

**ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF COATINGS
MADE FROM VARIOUS VERSIONS OF WOODEN STRUCTURES
ON SPANS FROM 7 TO 12 M**

T.R. Barkaya, S.A. Sokolov, A.S. Dvuzhilov

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. In modern building structures, wooden coverings are widely used due to their environmental friendliness and lightness combined with sufficiently high strength. This article discusses three types of wooden beams: glued, wooden and spar beams. Their design features and strength characteristics in large-span buildings are studied. A comparative analysis of their work under load, deformability and economic efficiency is carried out.

Keywords: wooden structures, glued beams, Derevyagin beams, sprengel beams, economic efficiency, rigidity.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BARKAYA Temur Raufovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: btrs@list.ru

SOKOLOV Sergey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: sokolov_project@mail.ru

DVUZHILOV Anton Sergeyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Resistance of Materials, Theory of Elasticity and Plasticity, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: anton_in_tver@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Barkaya T.R., Sokolov S.A., Dvuzhilov A.S. Assessment of the economic efficiency of coatings made from various versions of wooden structures on spans from 7 to 12 m // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 5–11.

УДК 691.328

**ПРИМЕНЕНИЕ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ
ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ЗАБИВНЫХ СВАЙ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ**

Ю.Ю. Курятников

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Курятников Ю.Ю., 2025

Аннотация. Рассмотрена возможность применения стеклокомпозитной арматуры в конструкции забивных свай квадратного сечения. Представлены результаты опытной забивки свай, армированных композитной арматурой. Установлено, что сваи,

армированные композитной арматурой, по своим свойствам в рабочем положении не отличаются от свай, армированных стальной арматурой. Установлена зависимость значения максимально допустимой силы от ее ориентации при вдавливании сваи. Определен экономический эффект от замены стальной арматуры композитной, выражющийся в снижении стоимости конечного продукта.

Ключевые слова: забивные сваи, стеклокомпозитная арматура, испытания на прочность и трещиностойкость, трехточечный изгиб.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-3-11-17

Технология применения свай в грунтах при возведении зданий и сооружений с целью решения различных технических задач известна с глубокой древности. Наибольшее распространение получили забивные сваи сплошного квадратного сечения, использование которых позволяет существенно сократить трудоемкость и стоимость, а также уменьшить сроки проведения строительных работ. Традиционно сваи армируются стальной арматурой, стоимость которой существенно влияет на стоимость конечного изделия. Одним из способов уменьшения стоимости свай может быть замена стальной арматуры композитной (например, стеклокомпозитной (ACK)). Также композитные арматурные стержни обеспечивают защиту сваи от разрушающего воздействия коррозии. Разрушение железобетонных изделий и конструкций из-за коррозии стальной арматуры – одна из проблем, с которой столкнулась строительная отрасль [1]. Композитная арматура была изобретена еще в 60-х годах XX века, однако до сих пор не получила большого распространения. Связано это с тем, что пока нет государственного стандарта на сборные бетонные изделия с использованием композитной арматуры, который бы включал в себя требования к качеству продукции [2]. Достоинства и недостатки ACK подробно рассмотрены в источниках [3, 4].

Отливка бетонных свай осуществляется на производстве, поэтому возникает необходимость транспортировки готового изделия на строительную площадку. Транспортировка бетонных свай увеличивает риск появления механических повреждений в готовом изделии, приводящих к возникновению трещин, сколов, обнажающих армирующий каркас. Замена металлической арматуры композитной способствует повышению деформативности сваи, что увеличивает вероятность появления трещин при транспортировке, погрузо-разгрузочных работах и забивке свай. Наличие в бетонной свае различных дефектов приводит к ухудшению прочностных характеристик строительной конструкции [5]. В настоящей статье показаны результаты экспериментальных исследований работы сваи на трехточечный изгиб в лабораторных условиях, опытной забивки свай, армированных композитной арматурой, на строительной площадке; дана оценка эконо-мической эффективности замены металлической арматуры на ACK.

В качестве объекта исследования была выбрана типовая бетонная забивная свая квадратного сплошного сечения. В исследованиях рассматривались два варианта армирования:

- тип I – стальной арматурой (типовая свая С40.20-3);
- тип II – ACK (рис. 1).

Класс бетона по прочности на сжатие сваи – В25. Параметры стального арматурного каркаса: стержень Ø10А400 (4 шт.) и спираль Ø4ВрI. Параметры стеклокомпозитного арматурного каркаса: стержень Ø10ACK (4 шт.) и полимерные хомуты.



