

УДК 620.193

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-65-81](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-65-81)

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ШТИФТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ LEIMET ABB+ 400 ДЛЯ СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ

В.Ф. СТЕПАНОВА<sup>1</sup>, д-р. техн. наук

А.В. БУЧКИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук

К.Л. КУДЯКОВ<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук

Н.А. МОИСЕЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» Минобрнауки России (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

## Аннотация

*Введение.* Применение штифтового соединения Leimet ABB+ 400 является перспективным и технологичным методом стыкования секций составных железобетонных свай. Вопросы устройства коррозионной защиты и прогнозирования срока эксплуатации для данного типа соединений изучены недостаточно.

*Целью исследований* являлось определение качественных и количественных параметров коррозионного повреждения элементов штифтового соединения в условиях воздействия заданной жидкой агрессивной среды при различных методах их коррозионной защиты.

*Материалы и методы.* В качестве опытных образцов приняты фрагменты стыка секций сборных железобетонных свай со штифтовым соединением Leimet ABB+ 400. Рассмотрены 3 серии опытных образцов, отличающиеся методами коррозионной защиты: полностью без защиты; совместная гальванизация забивных штифтов и обработка элементов замка ингибированной смазкой на литиевой основе; выборочное нанесение битумной холодной мастики. Была разработана и реализована программа ускоренных коррозионных испытаний по ГОСТ Р 9.905-2007, которая включала в себя 2 режима испытаний: постоянная выдержка на весь период испытаний образцов в 5 % водном растворе хлорида натрия; циклы выдержки образцов в 5 % водном растворе хлорида натрия в течение 8 часов и в условиях воздушной среды в течение 16 часов.

*Результаты.* По окончании ускоренных коррозионных испытаний выполнена количественная и качественная оценка коррозионных повреждений элементов штифтового соединения Leimet ABB+ 400, приведены результаты прогнозирования их ориентировочного срока эксплуатации по условным критериям. Выявлены элементы штифтового соединения, подверженные коррозионному повреждению при воздействии жидкой агрессивной среды.

*Выводы.* В рамках исследования выявлен наиболее эффективный способ антикоррозионной защиты штифтового соединения Leimet ABB+ 400, а именно совместная гальванизация забивных штифтов и обработка элементов замка ингибированной смазкой на литиевой основе. По окончании ускоренных коррозионных испытаний обработанные данным методом образцы не имели признаков коррозионного повреждения. Данный метод позволяет обеспечить условный срок эксплуатации штифтового соединения в условиях воздействия сильноагрессивной жидкой среды на срок, значительно превышающий 25 лет, однако требуются дальнейшие уточняющие исследования данного вопроса.

**Ключевые слова:** штифтовое соединение Leimet ABB+, железобетонные сваи, антикоррозионная защита, ускоренные коррозионные испытания

**Для цитирования:** Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Кудяков К.Л., Моисеева Н.А. Оценка влияния агрессивной среды на долговечность штифтового соединения Leimet ABB+ 400 для составных железобетонных свай // Вестник НИЦ «Строительство». 2022. Т. 32. № 1. С. 65–81. doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-65-81](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-65-81)

#### **Вклад авторов**

Степанова В.Ф. – общее руководство работой, назначение параметров ускоренных коррозионных испытаний, прогнозирование ориентировочного срока эксплуатации штифтовых соединений, редактирование чернового варианта статьи.

Бучкин А.В. – разработка, организация и реализация программы испытаний, редактирование чернового варианта статьи.

Кудяков К.Л. – разработка, организация и реализация программы испытаний, обработка и анализ результатов, подготовка чернового варианта статьи.

Моисеева Н.А. – реализация ускоренных коррозионных испытаний, обработка и анализ результатов, подготовка чернового варианта статьи.

#### **Финансирование**

Исследование выполнено в рамках договорных работ АО «НИЦ «Строительство».

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# **EVALUATION OF THE CORROSIVE EFFECT ON THE DURABILITY OF THE LEIMET ABB+ 400 PILE JOINT FOR PRECAST REINFORCED CONCRETE PILES**

V.F. STEPANOVA<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Engineering)  
A.V. BUCHKIN<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Engineering)  
K.L. KUDYAKOV<sup>1,2✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering)  
N.A. MOISEEVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>2</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

#### **Abstract**

*Introduction.* The application of the Leimet ABB+ 400 pile joint appears to be a promising and technologically effective method of the connecting the sections of precast reinforced concrete piles. Currently, the issues of corrosion protection measures and service life forecasting for this type of joints are understudied.

