

УДК 691–4

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-3\(628\)-33-39](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-3(628)-33-39)**И.А. ИВАНОВ**

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Ключевская улица, д. 40В,
Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, 670013, Российская Федерация

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МАТЕРИАЛАМИ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Аннотация

Введение. В работе показана технология натяжения арматуры, по концам которой прикреплены отрезки арматуры из металла с памятью формы, а также показаны технологии, сопоставимые с предложенной. Показаны примеры применения таких технологий в реставрации железобетонных изделий и при натяжении арматуры на бетон.

Цель. Упростить и удешевить реставрационные работы по восстановлению изношенных железобетонных конструкций.

Материалы и методы. Проведены патентные поиски по зарубежным патентам по данному направлению, а также изучены научные статьи за последние 5 лет.

Результаты. Подана заявка на патент и обосновано применение данной технологии на практике.

Выводы. Данная технология легко осуществима на практике и может снизить стоимость восстановительных работ.

Ключевые слова: сплав с эффектом памяти формы, сплав с разнообразными свойствами, перспективы сплавов, разнообразие сплавов, арматура, натяжение, арматура с двух- и трехзаходной резьбой, реставрация, цена

Для цитирования: Иванов И.А. Восстановление изношенных железобетонных конструкций материалами с эффектом памяти формы // *Бетон и железобетон*. 2025. № 3 (628). С. 33–39. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-3\(628\)-33-39](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-3(628)-33-39). EDN: XEQBDK

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.02.2025

Поступила после рецензирования 05.04.2025

Принята к публикации 10.04.2025

I.A. IVANOV

East Siberia State University of Technology and Management, Klyuchevskaya str., 40V, Republic of Buryatia,
Ulan-Ude, 670013, Russian Federation

RESTORATION OF WORN—OUT REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH MATERIALS WITH SHAPE MEMORY EFFECT

Abstract

Introduction. The paper shows the reinforcement tension technology, at the ends of which metal reinforcement segments with shape memory are attached, and also shows technologies comparable to the proposed one. Examples of the use of such technologies in the restoration of reinforced concrete products and in the stretching of reinforcement on concrete are shown.

Aim. To simplify and reduce the cost of restoration work to restore worn-out reinforced concrete structures.

Materials and methods. Patent searches for foreign patents in this area have been conducted, as well as scientific articles from the last 5 years have been studied.

Results. A patent application has been filed and the application of this technology in practice has been substantiated.

Conclusions. This technology is easily feasible in practice and can reduce the cost of restoration work.

Keywords: alloy with shape memory effect, alloy with various properties, prospects of alloys, variety of alloys, reinforcement, tension, reinforcement with two- and three-way threads, restoration, price

For citation: Ivanov I.A. Restoration of worn-out reinforced concrete structures with materials with shape memory effect. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 3 (628), pp. 33–39. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-3\(628\)-33-39](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-3(628)-33-39). EDN: XEQBDK

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the work on the article.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 13.02.2025

Revised 05.04.2025

Accepted 10.04.2025

На то, что преднапряженный железобетон (ЖБ) имеет множество недостатков, обратили внимание совсем недавно: ограниченный срок работы арматуры, неравномерное натяжение в криволинейных расположениях арматуры, повышенная цена ЖБ изделия, сложность с натяжением арматуры в коротких ЖБ изделиях, много отходов арматуры, во многих изделиях нет связи арматуры с основной массой бетона, или она чисто символическая и т. д. Но все эти вопросы были связаны с новым строительством, а, например, такое направление, как реставрация, обходили стороной. Часто это уникальные здания, которые достойны сохранения еще на 100 или 200 лет, ведь у нас есть

здания с тысячелетней и даже более историей. Надо помочь им продолжить свое существование.

Предложенные в последнее время технологии ремонта ЖБ изделий при реставрации уникальных зданий сделали большой шаг вперед в этом направлении.