Рис. 1. Сваи железобетонные квадратного сечения на АСК

С целью верификации полученных результатов аналитических расчетов выполнены экспериментальные исследования несущей способности свай при трехточечном изгибе. Были испытаны сваи с композитным и стальным армированием. На рис. 2 представлен испытательный стенд, а в табл. 1, 2 приведены результаты испытаний. Установлено, что главными отличиями работы свай с композитным армированием от работы свай с металлическим каркасом являются:

1) пониженные прочностные характеристики сваи на изгиб (потеря несущей способности в 2,4 раза);

2) появление трещин уже при начальной стадии нагружения в центральном сечении на всю высоту поперечного сечения, причинами которых являются большая изгибная деформативность свай с АСК, а также применение в конструкции арматурного каркаса полимерных хомутов. Выявлено, что значения нагрузок, при которых появляется первая трещина, при экспериментальных исследованиях (3,66 кН) в 1,34 раза выше значений, полученных при численном моделировании (2,73 кН). Это в первую очередь связано с тем, что реальная прочность бетона свай на сжатие выше планового класса прочности В25.



Рис. 2. Стенд для испытаний свай на трехточечный изгиб

Таблица 1

Результаты исследований на трехточечный изгиб свай

Ступень нагрузки	Нагрузка, F, кН			Прогиб, v, мм		
	Образец № 1, композитная	Образец № 2, композитная	Образец № 3, стальная	Образец № 1, композитная	Образец № 2, композитная	Образец № 3, стальная
1	3,80	3,52	3,80	0,83	0,88	0,45
2	7,60	7,20	7,20	1,95	2,09	0,97
3	10,82	9,89	11,47	3,70	3,87	1,99
4	—	—	15,23	—	—	3,11
5	—	—	19,25	—	—	4,61
6	—	—	22,50	—	—	6,77
7	—	—	25,20	—	—	8,12

Таблица 2

Результаты исследования трещин при трехточечном изгибе свай

Ступень нагрузки	Трещины		
	Образец № 1, композитная	Образец № 2, композитная	Образец № 3, стальная
1	2	3	4
1	Появилась трещина в центральной части на всю высоту сечения. Максимальное раскрытие 0,1 мм	Появилась трещина в центральной части на всю высоту сечения. Максимальное раскрытие 0,1 мм	Мелкие трещины (5 шт.), равномерно распределенные между опорами. Длина трещин 1/3 от высоты сечения
2	Дальнейшее раскрытие центральной трещины до 0,20–0,25 мм. Новая трещина длиной 2/3 от высоты сечения. Раскрытие до 0,15 мм	Раскрытие центральной трещины до 0,30 мм. Несколько новых трещин слева и справа от центрального сечения длиной 2/3 от высоты сечения. Раскрытие до 0,10–0,15 мм	Рост трещин до 1/2 от высоты сечения, раскрытие центральных трещин до 0,15 мм
3	Раскрытие 1-й и 2-й трещин до 0,5–0,7 мм. Падение нагрузки до 7,75 кН. Потеря несущей способности	Появление новых трещин. Раскрытие центральной трещины до 0,45–0,50 мм. Падение нагрузки до 8,8 кН. Потеря несущей способности	Центральная трещина выросла до 2/3 от высоты сечения. Ширина раскрытия 0,15–0,20 мм
4	—	—	Незначительный прирост трещин по длине (15–20 мм). Максимальная ширина раскрытия 0,20–0,25 мм

Окончание табл. 2

1	2	3	4
5	—	—	Дальнейший рост трещин. Максимальное раскрытие 0,3–0,4 мм
6	—	—	Максимальное раскрытие 0,5–0,7 мм
7	—	—	Потеря несущей способности

В рабочем положении сваи испытывают вертикальную нагрузку, работают на сжатие, а наибольшее значение имеют результаты динамических испытаний при забивке в грунт. Во время каждого удара свая получает ускорение, а затем теряет его, при этом необходимо преодолевать силы инерции сваи и динамическое сопротивление грунта.

Рассматривалась задача о вдавливании сваи, армированной композитной арматурой, под действием силы, ориентированной под углом α к оси сваи. Определялась зависимость максимально допустимой нагрузки F , не приводящей к разрушению сваи, от угла ее отклонения относительно оси сваи. Установлена сильная зависимость значения максимально допустимой силы от ее ориентации. Так, при отклонении оси приложения силы от вертикали в 1° значение критической силы падает в 12 раз по сравнению со случаем силы, приложенной вдоль оси сваи. Данный факт объясняется возникновением изгибающих нагрузок, которые приводят к появлению области растяжения и (ввиду разной сопротивляемости бетона растяжению и сжатию) способствуют резкому снижению допускаемых напряжений.