*Aim.* The aim of the research involves the determination of the qualitative and quantitative parameters of corrosion damage to the pin joint elements affected by the specified liquid corrosive under various methods of corrosion protection.

*Methods and materials.* The studied samples included fragments of the Leimet ABB+ 400 pile joint between the sections of precast reinforced concrete piles. Three series of samples differing by the methods of corrosion protection were considered, including completely unprotected, with the galvanization of locking dowels combined with lubrication of locking elements by lithium-based inhibited grease, as well as with the selective application of bituminous cold mastic. The program of accelerated corrosion tests according to the GOST R 9.905-2007 was developed and implemented. The following two testing modes were included in the program: permanent exposure of the samples to 5 % sodium chloride water solution for the entire testing period; 8- and 16-hour cycles of exposing samples to 5 % sodium chloride water solution and to the air, respectively.

*Results.* Based on the results of accelerated corrosion tests, the quantitative and qualitative evaluation of the corrosive damage to the elements of the Leimet ABB+ 400 pile joint was performed. The results of forecasting their service life according to the conditional criteria are provided. The pin joint elements susceptible to the corrosion in a liquid corrosive medium were identified.

*Conclusions.* In the framework of the study, the most effective way of anti-corrosion protection of the Leimet ABB+ 400 pile joint was identified as the galvanization of the locking dowels combined with lubrication of the locking elements by the inhibited lithium-based grease. At the end of accelerated corrosion tests, the samples protected according to this method demonstrated no signs of corrosion damage. This method is applicable for ensuring the conditional service life of the pin connection under the exposure to highly aggressive liquid medium during the period considerably exceeding 25 years. Nevertheless, further refining studies of this issue are required.

**Keywords:** Leimet ABB+ pile joint, reinforced concrete piles, corrosion protection, accelerated corrosion tests

**For citation:** Stepanova V.F., Buchkin A.V., Kudyakov K.L., Moiseeva N.A. Evaluation of the corrosive effect on the durability of the Leimet ABB+ 400 pile joint for precast reinforced concrete piles. Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022. Vol. 32. No. 1. P. 65–81 (In Russ.). doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-65-81](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-65-81)

#### **Author contribution statements**

Stepanova V.F. – general management, assignment of accelerated corrosion test parameters, forecast of the approximate service life of pile joints, article draft editing.

Buchkin A.V. – development, organization and implementation of the test program, article draft editing.

Kudyakov K.L. – development, organization and implementation of the test program, processing and analysis of the results, article draft preparation.

Moiseeva N.A. – conduct of accelerated corrosion tests, processing and analysis of the results, article draft preparation.

#### **Funding**

The study was carried out within the framework of contractual works of JSC Research Center of Construction.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

## **Введение**

Штифтовое соединение Leimet ABB+ является перспективной технологией стыкования секций составных железобетонных свай, в т. ч. в условиях холодного климата: данная технология обуславливает значительное снижение затрат времени на устройство стыка и не требует применения сварочного оборудования, растворов, составов холодного отверждения.

Данная технология достаточно широко охватывает зарубежный строительных рынок (Швеция, Дания, Норвегия и пр.), и начинает применяться на российских строительных

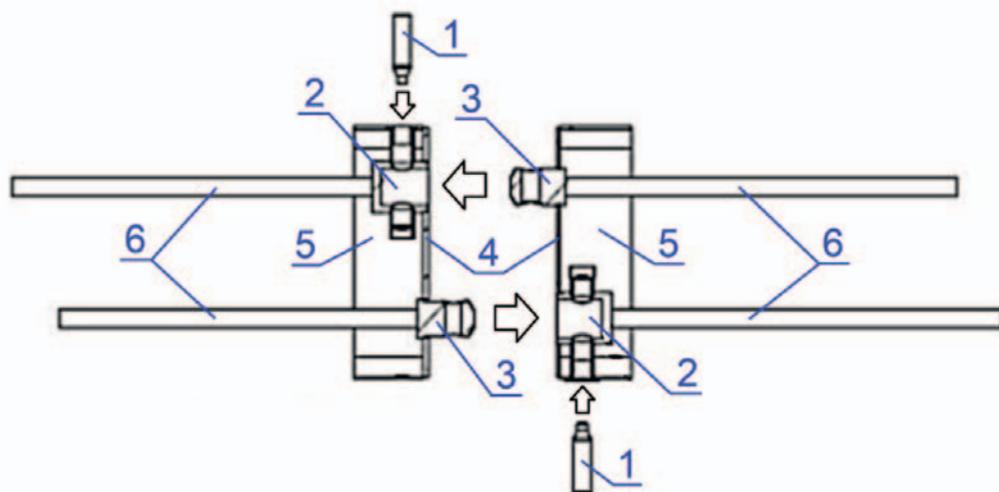
объектах (Калининград, Воронеж, Санкт-Петербург и пр.). В [3–6] представлены некоторые результаты исследований и опыт применения рассматриваемых штифтовых соединений составных железобетонных свай, где отмечается перспективность применения данной технологии. Однако в доступных источниках не обнаружены сведения о расчетной или экспериментальной оценке коррозионной стойкости штифтовых соединений, в т. ч. для соединения типа Leimet ABB+. Принципиальная конструкция штифтового соединения Leimet ABB+ приведена на рис. 1.