На рис. 1 и 2 представлены два снимка ЖБ изделий, которым почти сто лет. Видно, что арматура гладкая, без натяжения, защитный слой местами отсутствует, при обследовании бетона выяснилось, что было потеряно 30 % прочности.



Рис. 1. Бурятия, г. Улан-Удэ, подвал дома № 17 по ул. Октябрьская. Постройка 1935 г., фото сделано автором в 2021 г.

Fig. 1. Buryatia, Ulan-Ude, basement of house No. 17 on the Oktyabrskaya Street. Built in 1935, the photo was taken by the author in 2021



Рис. 2. Бурятия, г. Улан-Удэ, перекрытие подвала школы № 29. Постройка 1937 г. Гладкая арматура оголена в середине изделия. Фото сделано автором в 2015 г.

Fig. 2. Buryatia, Ulan-Ude, the ceiling of the basement of school No. 29. Built in 1937. The smooth reinforcement is exposed in the middle of the product. The photo was taken by the author in 2015

Замена балки, если это обычное здание, очень и очень трудоемкое мероприятие, а если это уникальное здание, в котором замена балки – это больше чем сейсмика, то есть возможность, что от уникальности останется только название объекта.

Швейцарские исследователи предложили следующее: арматуру из металла с памятью формы (никель + титан) нужно брать меньше длины арматуры, указанной в технологической карте, потом нагреть до плюс 600 °С и резко охладить (сухой лед CO₂ минус 70 °С или сжиженный газ минус 160 °С), арматуру растянуть до проектных размеров и уложить в предварительно сделанный канал по низу балки на глубину 2–3 диаметра арматуры, закрепить анкерами и подать ток, который должен нагреть арматуру до плюс 400 °С, арматура уменьшится по длине и по достижении проектной прочности (прочность до ее растяжения) нагрев нужно прекратить, идет торкетирование арматуры. Нагрев арматуры до 400 °С происходит, только если арматура состоит из никеля и титана, а сейчас уже создан и применяется металл с памятью формы, который «вспоминает» свою первоначальную форму при плюс 160 °С, вполне приемлемая для бетона температура (Fe + Mn + Si + Cr + Ni).

Для справки: цена никеля в порошке 2 миллиона рублей за тонну.

Другой предложенной технологией укрепления ЖБ изделия является наложение плоской ленты из металла с памятью формы в зоне растяжения балки и закрепления ее концов на торцах изделия (рис. 3). Недостаток такой технологии в том, что возникают трудности с закреплением полосы на торцах изделия.

Также была предложена технология натяжения арматуры на бетон (при реставрации), но она не прижилась, ведь гайку надо закручивать динамометрическим ключом, но им трудно работать, так как конец балки (чаще всего) находится в стене, а разобрать и восстановить ее – это нарушение внешнего и внутреннего видов объекта.

Были предложения применять многозаходную резьбу в устанавливаемой арматуре, мотивируя тем, что за один оборот гайки (трехзаходная резьба) она перемещается в 3 раза дальше, чем если бы это была резьба однозаходная. Утверждалось, что она надежнее в работе и в фиксации гайки. Некоторые исследователи отстаивают это утверждение до сих пор. Попытаемся разобраться (рис. 4).



Рис. 3. Плоская арматура

(<https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/4781/820/memorijske-legure-bi-mogle-da-promene-oblik-gradjevine-industrije>)

Fig. 3. Flat reinforcement

(<https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/4781/820/memorijske-legure-bi-mogle-da-promene-oblik-gradjevine-industrije>)

