

Научная статья

УДК 678

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.30406>



О.В. Швецов¹ ✉, М.П. Лебедев²,
Б.С. Ермаков¹, Д.В. Нечаев¹, И.Д. Карпов¹

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия;

² Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН»,
Якутск, Россия

✉ shvec_off@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ОБУСТРОЙСТВЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Аннотация. Современные тенденции развития нефтегазового сектора РФ определяют освоение новых месторождений нефти и газа в наиболее удаленных и труднодоступных регионах страны. В основном это северные и северо-восточные территории, отличающиеся практически полным отсутствием транспортных путей, малой численностью населения и сложными геологическими особенностями – многолетнемерзлыми грунтами и высоким уровнем обводнения поверхностного – деятельного – слоя. В работе приведены результаты комплексного исследования влияния этих факторов на работоспособность буронабивных свай фундаментов обустройства месторождений, изготовленных из стеклопластиковых труб. Показана возможность контролировать фактическое состояние материала свай неразрушающим методом, путем установки и исследования деградации свойств образцов-свидетелей. Использование лабораторных исследований для оценки фактического состояния вряд ли следует признавать оптимальным, так как оно требует длительных выдержек образцов материалов в специализированных контейнерах, что достаточно сложно осуществить в условиях производственных лабораторий.

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, стеклопластиковые трубы, свайные фундаменты, деградация свойств ПКМ в условиях низкотемпературной эксплуатации, водопоглощение, образцы-свидетели.

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания «Разработка моделей деградации служебных свойств металлических и композиционных материалов для строительства в условиях многолетнемерзлых грунтах» (FSEG-2024-0009).

Для цитирования:

Швецов О.В., Лебедев М.П., Ермаков Б.С. и др. Использование полимерных композиционных материалов при строительстве и обустройстве месторождений на многолетнемерзлых грунтах // Глобальная энергия. 2024. Т. 30, № 4. С. 74–86. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.30406>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.30406>

O.V. Shvetsov¹ ✉, M.P. Lebedev²,
B.S. Ermakov¹, D.V. Nechaev¹, I.D. Karpov¹

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia;

² Federal Research Centre “Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences”, Yakutsk, Russia

✉ shvec_off@mail.ru

USE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN CONSTRUCTION AND DEVELOPMENT OF DEPOSITS ON PERMAFROST SOILS

Abstract. Current trends in the development of the oil and gas sector of the Russian Federation predetermine the development of new oil and gas fields in the most remote and hard-to-reach regions of the country. These are mainly the northern and northeastern territories, characterized by almost complete absence of transport routes, small population and complex geological features – permafrost soils, and high level of waterlogging of the surface – active – layer. The paper presents the results of a comprehensive study of the influence of these factors on the performance of bored piles for the foundations of field development made of fiberglass pipes. The possibility of monitoring the actual state of pile material by non-destructive method, by installing and studying the degradation of properties of witness samples, is shown. The use of laboratory studies to assess the actual state can hardly be considered optimal, since it requires long-exposures of material samples in specialized containers, which is quite difficult to implement in the conditions of production laboratories.

Keywords: permafrost soils, fiberglass pipes, pile foundations, degradation of PCM properties under low-temperature operation conditions, water absorption, witness samples.

Acknowledgements: The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment “Development of models of degradation of service properties of metallic and composite materials for construction in permafrost soils” (FSEG-2024-0009).

Citation:

Shvetsov O.V., Lebedev M.P., Ermakov B.S., et al., Use of polymer composite materials in construction and development of deposits on permafrost soils, *Global Energy*, 30 (04) (2024) 74–86, DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.30406>

Введение. Начало XXI в. отмечено принципиальным изменением подхода к добыче жидких и газообразных полезных ископаемых на территории РФ, когда основной объем их добычи смещается в наиболее труднодоступные и малонаселенные регионы страны. К настоящему времени большая часть нефти и газа добывается в арктической и субарктической зонах, характеризующихся наличием многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Однако даже в северных регионах страны все меньше остается неосвоенных крупных месторождений газа, газового конденсата и нефти. На очереди использование малых и средних месторождений, срок рентабельной эксплуатации которых может составлять всего десять и даже пять лет. Это накладывает определенные ограничения на применяемые технологии, снижает рентабельность добычи и требует разработки новых, менее затратных методов доставки строительных материалов на месторождения, а также повторного использования строительных конструкций и оборудования, которые после исчерпания добычи на одной площадке должны быть перемещены на новый объект. Учитывая, что в РФ зона ММГ занимает значительные территории, распространяющиеся от берегов Белого моря