Для антикоррозионной защиты металлических элементов данного штифтового соединения в соответствии с ТУ 25.11.23-001-92894761-2018 «Соединение штифтовое для свай. Технические условия» [7] производитель рекомендует применять способ гальванизации штифтов и обработки элементов замков многоцелевой ингибированной смазкой на литиевой основе типа «Teboil». Данный способ защиты для исследуемых конструкций при воздействии агрессивных сред в СП 28.13330.2017 [2] не предусмотрен. Также имеются трудности в назначении требований к антикоррозионной защите, обусловленные особенностью конструкции данного штифтового соединения (см. рис. 1).

## Цель

Цели настоящего исследования заключались в следующем:

- определить, какие элементы штифтового соединения подвержены коррозионным процессам при воздействии агрессивной среды;
- установить, позволяют ли методы, рекомендуемые производителем, обеспечить его коррозионную защиту при действии агрессивной среды;



**Рис. 1.** Принципиальная конструкция штифтового соединения Leimet ABB+:

- 1 – забивной штифт; 2 и 3 – элементы замка: фиксирующий паз и фиксирующий штырь соответственно;
- 4 – торцевая пластина; 5 – обечайка, устроенная по всему контуру торцевой пластины;
- 6 – анкерные выпуски, приваренные к элементам замка

**Fig. 1.** Conceptual design of the Leimet ABB+ pile joint: 1 – locking pin; 2, 3 – locking elements: locking block and locking dowel, respectively; 4 – end plate; 5 – shell along the entire contour of the end plate; 6 – anchor bars welded to lock elements

- установить, позволяет ли альтернативный метод (нанесение битумной мастики на металлические элементы штифтового соединения в момент его сборки) обеспечить его коррозионную защиту при действии агрессивной среды;
- установить пригодность применения штифтового соединения Leimet ABB+ 400 для стыкования сборных железобетонных свай в условиях воздействия среднеагрессивной и сильноагрессивной среды грунта и грунтовых вод по СП 28.13330.2017 при расчетном сроке службы возводимого сооружения 25 лет.

## Материалы и методы

Ускоренные коррозионные испытания проводились в лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкции НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» с участием испытательного центра АО «НИЦ «Строительство» в соответствии с разработанной Программой исследований, согласно которой были изготовлены специальные опытные образцы (см. рис. 2), каждый из которых представлял собой стык двух натуральных фрагментов железобетонных свай с сечением  $400 \times 400$  мм, выполненный с помощью металлического штифтового соединения Leimet ABB+ 400 по [7].

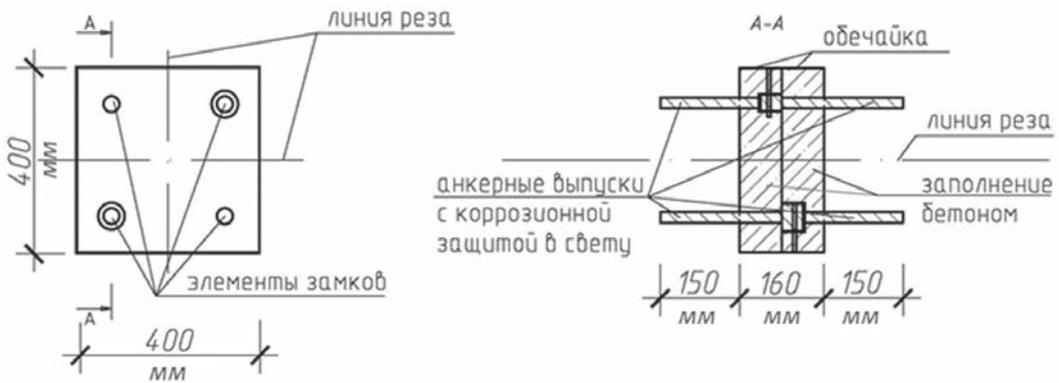


Рис. 2. Принципиальная конструкция опытных образцов для коррозионных испытаний  
Fig. 2. Conceptual design of corrosion test samples