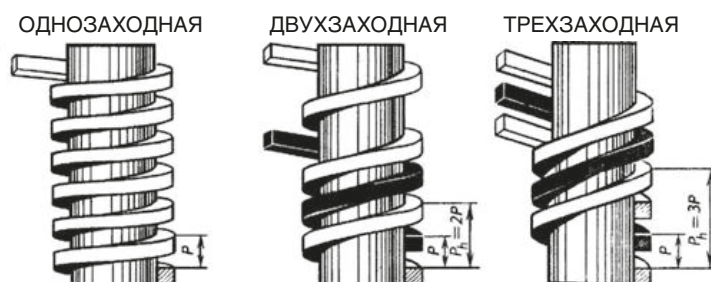


Рис. 4. P – шаг резьбы, у двухзаходной и особенно у трехзаходной наклон резьбы больше, чем у однозаходной, что ведет к самораскручиванию гаек (<https://cherch.ru/>)

Fig. 4. P – thread pitch, in two-way and especially in three-way, the thread slope is greater than in single-way, which leads to self-unwinding of the nuts (<https://cherch.ru/>)

Там, где нужно надежное и редкое откручивание гаек, везде однозаходная резьба: кривошип в ДВС, там же головки цилиндров; траки на гусеницах бульдозеров; металлические конструкции на мостах; соединения рельс и т. д.

Многозаходная резьба нужна там, где частое использование разъемных соединений: авторучки; буровые трубы; объектив фотоаппарата – наводка на резкость (у многозаходной резьбы нет люфта) и т. д.

К какой категории отнести многозаходную резьбу на арматуре, где ее замена нужна (самое малое) через 50–70 лет?

Последнее предложение наших строителей по возвращению к жизни старых (на грани аварийного износа) ЖБ изделий. Следует заметить, что реставрация ценных зданий имеет свою специфику: ее поручают только лучшим специалистам; применяют передовые и давно забытые технологии; повышенная цена; привлечение специалистов из других областей – художники, камнетесы, историки, архивариусы и т. д. И конечно, здесь в первых рядах строители.

Вот одно из их предложений (рис. 5).

Предлагаемая технология работает следующим образом: к арматуре (2) прикрепляют отрезки (3, 4),

изготовленные из металла с памятью формы, перед этим их нагревают, резко охлаждают и доводят до состояния мартенсита, растягивают до рабочих параметров и соединяют с арматурой (2) муфтами (5 и 6). Принципиальная схема соединительной муфты показана на рис. 6. Соединенную арматуру вместе с муфтами (5 и 6) вставляют в полость (9) и фиксируют анкерами (7 и 8). К концам этой арматуры подсоединяют клеммы и пропускают ток для нагрева. Арматура, изготовленная из металла с памятью формы, сокращается и натягивает отрезок (2). После этого полость (9) инъецируется, а ЖБ изделие готово к работе.

Преимущество этого способа перед существующими – резкое уменьшение цены ЖБ изделия, что поспособствует его внедрению. Способ может применяться при реставрации архитектурных объектов, а также при натяжении арматуры на бетон. Отпадает необходимость натягивать арматуру гайкой – очень сложно определить предел текучести арматуры при натяжении, если производится натяжение на упор, то теряется часть арматуры (вырезается) между упором и ЖБ изделием. Следует также отметить, что арматура с памятью формы на 20–30 % прочнее обычной арматуры, поэтому эти участки арматуры можно делать тоньше, что также способствует удешевлению изделия.

