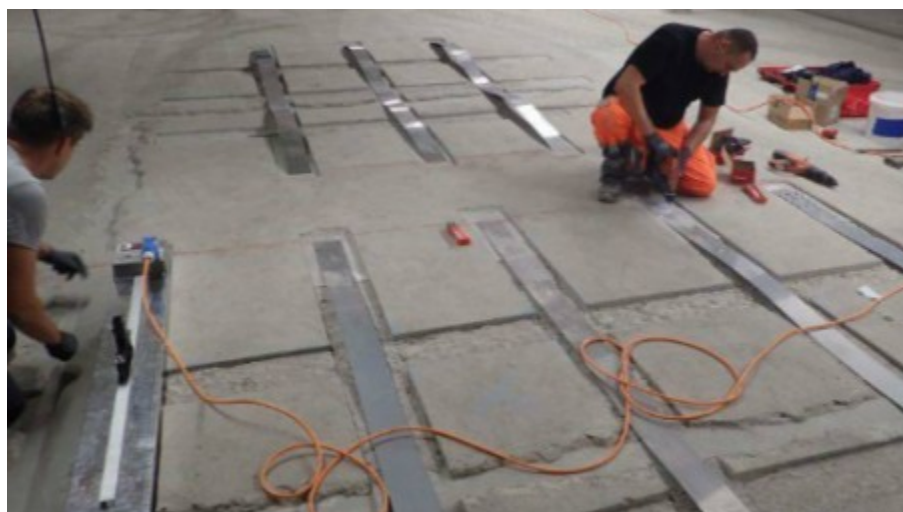


Иллюстрация 3. Мостовая балка. Заделка арматуры d16 из СПФ в раствор



Иллюстрация 1а . Установка арматуры 1



Иллюстрация 2. Зона крепления арматуры d16 из СПФ в мостовую балку

### **Практический пример: реконструкция жилого дома в Швейцарии**

На примере жилого дома, 1960 года постройки в Швейцарии, разберем технологию установки планок из СПФ. Планировки квартир не отвечали современным нормам объемно-планировочных решений, поэтому владелец решил увеличить пространство в будущих квартирах. Для этого требуется демонтировать часть несущих стен. В таких случаях всегда устанавливались балки, способные нести постоянные нагрузки от плиты перекрытия, состава пола и переменные нагрузки от людей. Эту функцию теперь возьмут на себя планки из СПФ. [2]

#### **Этапы работ:**

1. Для начала снимают штукатурку со стен и потолка, чтобы провести техническое обследование плиты перекрытия и вычислить ее необходимую несущую способность.

2. На основе расчетов было заказано необходимое количество предварительно растянутых и отрезанных до желаемой длины пластин из СПФ с отверстиями на концах для надежной установки пластин к нижней плоскости плиты перекрытия. Рабочими измеряется предполагаемое положение планок из стали с эффектом памяти (Иллюстрация 4).

3. Монтажники плотно прижимают узкие металлические планки к бетонной поверхности. Теперь два конца планки крепят к потолку с помощью стальных болтов через отверстия, выполненные на заводе. Крепить изделие к потолку шпилькой, установленной в предварительно просверленные на заводе отверстия, после закрепить гайкой. Металлические пластины прикрепляется к потолку с небольшим прогибом, вызванным его собственным весом.



Иллюстрация 4. Процесс монтажа металлических пластин СПФ

4. Для нагрева изделия пользуются специально созданный для этой цели инфракрасный обогреватель длиной около двух метров. Металлу требуется всего несколько минут, чтобы нагреться до 165 градусов по Цельсию. Цифровые датчики с дисплеем контролируют процесс нагрева (Иллюстрация 5). При нагреве материал возвращался к своей

первоначальной форме, создавая натяжение. Прогиб исчезал, а стык между металлом и бетоном становился незаметным.

Натяжение материала увеличивается, причем возрастающая затяжка отчетливо видна после нагрева участка изделия. Еще не нагрета половина восьмиметровой металлической полосы, уже натянута. Ранее четко видимый стык металла и бетона полностью исчез. Все данные о процессе нагрева можно отслеживать с помощью мобильного телефона, а весь процесс может регистрироваться в цифровом виде для получения необходимых показателей. [2]



Иллюстрация 5. Инфракрасный обогреватель с датчиками

После полного натяжения, т.е. после того, как изделие полностью нагрелось, обогреватель с датчиками демонтируют

5. Параллельно первому изделию из СПФ крепится еще одна металлическая полоса. В соответствии со статическим расчетом параллельно стене в соседней комнате будут прикреплены еще две планки из стали с эффектом памяти. Важно уточнить, установка блока из планок

СПФ реализуется перед тем, как снесут несущую вертикальную конструкцию.

Четыре металлические полосы теперь крепятся рядом друг с другом, лишь визуалью разделяясь стеной. Перед началом работ в верхней части вертикальной несущей конструкции - стены уже были пробиты технологические проемы. Здесь дополнительные изделия устанавливаются под прямым углом к уже закрепленным металлическим полосам, так что они покрывают потолок, как «металлическая сетка» (Иллюстрация 6).



Иллюстрация 6. Вид установленных пластин после сноса несущей стены

**6.** При переоборудовании многоквартирного дома на двух этажах демонтируются стены, чтобы создать просторные комнаты и больше места. Поэтому горизонтальные несущие конструкции - плиты должны быть усилены на обоих этажах. Используемая пластина из СПФ увеличивает несущую способность существующих горизонтальных конструкций. (Иллюстрация 7) [4]

Всего необходимо уложить около 50 метров пластин в направлении слоев армирования. Монтаж и соответствующее усиление конструкции выполняются в течение нескольких дней.