до Тихого океана, и располагается на глубине от 0,5 до 4,5 м от поверхности грунта, при толщине слоя ММГ от нескольких метров до полутора километров, необходимы специальный анализ и разработка соответствующих подходов к проектированию и строительству добывающих объектов в этом регионе. Среди главных факторов, определяющих надежность эксплуатации оборудования в условиях ММГ, которые должны учитываться при их проектировании, важнейшими являются низкие климатические температуры, глубина и обводненность деятельного слоя грунта – то есть грунта, который расположен у поверхности земли – выше зоны ММГ, и ежегодно оттаивает в летние месяцы года [1, 2].

К числу основных строительных объектов, возводимых при обустройстве месторождений, наиболее ответственными являются промысловые газо- и нефтепроводы, компрессорные и насосные станции, которые, согласно [3], относятся к особо опасным производственным объектам, однако при обустройстве месторождений возводится значительное число вспомогательных сооружений – таких как жилые и производственные комплексы, гаражи, эстакады, смотровые площадки и т.п. Большая часть конструкций при обустройстве месторождений монтируется в наземном исполнении, устанавливается на свайные фундаменты [4], позволяющие получать оптимальное соотношение качества, надежности и экономичности строительных работ, что связано с рядом их преимуществ по сравнению с другими типами фундаментов.

К числу преимуществ использования свайных фундаментов относятся их относительно небольшая стоимость возведения, значительная глубина установки свай, что предотвращает процессы морозного пучения и возникающей при этом неравномерной осадки зданий и сооружений, а также возможность ведения строительных работ в зимние месяцы. Ежегодно в строительных работах при обустройстве новых месторождений нефти и газа используется от нескольких десятков до сотни тысяч свай различного типа, которые необходимо транспортировать на значительные расстояния в зоны с практически полным отсутствием транспортной инфраструктуры [5]. Таким образом оказывается, что свайные фундаменты являются одними из наиболее материалоемких объектов обустройства месторождений. Учитывая сложную логистику и значительные массы перемещаемых материалов, рентабельность строительства объектов добычи и транспортировки добытых продуктов в северных регионах может быть обеспечена только при условии использования высококачественных материалов и конструкций, способных к длительной и безаварийной эксплуатации в условиях ММГ [6, 7].

Как было сказано выше, по условиям использования монтируемого на свайные фундаменты оборудования его можно разделить на две неравные группы по степени ответственности. К первой группе относятся магистральные и другие трубопроводы высокого давления, ряд резервуаров и опор линий электропередач – систем, относящихся к оборудованию особо опасных производственных объектов. Ко второй – свайные фундаменты сооружений вспомогательных систем – технологические трубопроводы водоснабжения и водоотведения, фундаменты площадок установки измерительного оборудования, переходов, систем сбора отходов, жилых и служебных помещений и т.п. Причем следует иметь в виду, что соотношение количества свай первой и второй групп неравно, и доля свай, используемых для обустройства вспомогательного оборудования, значительно превосходит ту, что используется для строительства особо опасных производственных объектов [8]. Одним из путей снижения затрат при обустройстве месторождений является постепенное замещение металлических фундаментных свай на сваи из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Подобная замена оказалась возможной благодаря особенностям строительства фундаментов в зоне ММГ, где основным типом свай, используемых в фундаментах, являются буропускные, не испытывающие в ходе строительства и эксплуатации ударных нагрузок. Доля таких свай при обустройстве месторождений достигает 50–70% [9].

Снижение массы конструкции более чем в три раза по отношению к металлической свае и уменьшение затрат на антикоррозионную обработку делают ПКМ-сваи крайне привлекательными

в первую очередь при обустройстве малых и средних месторождений, расположенных в трудно-доступных местах с практически отсутствующими путями доставки материалов и конструкций.

Первые опыты по применению полимерных композитных труб в качестве свай фундаментов были начаты в 1990-х гг. в США. Основной целью работ явилось определение возможности замены традиционных металлических и бетонных свай на сваи из ПКМ. На основании лабораторных и полигонных испытаний был разработан первый нормативно-технический документ, дающий определение тому, что такое ПКМ-свая, и определяющий условия применения ПКМ в свайных фундаментах – ASTM D7258-17 (Standard Specification for Polymeric Piles). Данный документ описывает требования к ПКМ-сваям, к которым могут быть отнесены два типа конструкций – это изделия, в которых полимерные материалы имеют максимально возможное содержание и которые необходимы для обеспечения жесткости и прочности – то есть обеспечивают несущую способность конструкции; и изделия, в которых более 50% свай по массе или объему изготовлены из полимерного материала, чаще всего эта группа конструкций относится к бетонно-полимерным сваям [10].