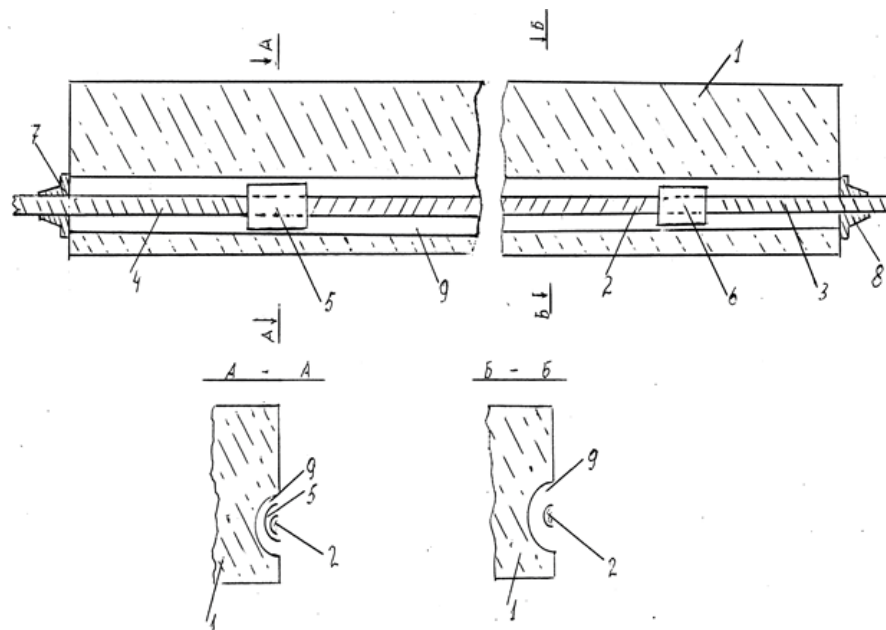


Рис. 5. Предлагаемая технология поясняется чертежом, где: 1 – бетон; 2 – обычная арматура, которая не обладает памятью формы; 3, 4 – арматура из металла, обладающая памятью формы, которая соединена с арматурой (2) муфтами (5 и 6); 7, 8 – анкеры, фиксирующие составную арматуру с двух ее сторон (концов); 9 – полость, в которой располагается составная арматура (2–4) с муфтами (5 и 6)

Fig. 5. The proposed technology is explained by the drawing, where: 1 – concrete; 2 – conventional reinforcement that does not have shape memory; 3, 4 – metal reinforcement with shape memory that is connected to the reinforcement (2) by couplings (5 and 6); 7, 8 – anchors that fix the composite reinforcement on both its sides (ends); 9 – the cavity in which the composite reinforcement (2, 3, 4) with couplings (5 and 6) is located

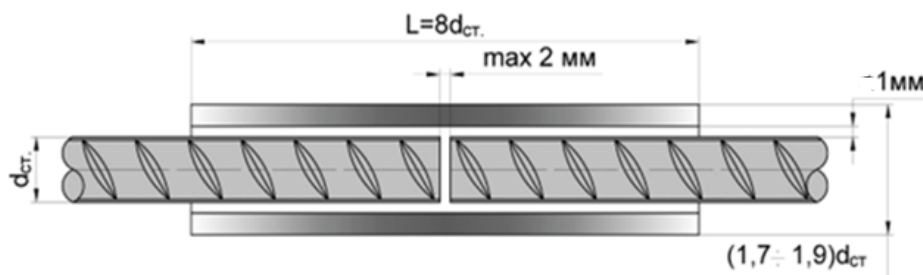


Рис. 6. Основные параметры соединительной муфты для арматуры
Fig. 6. Basic parameters of the coupling for reinforcement

По этой технологии, по предварительным расчетам, арматура с памятью формы составляет около 20 % от общей длины арматуры в ЖБ изделии.

Максимальная обратимая деформация, которую могут выдержать эти металлы (с памятью формы) без обратимых повреждений, составляет 8 %.

Сейчас ведутся работы по переходу сплавов металлов в исходное положение при помощи магнитного поля. Уже есть значительные успехи. У этой технологии (арматура из металла с памятью формы) большие перспективы.