Рис. 3. Принципиальная конструкция фрагмента опытного образца и схема приложения растягивающей нагрузки  
Fig. 3. Conceptual design of the tested sample fragment and the scheme of the tensile load application



**Рис. 4.** Общие виды опытного образца до распиловки (а) и его фрагмента, образованного после распиловки (б)  
**Fig. 4.** General views of (a) the tested sample prior sawing and (b) sawed fragment

По завершении ускоренных коррозионных испытаний была произведена механическая распиловка опытных образцов по линиям реза (рис. 2) с образованием четырех фрагментов. Для каждого опытного образца по 2 шт. образованных фрагментов подвергались поэлементной разборке с визуально-инструментальным осмотром каждого элемента штифтового соединения, остальные 2 шт. испытывались на разрывной машине с оценкой разрушающей нагрузки и характера их разрушения (рис. 3). Общие виды опытного образца (до распиловки) и его фрагмента (после распиловки) приведены на рис. 4.

В настоящей работе ускоренные коррозионные испытания опытных образцов штифтового соединения Leimet АВВ+ выполнены в водном растворе 5 % хлорида натрия, который по отношению к углеродной стали соответствует сильноагрессивной среде по таблице Х5 СП 28.13330.2017 и характеристикам подземных вод предполагаемой площадки строительства по водородному показателю рН от 3 до 5. Продолжительность коррозионных испытаний принята в соответствии с ГОСТ Р 9.905-2007 [1] и составила 240, 720, 2160 ч.

Ускоренные коррозионные испытания опытных образцов с учетом обозначенных параметров агрессивной среды выполнены в течение трех месяцев (апрель–июнь 2021 г.) при комнатной температуре  $20 \pm 2$  °С по двум режимам испытаний (табл. 1):

- режим № 1 – полное погружение в растворе 5 % хлорида натрия;
- режим № 2 – полное погружение в растворе 5 % хлорида натрия в течение 8 ч, изъятие и выдержка в течение 16 ч в условиях воздушной среды, циклично.

В течение всего срока испытаний для каждого образца выдержка в жидкой и воздушной средах производилась без изменения положения и ориентации его граней. Контрольный образец не подвергался воздействиям обозначенных агрессивных сред. Количество опытных образцов принято по 1 шт. на каждую вариацию (табл. 1).

Таблица 1

**Программа ускоренных коррозионных испытаний опытных образцов**

Table 1

**Program of accelerated corrosion tests of the samples**

Серии опытных образцов	Режимы испытаний и их продолжительность, ч (суток)						
	контрольный образец	режим № 1			режим № 2		
		0	240 (10)	720 (30)	2160 (90)	240 (10)	720 (30)
Серия 1 (без коррозионной защиты)	+	+	+	+	+	+	+
Серия 2 (гальванизация штифтов и применение многоцелевой ингибированной смазки на литиевой основе типа «Teboil»)	-	-	+	+	-	+	+
Серия 3 (с нанесением битумной холодной мастики типа «AquaMast» на торцевые пластины)	-	-	-	+	-	-	+

Анализ результатов ускоренных коррозионных испытаний проводился в соответствии с п. 10.1 ГОСТ Р 9.905-2007 [1] и включал в себя оценку следующих критериев:

- изменение внешнего вида образца во время испытания;
- характер, количество и распределение коррозионных дефектов;
- изменение геометрических размеров элементов (толщины и пр.).

Возможное влияние коррозионных повреждений на механические свойства (прочность) штифтового соединения оценивалось путем испытаний на разрывной машине Instron 1000HDX с приложением растягивающей нагрузки к арматурным выпускам фрагментов опытных образцов (вдоль условной оси центра тяжести одиночного штифтового соединения), при этом оценивалась разрушающая нагрузка и характер разрушения опытной модели. Принципиальная схема испытаний приведена на рис. 2.

Разрушение всех фрагментов опытных образцов происходило с образованием зоны пластической деформации в анкерном выпуске с последующим его разрывом. В исследуемых опытных моделях анкерные выпуски выполнены из арматуры класса А500С Ø 25 мм, соединенные с замковыми элементами штифтового соединения при помощи сварки встык без разделки швов. Разрушений непосредственно элементов штифтового соединения не зафиксировано.

После испытаний выполнена разборка фрагментов опытных образцов на отдельные элементы (рис. 5) с их последующим осмотром, в результате которого зафиксировано отсутствие видимых повреждений элементов замка штифтового соединения; забивной штифт имеет локальные деформации (искривление) без видимых характерных признаков разрушения металла. Данная схема разрушения характерна для всех испытанных фрагментов опытных образцов.