Главными из проблем, ограничивающих возможность применения свайных фундаментов в условиях многолетнемерзлых грунтов в нашей стране, являются как отсутствие соответствующей нормативно-технической документации, так и отсутствие данных о деградации их механических, в первую очередь прочностных свойств и невозможность оценки их фактического состояния в ходе длительной эксплуатации.

Целью настоящей работы явилась оценка деградации материала ПКМ-свай, изготовленных из труб, произведенных из стеклопластика методом мокрой намотки, эксплуатация которых планируется в условиях самых северных месторождений, разрабатываемых в настоящее время в нашей стране – на полуострове Ямал, а также оценка возможности использования результатов лабораторных испытаний и испытаний образцов-свидетелей при прогнозировании срока службы и деградации свойств полимерных композитных конструкций, эксплуатирующихся в условиях многолетнемерзлых грунтов.

Методы и материалы

Для проведения исследований были использованы стеклопластиковые трубы с трехслойной намоткой стеклоткани наполнителя. Диаметр труб составил 219 мм, толщина стенки – ~ 4 мм. Длина исходных труб составляла 6 м, часть трубы длиной 4,5 м использовалась для изготовления полноразмерных макетов свай; из оставшейся части были изготовлены образцы-свидетели и образцы для лабораторных испытаний.

Исследования деградации свойств материала были проведены двумя методами – в лабораторных условиях, максимально имитирующих наиболее жесткие условия эксплуатации свай в климате северных месторождений нефти и газа – то есть в диапазоне температур +20...–60°С и повышенной обводненности грунтов [11], и на полигоне. Для проведения полигонных исследований были изготовлены полноразмерные макетные образцы свай (рис. 1), которые были установлены буропускным способом на климатическом полигоне ЯНЦ СО РАН (г. Якутск).

Общая длина макета составляла 4,5 м, глубина погружения – 4 м. Выбор места полигонных исследований был обусловлен двумя факторами – близостью полигона ЯНЦ СО РАН к территории вокруг реки Мессояха (полуостров Ямал) по составу, уровню обводненности и глубине залегания ММГ [11] и высоким уровнем специалистов и оснащенности самого полигона.

Для лабораторных исследований были использованы образцы-вырезки из труб. Учитывая особенности эксплуатации свай на макетных образцах, были выделены четыре зоны контроля: первая – выше поверхности земли; вторая – на глубине 0,3 м от поверхности; третья – на глубине 2,8 м (глубина ежегодного оттаивания грунта на полигоне составляет 3,0–3,3 м) и четвертая – ниже уровня ежегодного оттаивания на глубине 3,6 м (рис. 2). Всего было установлено семь макетов

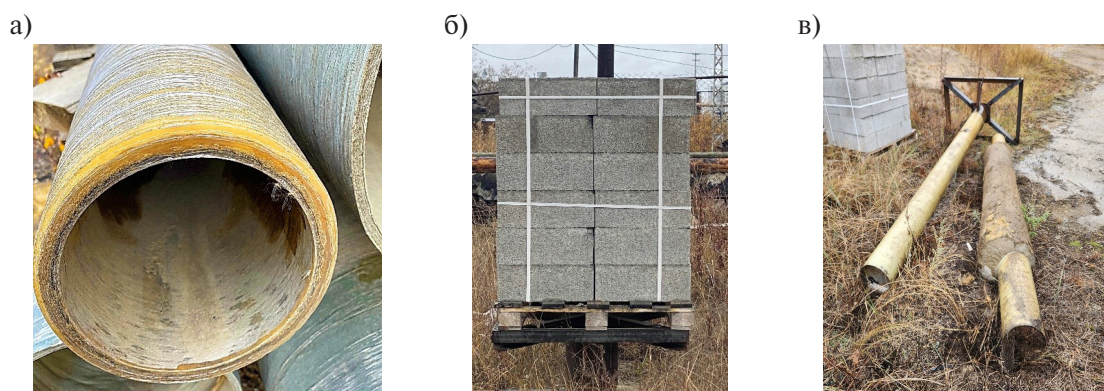


Рис. 1. Стеклопластиковые трубы до погружения (а), во время экспозиции (б) и после 742-дневной экспозиции на полигоне ЯНЦ СО РАН (в)