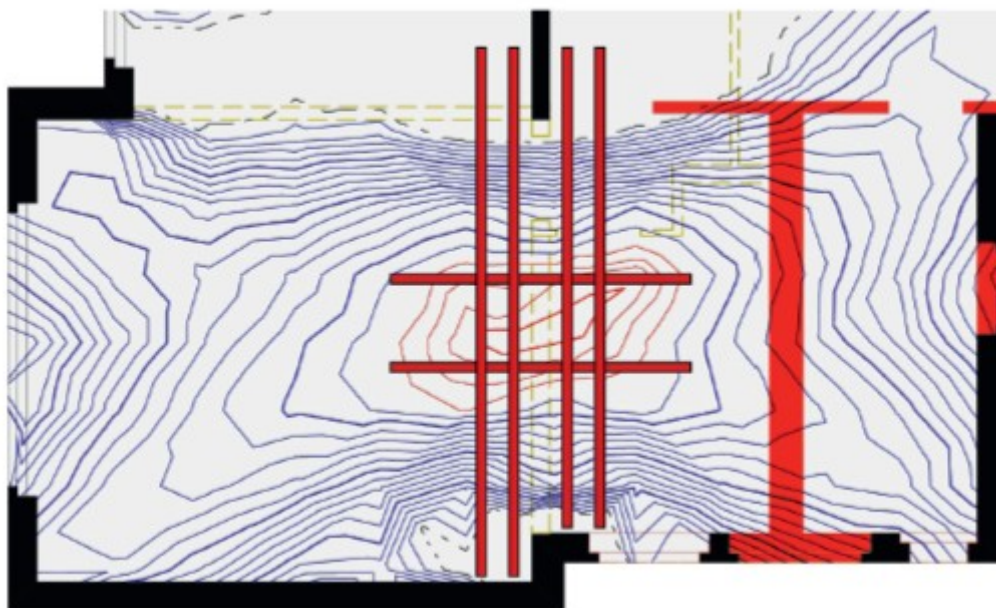


Иллюстрация 7. Схема усиления плиты перекрытия

## Заключение

Целью исследования было разобрать технологию применения элементов из СПФ для реконструкции несущих железобетонных конструкций, в пользу увеличения срока службы и увеличения несущей способности существующих железобетонных конструкций.

На примере жилого дома в Швейцарии, была рассмотрена методика восстановления с помощью СПФ. Подтверждено, что данная технология является экологически безопасной, так как для активации элементов требуется лишь нагрев (например, путем пропускания электрического тока), что особенно важно в условиях плотной городской застройки. Данный пример яркий тому показатель ввиду того, что участок находится в густо застроенном районе.

Исследование показало, что с помощью элементов из СПФ усилие передается в бетон через слой раствора, что продемонстрировано на примере усиления мостовой балки. Существующие трещины в несущем

основании значительно уменьшаются за счет предварительного напряжения с помощью СПФ.

Проанализированы потенциальные направления применения СПФ в строительстве:

– Возможности данного материала для восстановления существующих зданий и сооружений, в том числе на объектах культурного наследия, для восстановления несущей способности и прохождения срока службы. Надо не забывать, обращать внимание на влияние окружающей среды от элементов из СПФ.

– Конструкции для уникальных зданий и сооружений, которые имеют ограничения, не позволяющие изготавливать железобетонные конструкции с нестандартными формами, так как традиционно применяемое гидравлическое предварительное напряжение вызывает значительное трение на криволинейных поверхностях (например, оболочек).

Преимуществом является то, что предварительное напряжение новых бетонных плит перекрытия позволяет не прибегать к поддерживающим вертикальным несущим элементам. Проектировщикам предлагают экономически выгодные решения при изготовлении несущих железобетонных элементов, а также при усилении существующих конструкций.

Инновационный материал на основе СПФ расширяет возможности укрепления и восстановления существующих железобетонных конструкций, позволяя увеличивать их предельную прочность и допустимые эксплуатационные нагрузки.

## Список использованной литературы

1. Винтайкин Е.З., Гуляев А.А., Оралбаев А.Б. [и др.] - О природе эффекта памяти формы в сплавах Fe–Mn–Si – М.: Металлофизика. – 1991. – Т. 13, № 8. – С. 43 – 51.
2. Spann Stahl mit Formgedächtnis [German]//structure published by DETAIL / p. 8-9 /2019
3. Klaus Halter: Memory-Metalle: Legierungen mit Formgedächtnis. Ges. f?r Fachpublikationen der HTA Burgdorf, 1/96, 3-12 info@hta-bu.bfh.ch
4. Czaderski C., Weber B., Shahverdi M., Motavalli M., Leinenbach C., Lee W., Brönnimann R., Michels J. Iron-based shape memory alloys (Fe-SMA) — a new material for prestressing concrete structures. URL: [https://www.researchgate.net/publication/281744248\\_Iron-based\\_shape\\_memory\\_alloys\\_Fe-SMA\\_\\_a\\_new\\_material\\_for\\_prestressing\\_concrete\\_structures](https://www.researchgate.net/publication/281744248_Iron-based_shape_memory_alloys_Fe-SMA__a_new_material_for_prestressing_concrete_structures) (дата обращения: 23.06.2022).