**Рис. 5.** Общий вид элементов штифтового соединения после испытаний на разрыв (в разобранном виде) и характерная схема его разрушения при действии осевой растягивающей нагрузки  
**Fig. 5.** General view of pin joint elements after tensile tests (disassembled) and the characteristic diagram of the pin joint destruction under the effect of the axial tensile load

## Результаты

Полученные результаты могут свидетельствовать о механической надежности элементов штифтового соединения Leimet ABB+, подверженного воздействию агрессивной среды в рассматриваемых в настоящей работе условиях. При этом отказ силовой системы «анкерный выпуск А500С Ø 25 мм–замок–штифт» происходил в результате разрыва анкерных выпусков при средней нагрузке 308,7 кН (коэффициент вариации 5,1 %).

По результатам внешнего осмотра разобранных фрагментов опытных образцов после ускоренных коррозионных испытаний установлено следующее.

Для всех образцов наиболее интенсивное развитие коррозии наблюдается при режиме испытаний «жидкая среда–воздушная среда» (режим № 2): ускорение процессов коррозии при нахождении образца на воздухе происходит за счет интенсивного окисляющего действия кислорода и наличия на поверхности элементов соединения пленки жидкой агрессивной среды, содержащей хлорид-ионы.

Внутренние поверхности металлических элементов штифтового соединения, которые имели непосредственный контакт с бетоном (внутренняя часть обечайки, внутренняя часть торцевой пластины, сварное соединение анкерного выпуска с замком, наружные элементы замка), преимущественно не имели следов коррозии или имели ее незначительные проявления.

Наибольшие коррозионные повреждения зафиксированы для элементов с открытым доступом агрессивной среды (наружный слой обечайки, наружный слой торцевой пластины), однако данные элементы не являются несущими. Забивной штифт и элементы замка в большей или меньшей степени (в зависимости от серии образцов) имели ограниченный контакт с агрессивной средой.

На образцах без коррозионной защиты (серия 1) выявлены коррозионные повреждения торцевой пластины, забивного штифта и элементов замка, образованные вследствие проникновения жидкой агрессивной среды (рис. 6).

На образцах с обработкой элементов замков многоцелевой ингибированной смазкой «Teboil» (серия 2) не было обнаружено следов коррозии на элементах замка и внутренней части забивного штифта. При этом излишки смазки, образовавшиеся на поверхности торцевых пластин при стыковке элементов штифтового соединения, благоприятно влияют на их защиту – площадь коррозионного поражения торцевой пластины значительно меньше в образцах из серии 2, чем на образцах без коррозионной защиты из серии 1 (рис. 7).

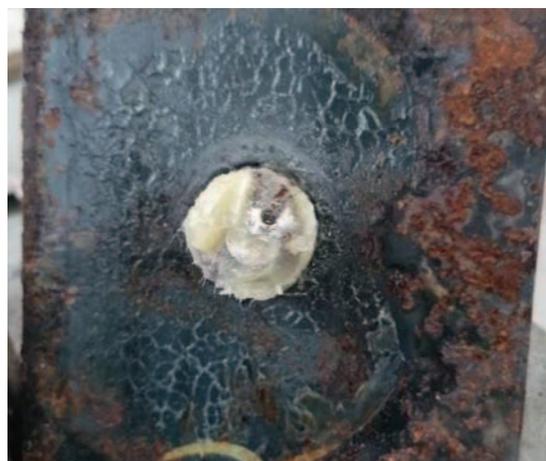
При осмотре опытных образцов с нанесением мастики «AquaMast» (серия 3) установлены нарушения сплошности покрытия мастикой торцевых пластин и внутренних элементов замка. Не покрытые мастикой участки имеют признаки коррозии. На замковых элементах и забивных штифтах наблюдаются явные коррозионные поражения (рис. 8).

Основные результаты визуального осмотра элементов разобранных серий фрагментов образцов, подвергнутых ускоренным коррозионным испытаниям при режиме № 2 в течение 90 суток, приведены в табл. 2. Полученные результаты также характерны для образцов, испытанных при режиме № 1.