Fig. 1. Fiberglass pipes before immersion (a), during exposure (b) and after 742 days of exposure at the Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences test site (c)

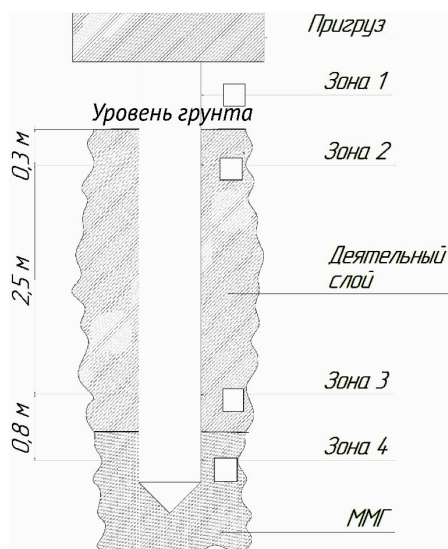


Рис. 2. Схематичное изображение установки образцов-свидетелей относительно расположения макета сваи

Fig. 2. Schematic representation of the installation of witness samples relative to the location of the pile model

свай, после двух лет экспонирования три из них были извлечены; извлечение оставшихся четырех свай и образцов-свидетелей планируется в 2025 и 2026 гг.

Для получения точных значений диапазона изменений температуры в контрольных зонах были установлены термодары, позволяющие зафиксировать сезонные изменения температур грунта и воздуха в период эксплуатации. Изготовление и установка макетов свай были проведены в июне 2022 г. и осуществлялись в соответствии с требованиями [12]. Для получения более полной информации об изменении свойств материала сваи в ходе экспозиции на тех же глубинах были установлены образцы-свидетели, вырезанные из труб. Торцевые поверхности образцов-свидетелей после вырезки были закрыты гидрофобным водоотталкивающим лаком. Образцы-свидетели изымались каждые шесть месяцев (в декабре 2022 г., в июне и декабре 2023 г., июне 2024 г.).

В качестве параметра деградации свойств ПКМ было принято изменение предела прочности в исходном состоянии поставки труб и после различных типов воздействия. Методика испытаний

ПКМ достаточно подробно описана в работах [11, 12] и заключалась в испытаниях образцов в соответствии с требованиями ГОСТ 56785-2015, ГОСТ 32656-2017 и в определении механических характеристик при комбинированной сжимающей нагрузке в соответствии с требованиями ГОСТ Р 56812-2015. Температура испытаний изменялась от +20 до –60°C.

Результаты

Результатами предварительных испытаний было установлено, что предел прочности материала стеклопластиковых труб в состоянии поставки при +20°C составил при растяжении 143 МПа, при изгибе – 176 МПа, при сжатии – 275 МПа; при температуре –60°C – 180, 195 и 286 МПа соответственно.

Учитывая высокую влажность грунтов северных территорий и тот факт, что все ПКМ в той или иной степени подвержены водонасыщению, приводящему к снижению их механических характеристик [13], в работе было проведено лабораторное исследование уровня водопоглощения (ГОСТ 4650-2014) заранее изготовленных образцов материала трубы и влияния этого фактора на механические свойства ПКМ. В соответствии с требованиями ГОСТ 4650-2014 испытываемые образцы погружались в дистиллированную воду с температурой +23±2°C и выдерживались в ней 10, 50, 100, 180 и 365 дней. Резаные торцы образцов также закрывались водоотталкивающим лаком (табл. 1).

Таблица 1

Механические свойства ПКМ в зависимости от уровня водопоглощения

Table 1

Mechanical properties of PCM depending on the level of water absorption

Вид испытаний	Т, °С	Число дней экспозиции в жидкости				
		10	50	100	180	365
Растяжение, σ_b , МПа	+20	139	137	134	131	128
	–60	174	169	164	160	156
Изгиб, σ_b , МПа	+20	170	162	158	157	156
	–60	194	187	182	177	173
Сжатие, σ_b , МПа	+20	273	267	262	259	257
	–60	286	279	273	269	265
Водопоглощение, %	+23±2	0,096	0,181	0,269	0,373	0,488

В табл. 2 показаны уровни водопоглощения образцов-свидетелей и материала сваи, полученные после экспозиции на полигоне. Установлено, что интенсивность водопоглощения образцов-свидетелей, размещенных в зоне II, максимальна по величине и практически соответствует результатам, полученным в лабораторных условиях (табл. 1 и 2).