С целью опытной апробации возможности применения АСК для армирования свай была выполнена опытная забивка свай на строительной площадке. В результате установили, что сваи, армированные АСК, не отличаются от свай, армированных традиционной металлической арматурой, поскольку трещин при транспортировке свай, установке и забивке их в проектное положение не было обнаружено (рис. 3).



Рис. 3. Забивка свай, армированных АСК, на строительной площадке

Была выполнена экономическая оценка стоимости двух типов забивных свай квадратного сплошного сечения, армированных различными видами арматуры. Установлено, что при использовании композитной арматуры стоимость свай уменьшается на 12 % по сравнению с традиционной металлической арматурой, при этом наибольшие затраты на каркас (до 50 %) приходятся на композитные хомуты, стоимость которых может быть существенно снижена при их оптовой закупке.

Таким образом, был проведен анализ типа используемой арматуры в конструкции забивных свай квадратного сплошного сечения. При статическом испытании сваи на АСК уступают по прочности при изгибе и трещиностойкости сваям на стальном каркасе. Однако в ходе динамических испытаний при забивке в тяжелый грунт (суглинок и валуны) было установлено, что сваи, армированные АСК, не отличаются от свай, армированных традиционной металлической арматурой.

Композитные арматурные стержни обеспечивают защиту сваи от разрушающего воздействия коррозии. Процесс коррозии арматуры начинается с образования трещин в бетоне, а они возникают из-за механических и атмосферных воздействий. Через трещины проникает вода, соли, под действием образовывающейся на арматуре ржавчины начинается так называемый процесс «отстреливания бетона». Это приводит к дальнейшему оголению арматуры и разрушению конструкции. Высококачественные композитные стержни являются решением проблемы армирования и альтернативой традиционной стали, которая используется в бетонных конструкциях в агрессивной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение композитной арматуры ROCKBAR в строительстве: метод. пособие / отв. исполнитель И.Н. Тихонов. М.: НИЦ Строительство, 2013. 58 с.
2. Уманский А.М., Беккер А.Т. Перспективы применения композитной арматуры // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2012. № 2 (11). С. 7–13.
3. Рахмонов А.Д., Соловьев Н.П. Предложения по применению композитной арматуры в каркасах зданий // Вестник СибАДИ. 2013. Вып. 5 (33). С. 69–74.
4. Имомназаров Т.С., Аль Сабри Сахар А.М., Дирие М.Х. Применение композитной арматуры // Системные технологии. 2018. № 27. С. 24–29.
5. Дедков В.И. Исследование влияния технологических и монтажных факторов на долговечность забивных свай в агрессивных грунтовых средах // Повышение долговечности строительных конструкций в агрессивных средах: Тез. докл. науч.-техн. семинара / отв. ред. В.В. Яковлев. Уфа: Башк. правл. НТО стройиндустрии, 1987. С. 56–57.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Курятников Ю.Ю. Применение стеклокомпозитной арматуры для армирования забивных свай квадратного сечения // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 3 (27). С. 11–17.

USE OF GLASS-COMPOSITE REINFORCEMENT FOR PRODUCING SQUARE-SECTIONED PILES

Yu. Yu. Kuryatnikov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The possibility of using glass-fiber reinforced concrete in the design of square-section pile driving is considered. The results of experimental driving of piles reinforced with composite reinforcement are presented. It has been established that piles reinforced with composite reinforcement do not differ in their properties in the working position from piles reinforced with steel reinforcement. The dependence of the maximum allowable force on its orientation during pile driving has been established. The economic effect of replacing steel reinforcement with composite reinforcement has been determined, resulting in a decrease in the cost of the final product.

Keywords: driving piles, fiberglass reinforcement, strength and crack resistance tests, three-point bending.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Kuryatnikov Yu.Yu. Use of glass-composite reinforcement for producing square-sectioned piles // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 11–17.

УДК 624.075

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ СЖАТО-ИЗОГНУТОЙ КОЛОННЫ НА ЕЕ УСТОЙЧИВОСТЬ

С.Л. Субботин, Т.Р. Баркая, А.В. Пронина
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Субботин С.Л., Баркая Т.Р., Пронина А.В., 2025

Аннотация. В статье представлено сопоставление расчетов сжато-изогнутой ступенчатой колонны промышленного здания по методике СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» и по модели, учитывающей деформирование колонны методами теории устойчивости в строительной механике.

Ключевые слова: колонна промышленного здания, устойчивость, внецентренное сжатие, деформационный расчет.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-3-17-25