**Рис. 6.** Общий вид и характерные повреждения элементов штифтового соединения (в разобранном виде) образцов серии № 1 (без коррозионной защиты) после ускоренных коррозионных испытаний при режиме № 2 в течение 90 суток: *а* – торцевая пластина с фиксирующим штырем; *б* – торцевая пластина с фиксирующим пазом; *в* – забивной штифт

**Fig. 6.** General view and typical damage to pin joint elements (disassembled) of the series No. 1 samples (without corrosion protection) after accelerated corrosion tests performed in the mode No. 2 for 90 days: *a* – end plate with locking dowel; *б* – end plate with locking block; *в* – locking pin



а



б



в

**Рис. 7.** Общий вид и характерные повреждения элементов штифтового соединения (в разобранном виде) образцов серии № 2 после ускоренных коррозионных испытаний при режиме № 2 в течение 90 суток: а – торцевая пластина с фиксирующим штырем; б – торцевая пластина с фиксирующим пазом; в – забивной штифт

**Fig. 7.** General view and typical damage to pin joint elements (disassembled) of the series No. 2 samples after accelerated corrosion tests performed in the mode No. 2 for 90 days: а – end plate with locking dowel; б – end plate with locking block; в – locking pin



**Рис. 8.** Общий вид и характерные повреждения элементов штифтового соединения (в разобранном виде) образцов серии № 3 после ускоренных коррозионных испытаний при режиме № 2 в течение 90 суток: а – торцевая пластина с фиксирующим штырем; б – торцевая пластина с фиксирующим пазом; в – забивной штифт

**Fig. 8.** General view and typical damage to pin joint elements (disassembled) of the series No. 3 samples after accelerated corrosion tests performed in the mode No. 2 for 90 days: а – end plate with locking dowel; б – end plate with locking block; в – locking pin

Таблица 2

**Основные результаты визуального осмотра фрагментов опытных образцов после ускоренных коррозионных испытаний при режиме № 2 в течение 90 суток**

Table 2

**Main results of the visual inspection of tested sample fragments after accelerated corrosion tests performed in the mode No. 2 for 90 days**

Серии опытных образцов	Наличие признаков коррозионного повреждения с распространением по площади поверхности элементов, %				
	наружные (формообразующие) элементы		несущие элементы		
	обечайка	торцевая пластина	фиксирующий штырь	фиксирующий паз	забивной штырь
Серия 1 (без коррозионной защиты)	Имеются, до 100 %	Имеются, до 100 %	Имеются, до 70 %	Имеются, до 70 %	Имеются, до 100 %
Серия 2 (гальванизация штифтов и применение многоцелевой ингибированной смазки на литиевой основе типа «Teboil»)	Имеются, до 100 %	Имеются, до 50 %	Не выявлены	Не выявлены	Не выявлены
Серия 3 (с нанесением битумной холодной мастики типа «AquaMast» на торцевые пластины)	Имеются, до 100 %	Имеются, до 10 %	Имеются, до 50 %	Имеются, до 50 %	Имеются, до 100 %
Примечание: признаков наличия коррозионных повреждений обетонированных несущих элементов для всех серий образцов не выявлено.					

Выполнена аппроксимация коррозионного повреждения на длительный срок эксплуатации с учетом полученных экспериментальных данных (скорость потери толщины металла для каждого элемента штифтового соединения, характер повреждения элементов) и справочных материалов [8–11 и др.], по ориентировочному критерию снижения рабочей площади поперечного сечения основных несущих элементов (забивной штифт, элементы замка) на 15 % в результате коррозионного повреждения (данный критерий может быть уточнен, например, с учетом приходящих на сваю проектных нагрузок и пр.). При эксплуатации штифтового соединения Leimet ABB+ 400 *без коррозионной защиты* в условиях уплотненных (без вовлечения воздуха) агрессивных грунтов и насыпей с подъемом грунтовых вод прогнозируемый срок службы его несущих элементов (по критерию потери 15 % рабочей площади металла поперечного сечения) составляет 35 лет; то же для неуплотненных (с вовлечением воздуха) агрессивных грунтов и насыпей с подъемом грунтовых вод – 25 лет. По совокупности признаков данные условия соответствуют сильноагрессивной среде грунта и грунтовых вод по СП 28.13330.2017 [2].

При использовании следующих защитных мероприятий: гальванизация забивных штифтов совместно с использованием многоцелевой ингибированной смазки на литиевой основе типа «Teboil», – прогнозируемый срок эксплуатации штифтового соединения Leimet ABB+ значительно увеличивается (для уточнения прогнозируемого срока службы с учетом обозначенной антикоррозионной защиты планируется проведение дополнительных исследований).

## Выводы

По результатам выполненных исследований можно формулировать следующие выводы.