На рис. 3 показано влияние водопоглощения на деградацию свойств образцов свидетелей в зависимости от длительности экспозиции. Как следует из представленных данных, максимальная интенсивность деградационных процессов, связанных с потерей прочности материала, была обнаружена в зоне II – зоне, расположенной на глубине 0,3 м ниже уровня грунта – то есть там, где был отмечен максимальный объем водопоглощения. Такие же результаты были получены при анализе материала сваи после двухлетней экспозиции (табл. 3), поэтому именно эти данные должны быть приняты за базовые значения уровня водопоглощения ПКМ-свай, а деградация прочностных свойств, полученная после испытаний материала этой зоны, должна быть использована при расчете длительной прочности и ресурса ПКМ-свай.

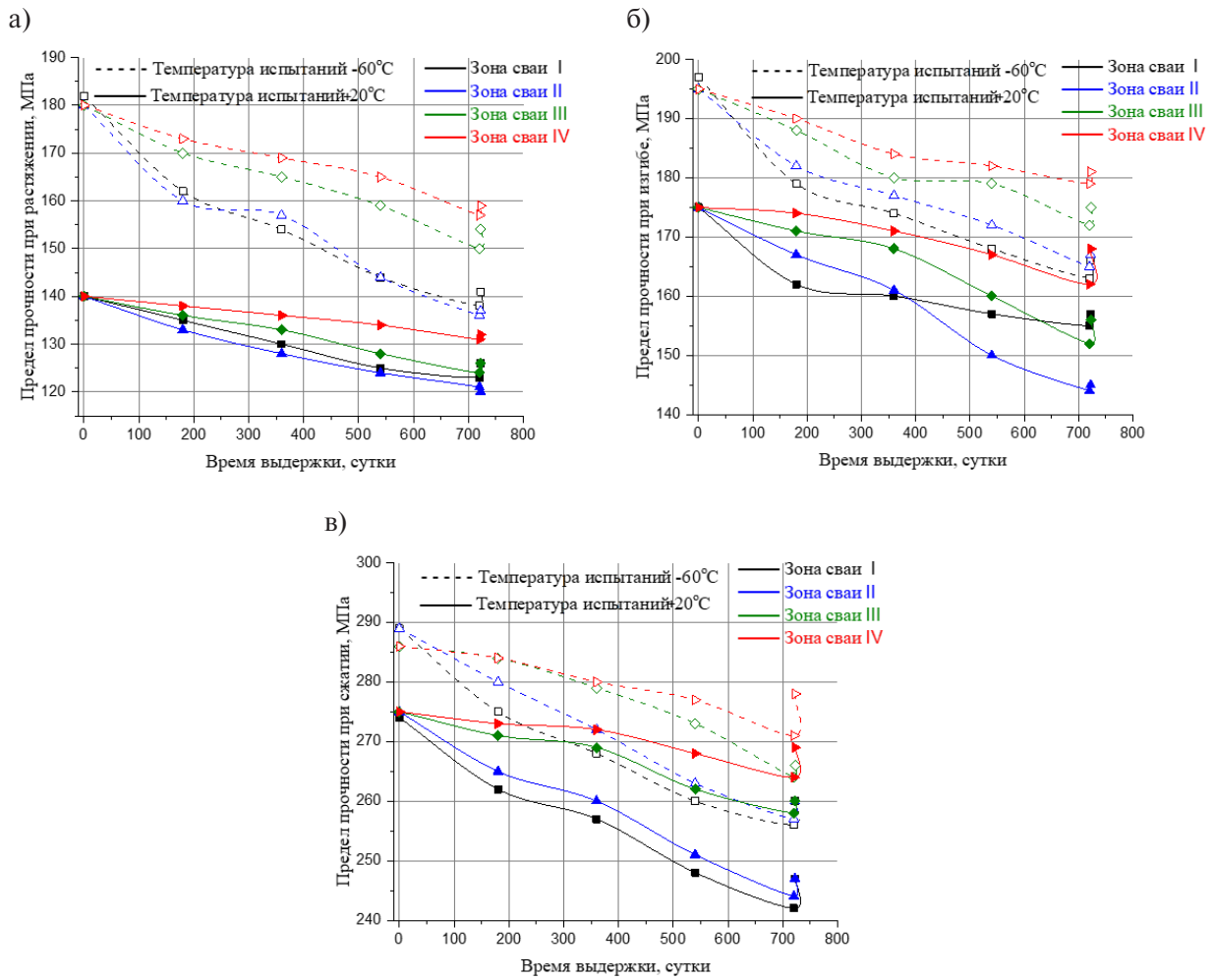


Рис. 3. Изменение предела прочности при растяжении (а); изгибе (б); сжатии (в) образцов-свидетелей в зависимости от длительности экспозиции и имитации соответствующей зоны сваи
 Fig. 3. Change in the tensile strength (a); bending (b); compression (c) of witness samples depending on the exposure duration and imitation of the corresponding pile zone