Список литературы

1. Гамбаров Г.А. и др. Балочные конструкции, усиленные трехосно предварительно напряженными элементами // *Предварительно-напряженные конструкции с непрерывным армированием*. Труды НИИЖБ. Москва: Стройиздат, 1970. С. 85–92.
2. Гвоздев А.А., Дмитриев С.А., Крылов С.М. и др. Новое о прочности железобетона. Москва: Стройиздат, 1977. 272 с.
3. Гервик Б. Предварительно напряженные железобетонные конструкции в строительстве. Москва: Стройиздат, 1978. 336 с.
4. ГОСТ 22362-77. Конструкции железобетонные. Методы измерения силы натяжения арматуры. Москва: ИПК Издательство стандартов, 1977.
5. Градюк И.И., Стасюк М.И. Раскрытие и закрытие трещин в изгибаемых элементах со смешанным армированием // *Бетон и железобетон*. 1983. № 3. С. 29–30.
6. Мадатян С.А. Общие тенденции производства и применения обычной и напрягаемой арматуры // *Бетон и железобетон*. 1997. № 1. С. 2–5.
7. Ганс Мелль. Предварительно напряженный железобетон. История развития конструкции, изготовление, области применения. Москва: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1958.
8. Иванов И.А. Современное состояние преднапряженного железобетона // *Строительство: новые технологии – новое оборудование*. 2023. № 10. С. 39–45.
9. Конструкции железобетонные монолитные с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном. Правила проектирования / Методическое пособие. Москва, 2017.
10. Васильев П.И. Вопросы развития теории железобетона // *Бетон и железобетон*. 1980. № 4. С. 26–27.
11. Иванов И.А. Способ натяжения арматуры, изготовленной из металла с памятью формы, в железобетонных конструкциях. Патент RU 2 765 004 С2. Оpubл. 24.01.2022.
12. Иванов И.А. Способ натяжения арматуры не обладающей памятью формы арматурой, изготовленной из металла с памятью формы. Заявка РФ № 2024136661. Оpubл. 05.12.2024.

References

1. Gambarov G.A. et al. Beam structures reinforced with triaxially prestressed elements. *Prestressed Structures with Continuous Reinforcement*. Proceedings of NIIZHB. Moscow: Stroyizdat Publ., 1970, pp. 85–92. (In Russian).
2. Gvozdev A.A., Dmitriev S.A., Krylov S.M. et al. New about strength of reinforced concrete. Moscow: Stroyizdat Publ., 1977, 272 p. (In Russian).
3. Gerwick B. *Prestressed reinforced concrete structures in construction*. Moscow: Stroyizdat Publ., 1978, 336 p. (In Russian).
4. State Standard 22362-77. Reinforced concrete structures. Methods for determination of reinforcement tensioning tendon. Moscow: Publishing house of standards, 1977. (In Russian).
5. Gradyuk I.I., Stasiuk M.I. Crack opening and closing in bending elements with mixed reinforcement. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 1983, no. 3, pp. 29–30. (In Russian).
6. Madatyan S.A. General tendencies of production and application of the conventional and tensioned armature. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 1997, no. 1, pp. 2–5. (In Russian).
7. Hans Möll. *Entwicklung, Konstruktionen, Herstellungsverfahren und Anwendungsgebiete*, Berliner Union, 1954. (In German).

8. Ivanov I.A. Current state of prestressed reinforced concrete. *Construction: new technologies – new equipment*. 2023, no. 10, pp. 39–45. (In Russian).
9. Reinforced concrete monolithic structures with prestressed reinforcement without bonding with concrete. Design rules / Methodical manual. Moscow, 2017. (In Russian).
10. Vasiliev P.I. Questions of the development of the theory of reinforced concrete. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 1980, no. 4, pp. 26–27. (In Russian).
11. Ivanov I.A. Method for tensioning reinforcement made of metal with shape memory in reinforced concrete structures. Patent RU 2 765 004 C2. Publ. date 24.01.2022. (In Russian).
12. Ivanov I.A. A method of tensioning fittings with non-shape memory fittings made of metal with shape memory. Application of the Russian Federation No. 2024136661. Publ. date 05.12.2024. (In Russian).

**Информация об авторе /
Information about the author**

Игорь Алексеевич Иванов, д-р техн. наук, доцент, преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ

e-mail: ivanova-2006@mail.ru

Igor A. Ivanov, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Lecturer at the Department of Industrial and Civil Engineering, East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude

e-mail: ivanova-2006@mail.ru