1. К металлическим элементам, входящим в состав рассматриваемого штифтового соединения Leimet ABB+, находящимся в непосредственном контакте с грунтом и грунтовыми водами, относятся обечайка, торцевая пластина и внешний торец забивного штифта. При этом основная (несущая) часть забивного штифта расположена внутри замка. К несущим металлическим элементам, входящим в состав рассматриваемого штифтового соединения Leimet ABB+ 400, относятся элементы системы «анкерный выпуск А500С Ø 25 мм–замок–штифт», среди которых наиболее вероятен контакт с агрессивной жидкой средой у элементов замка и забивного штифта.

2. При воздействии жидкой агрессивной среды на штифтовое соединение Leimet ABB+ без какой-либо антикоррозионной защиты наблюдаются признаки наличия коррозионных повреждений на всех его элементах, включая несущие.

3. В условиях выполненных ускоренных коррозионных испытаний рекомендованные производителем штифтового соединения методы защиты (гальванизация штифтов и применение многоцелевой ингибированной смазки типа «Teboil») позволили обеспечить коррозионную защиту его несущих элементов (забивных штифтов, элементов замка). Признаков коррозионного повреждения данных элементов не выявлено. Рекомендуется дополнительная антикоррозионная обработка торцевых пластин путем нанесения указанной смазки с целью заполнения зазора между ними.

4. Нанесение гидроизоляционной битумной холодной мастики типа «AquaMast» на торцевые пластины штифтового соединения до его сборки не позволяет обеспечить надежную антикоррозионную защиту металлических элементов штифтового соединения ввиду неравномерного покрытия их поверхностей. На покрытых мастикой металлических поверхностях не выявлены признаки коррозии. Требуется контроль качества обработки поверхностей мастикой, а также дополнительная обработка элементов замка.

5. Выполнена экспериментальная оценка прочности несущей системы «анкерный выпуск А500С Ø 25 мм–замок–штифт» штифтового соединения с учетом коррозионного повреждения элементов. Отказ системы происходит при усредненной нагрузке 308,7 кН в результате разрыва анкерного выпуска без разрушения элементов замка и забивного штифта.

6. Прогнозируемый срок эксплуатации штифтового соединения Leimet ABB+ 400 *без коррозионной защиты* в условии уплотненных (без вовлечения воздуха) агрессивных грунтов и насыпей с подъемом грунтовых вод и прогнозируемый срок службы его несущих элементов по критерию потери 15 % рабочей площади металла поперечного сечения забивного штифта и штыря замка (данный критерий может быть уточнен, например, с учетом входящих на сваю проектных нагрузок и пр.) составляет 35 лет; то же для неуплотненных (с вовлечением воздуха) агрессивных грунтов и насыпей с подъемом грунтовых вод – 25 лет. По совокупности признаков данные условия соответствуют сильноагрессивной среде грунта и грунтовых вод по СП 28.13330.2017 [2]. Учитывая возможное изменение характера и степени агрессивности среды эксплуатации железобетонных свай, а также невозможность выполнения мероприятий по их ремонту, применение штифтовых соединений Leimet ABB+ 400 без выполнения антикоррозионной защиты несущих металлических элементов (забивной штифт, элементы замка) не рекомендуется.

7. По совокупности установленных данных можно сделать вывод о пригодности штифтового соединения Leimet ABB+ 400 (даже без антикоррозионной защиты) для стыкования сборных железобетонных свай в условиях воздействия среднеагрессивной и сильноагрессивной среды грунта и грунтовых вод по СП 28.13330.2017 [2], при расчетном сроке службы возводимого сооружения 25 лет. Данный срок и иные параметры могут быть уточнены при дальнейших исследованиях.

8. При использовании следующих защитных мероприятий элементов замка: гальванизация забивных штифтов совместно с использованием многоцелевой ингибированной смазки на литиевой основе типа «Teboil» – *значительно* увеличивается прогнозируемый срок службы штифтового соединения (в рамках выполненных ускоренных коррозионных испытаний не выявлены признаки наличия коррозионных повреждений элементов с указанной антикоррозионной защитой). Данный метод антикоррозионной защиты рекомендуется к использованию в штифтовых соединениях свай. Для уточнения прогнозируемого срока службы штифтового соединения с устройством данной антикоррозионной защиты планируются дополнительные исследования на базе АО «НИЦ «Строительство».

## Благодарности

Авторы выражают благодарность АО «НИЦ «Строительство» и ООО «Коперник» за предоставленные материалы.