Таблица 2
Уровень водопоглощения образцов-свидетелей и материала сваи
 Table 2
Water absorption level of witness samples and pile material

Участок контроля (рис. 2)	Число дней экспозиции образцов свидетелей				Свая
	180	365	555	730	
I	0,264	0,471	0,556	0,642	0,624
II	0,361	0,483	0,598	0,707	0,697
III	0,218	0,312	0,418	0,502	0,489
IV	0,103	0,177	0,211	0,224	0,217

Изменение предела прочности при растяжении, изгибе и сжатии образцов-свидетелей в зависимости от длительности экспозиции и имитации соответствующей зоны сваи приведена на рис. 3.

Таблица 3

Предел прочности материала сваи после экспозиции в течение 742 дней

Table 3

Tensile strength of pile material after 742 days of exposure

Вид испытаний	Т, °С	Контрольный участок				Исходное состояние
		I	II	III	IV	
Растяжение, σ_b , МПа	+20	126	122	126	132	143
	-60	141	137	154	159	180
Изгиб, σ_b , МПа	+20	157	145	156	168	176
	-60	166	167	175	181	195
Сжатие, σ_b , МПа	+20	247	247	260	269	275
	-60	260	260	266	278	286

Сравнительный анализ результатов испытаний образцов-свидетелей и материала сваи с результатами лабораторных испытаний представлен в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительный анализ результатов испытаний образцов-свидетелей и материала сваи и лабораторных образцов

Table 4

Comparative analysis of test results of witness samples and pile material and laboratory samples

Вид испытаний	Т, °С	Число дней экспозиции								
		180			365			730/742**		
		1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Растяжение, σ_b , МПа	+20	131	133	—	128	128	—	—	121	122
	-60	160	160	—	156	157	—	—	136	137
Изгиб, σ_b , МПа	+20	157	167	—	156	161	—	—	144	145
	-60	177	182	—	173	177	—	—	166	167
Сжатие, σ_b , МПа	+20	259	265	—	257	260	—	—	244	247
	-60	269	280	—	265	272	—	—	257	260
Водопоглощение, %		0,373	0,311	—	0,488	0,483	—	—	0,707	0,698

Примечание: *1 – лабораторные испытания, 2 – образцы-свидетели (зона II), 3 – свая (зона II); ** 730 дней – время экспозиции образцов-свидетелей, 742 дня – время экспозиции свай.

Анализ представленных результатов позволяет утверждать, что полученные на образцах-свидетелях и материале сваи данные практически совпадают между собой, что подтверждает возможность контроля фактического состояния фундаментов из буроопускных ПКМ-свай, расположенных в зоне ММГ путем установки в непосредственной близости от свай образцов-свидетелей, а максимальный уровень деградации свойств, обнаруженный в зоне II сваи и на образце-свидетеле, расположенном на той же глубине, позволяет обоснованно указать на место заложения образцов-свидетелей для неразрушающего контроля фундамента, изготовленного из ПКМ-свай.

Обсуждение

В результате проведенных лабораторных и полигонных исследований установлено, что накопление влаги в стеклопластике оказывает негативное воздействие на его механические свойства, что связано с процессами диффузии воды вдоль нитей наполнителя к гидрофильным примесям смолы. Это приводит к образованию различного типа дефектов – трещин и пор – в основе материала, к расслоениям, к разрыву нитей тканого наполнителя и, как следствие, к нарушениям его целостности, особо интенсивным при пониженных климатических температурах [16].

Таким образом, предположение о влиянии процесса водопоглощения на снижение механических свойств ПКМ было полностью подтверждено результатами испытаний, однако абсолютная величина снижения прочности ПКМ после длительных испытаний в лабораторных условиях и экспонирования на полигоне не привела к катастрофическому снижению свойств, что хорошо соотносится с результатами, опубликованными в работах [13–15, 17, 18] и исследованиях других авторов.

Суммарное снижение предела прочности стеклопластика за исследуемый период времени составило не более 10%, дальнейшее падение прочности ПКМ достаточно легко прогнозируется. Так, в пределах 25 лет эксплуатации снижение прочности ПКМ-свай не должно составить более 25%, что легко можно будет проконтролировать испытаниями установленных около фундаментов образцов-свидетелей.

Данное предположение подтверждается результатами испытаний, показавшими, что максимальный объем поглощения воды и максимально быстрое падение прочности стеклопластика отмечается во время первых 180 дней испытаний – когда процесс водопоглощения протекает наиболее интенсивно; при больших временах выдержек образцов в дистиллированной воде и экспозиции образцов-свидетелей на полигоне интенсивность водопоглощения и снижения механических свойств постепенно ослабевает. Это связано с завершением процесса насыщения влагой поверхностных слоев ПКМ уже в первые 180 дней выдержек и затруднением диффузии воды во внутренние, удаленные от поверхности слои ПКМ и хорошо согласуется с данными, приведенными в [13].

Также результаты, полученные на лабораторных образцах, показали незначительно больший уровень деградации прочности материала, особенно заметный для испытаний на изгиб и сжатие, однако разница в полученных результатах невелика и не превышает 5%.

Выводы

По результатам исследований было показано, что повышенная обводненность грунтов северных территорий приводит к деградации механических свойств ПКМ, применяемых для свай, и требует дополнительного контроля их фактического состояния в ходе длительной эксплуатации.

Вопрос о неразрушающем контроле фактического состояния и оценке остаточного ресурса ПКМ-свай может быть достоверно решен путем постоянно-периодического контроля состояния и свойств образцов-свидетелей, установленных в непосредственной близости от эксплуатируемого фундамента, а получение данных о зоне, где деградация свойств материала идет с максимальной скоростью, определяет место заложения таких образцов.

Использование лабораторных исследований для оценки фактического состояния вряд ли следует признавать оптимальным, так как оно требует длительных выдержек образцов материалов в специализированных контейнерах, что достаточно сложно осуществить в условиях производственных лабораторий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Преснов О.М., Иванова Л.А., Бычковская С.И., Ломова Д.А. Свая на вечномёрзлом грунте // Экономика строительства. 2022. № 1. С. 41–45.
- [2] Алексеева О.И., Балобаев В.Т. Информационные модели криосферы Земли // Криосфера Земли. 2002. Т. 6, №. 1. С. 62–71.
- [3] Ефимов Е.А., Кириллов В.Н., Николаев Е.В., Шведкова А.К., Коренькова Т.Г., Деев И.С., Добрянская О.А. К вопросу о методике проведения натуральных климатических испытаний полимерных композиционных материалов // Гидроавиасалон-2010. 2010. С. 102–106.
- [4] Туйсина Е.Б., Сулейманов А.М. Моделирование работы полимерных композиционных материалов в напряженно-деформированном состоянии под воздействием агрессивных сред. Часть 2. Метод прогнозирования долговечности полимеркомпозитной арматуры // Известия КГАСУ. 2019. Т. 2, № 48. С. 255–262.
- [5] Спиридонов А.А., Фадеев А.М. Системное развитие транспортной инфраструктуры в Арктике // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2022. Т. 4, № 12. С. 31–37. DOI: 10.51823/74670_2022_4_31
- [6] Притула В.В. Коррозионная ситуация на газонефтепроводах России и их промышленная безопасность // Трубопроводный Транспорт: Теория и Практика. 2015. № 2. С. 6–10.
- [7] Гуляев А.С. Влияние почв на коррозию стальных труб. Моделирование стресс-коррозионных процессов // Аналитика. 2017. № 6. С. 74–77. DOI: 10.22184/2227-572X.2017.37.6.74.77
- [8] Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (РОССТАНДАРТ). Обустройство месторождений нефти на суше. Технологическое проектирование. ГОСТ 58367–2019. 2019. 124 с.
- [9] Бояринцев А.В. Репрезентативный анализ опыта строительства фундаментов на многолетне-мерзлых грунтах // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10, № 1. С. 57–68. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.06
- [10] Валиев Ш.Н., Михалдыкин Е.С., Васильев А.И. Испытания трубобетонных элементов с оболочкой из полимерных композиционных материалов как несущих конструкций малых мостовых сооружений // Вестник МАДИ. 2016. № 4. С. 88–98.
- [11] Московченко Д.В. Биогеохимические особенности почв бассейна реки Мессояха (Тазовский район Ямало-Ненецкого автономного округа). Вестник Тюменского государственного университета. Серия: Экология и природопользование. 2016. Т. 2, № 2. С. 8–21. DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-8-21
- [12] Таргулян Ю.О., Высоцкий Д.П., Неклюдов В.С. Рекомендации по устройству свайных фундаментов в вечномёрзлых грунтах. М.: НИИОСП, 1985. 39 с.
- [13] Корецкая Л., Александрова Т. Влияние воды на свойства стеклопластиков // Полимерные трубы. 2011. № 1. С. 38–41.
- [14] Францев М.Э., Кирейнов А.В. Результаты сравнительных испытаний композиционных материалов судостроительного назначения на основе стеклянных и базальтовых волокон на полиэфирном связующем на водопоглощение // Транспортные системы. 2019. № 1. С. 41–48. DOI: 10.46960/62045_2019_1_41
- [15] Старцев О.В., Лебедев М.П., Кычкин А.К. Старение полимерных композиционных материалов в условиях экстремально холодного климата // Известия АлтГУ. Физика. 2020. № 1 (111). С. 41–51. DOI: 10.14258/izvasu(2020)1-06
- [16] Al-Darraj F., Sadique M., Čebašek T.M., Ganguli A., Yu Z., Hashim K. A Systematic Review of the Geotechnical and Structural Behaviors of Fiber-Reinforced Polymer Composite Piles, Geosciences, 13(3) (2023) 78. DOI: 10.3390/geosciences13030078
- [17] Al Rashid A., Koç M. Creep and recovery behavior of continuous fiber-reinforced 3DP composites, Polymers, 13(10) (2021) 1644. DOI: 10.3390/polym13101644