## Список литературы

1. ГОСТ Р 9.905-2007 (ИСО 7384:2001, ИСО 11845:1995) Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Методы коррозионных испытаний. Общие требования. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 сентября 2007 г. № 246-ст. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 20 с.
2. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 27 февраля 2017 г. № 127/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. – Москва: Минстрой России, 2017. – 118 с.
3. *Гайдо А.Н.* Исследование конструктивно-технологических решений стыков заводских свай. [Электронный ресурс] // А.Н. Гайдо. – URL: [http://trest28.ru/f/statya\\_gaydo\\_a.n.\\_styki\\_svay.pdf](http://trest28.ru/f/statya_gaydo_a.n._styki_svay.pdf) (дата обращения: 10.08.2021 г.).
4. Новые технологии стыковки свай Leimet [Электронный ресурс]. – URL: <https://leimet.ru/> (дата обращения: 21.02.2022).
5. *Степанова М.А.* Опытное обоснование применения штифтового стыка свай / М.А. Степанова, А.Н. Гайдо // Технология и организация строительства. Материалы I Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию основания кафедры «Строительное производство». Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург, 2020. – С. 379–388.
6. *Рытов С.А.* Опыт динамических испытаний штифтового стыка Leimet 350 ABB Plus составных сборных железобетонных свай / С.А. Рытов, А.А. Бутин // Вестник НИЦ Строительство. – 2019. – № 4 [23]. – С. 117–120.
7. ТУ 25.11.23-001-92894761-2018 «Соединение штифтовое для свай. Технические условия». – Екатеринбург: ООО «ГК «Коперник», 2018. – 27 с.
8. *Розенфельд И.Л.* Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов / И.Л. Розенфельд, К.А. Жигалова. – М.: Металлургия, 1966. – 348 с.

9. Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Ворошилов; под ред. И.В. Семеновой – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
10. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов / Н.Д. Томашов. – Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1959. – 592 с.
11. EN 1993-5:2007. Eurocode 3: Design of steel structures Part 5: Piling [Electronic Resource]. – Available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.5.2007.pdf>

## References

1. State Standard R 9.905-2007 (ISO 7384:2001, ISO 11845:1995). Unified system of protection against corrosion and aging (ESCCS). Methods of corrosion tests. General requirements. Moscow: Standartinform; 2007 (in Russian).
2. SP 28.13330.2017. Protection of building structures from corrosion. Updated edition of SNiP 2.03.11-85. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 2017 (in Russian).
3. Gaido A.N. Research of structural and technological solutions of joints of factory piles [Internet]. Available at: [http://trest28.ru/f/statya\\_gaydo\\_a.n.\\_styki\\_svoy.pdf](http://trest28.ru/f/statya_gaydo_a.n._styki_svoy.pdf) (accessed 10 August 2021) (in Russian).
4. New technologies for joining piles Leimet [Internet]. Available at: <https://leimet.ru/> (accessed 21 February 2022) (in Russian).
5. Stepanova M.A., Gaido A.N. Experimental substantiation of the use of a pin joint of piles. In: Technology and organization of construction. Materials of the I All-Russian interuniversity scientific and practical conference of young scientists dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Department of "Construction Production". St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. St. Petersburg; 2020, p. 379–388 (in Russian).
6. Rytov S.A., Butin A.A. Experience of dynamic tests of the joint of the pin Leimet 350 ABB plus composite precast reinforced concrete piles. Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2019;(4):117–120 (in Russian).
7. TU 25.11.23-001-92894761-2018. Pin connection for piles. Technical conditions. Yekaterinburg: LLC "GC "Copernicus"; 2018 (in Russian).
8. Rosenfeld I.L., Zhigalova K.A. Accelerated methods of corrosion testing of metals. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1966 (in Russian).
9. Semenova I.V., Florianovich G.M., Voroshilov A.V. Corrosion and corrosion protection. Moscow: FIZMATLIT Publ.; 2002 (in Russian).
10. Tomashov N.D. Theory of corrosion and protection of metals Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR; 1959 (in Russian).
11. EN 1993-5:2007. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 5: Piling [Internet]. Available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.5.2007.pdf>.

## Информация об авторах / Information about the authors

**Валентина Федоровна Степанова**, д-р. техн. наук, проф., заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Valentina F. Stepanova**, Dr. Sci. (Engineering), professor, head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Андрей Викторович Бучкин**, канд. техн. наук, зам. заведующего лабораторией коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
**Andrey V. Buchkin**, Cand. Sci. (Engineering), deputy head of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Константин Львович Кудяков**<sup>✉</sup>, канд. техн. наук, зав. сектором лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ, Москва

**Konstantin L. Kudyakov**<sup>✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering), head of the Sector of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete Structures (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, associate professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

**Надежда Анатольевна Моисеева**, научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

**Nadezhda A. Moiseeva**, scientific researcher of the Laboratory of Corrosion and Durability of Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author