[18] **Waqar M., Memon A.M., Sabih M., Alhems L.M.** Composite pipelines: Analyzing defects and advancements in non-destructive testing techniques, *Engineering Failure Analysis*, 157 (2024) 107914. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2023.107914

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ШВЕЦОВ Олег Викторович – инженер-исследователь, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, канд. техн. наук.

E-mail: shvec_off@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9368-4074>

ЛЕБЕДЕВ Михаил Петрович – генеральный директор, Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», д-р техн. наук.

E-mail: m.p.lebedev@mail.ru

ЕРМАКОВ Борис Сергеевич – главный научный сотрудник, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, д-р техн. наук.

E-mail: ermakov55@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0932-2408>

НЕЧАЕВ Даниил Валерьевич – инженер-исследователь, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, без степени.

E-mail: nechaev_dv@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5997-143X>

КАРПОВ Иван Дмитриевич – инженер, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, без степени.

E-mail: karpov_id@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7474-8463>

REFERENCES

[1] **O.M. Presnov, L.A. Ivanova, S.I. Bychkovskaya, D.A. Lomova**, Pile on permafrost soil, *Construction Economy*, 1 (2022) 41–45.

[2] **O.I. Alekseyeva, V.T. Balobayev**, Information models of the Earth cryosphere, *Earth's Cryosphere*, 6(1) (2002) 62–71.

[3] **E.A. Efimov, V.N. Kirillov, E.V. Nikolaev, A.K. Shvedkova, T.G. Koren'kova, I.S. Deev, O.A. Dobrianskaia**, К вопросу о методике проведения натурных климатических испытаний полимерных композиционных материалов [On the issue of the methodology for conducting natural climatic tests of polymer composite materials], *Gidroaviatsalon-2010 [Hydroaviation salon 2010]*, (2010) 102–106.

[4] **E.B. Tuisina, A.M. Suleimanov**, Simulation of polymer composite materials in the stress-strain state under the influence of aggressive media. Part 2. Method for predicting the durability of fiber reinforced polymer, *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*, 2(48) (2019) 255–262.

[5] **A.A. Spiridonov, A.M. Fadeev**, Systematic development of transport infrastructure in the Arctic, *Arctic 2035: current issues, problems, solutions*, 4(12) (2022) 31–37. DOI: 10.51823/74670_2022_4_31

[6] **V.V. Pritula**, Situation with corrosion on the Russian gas and oil pipelines and with their industrial safety, *Pipeline Transport: Theory and Practice*, 2 (2015) 6–10.

[7] **A.S. Gulayev**, Effect of soils on the corrosion of steel pipes. Modeling stress-corrosion processes, *Analytics*, 6 (2017) 74–77. DOI: 10.22184/2227-572X.2017.37.6.74.77

- [8] Federal Agency on Technical Regulating and Metrology (ROSSTANDART). Engineering process for onshore oil fields. Technological design. GOST 58367-2019. 2019. 124 p.
- [9] **A.V. Boyarintsev**, Representational analysis of the experience of building foundations on frozen soils, Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture, 10(1) (2019) 57–68. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.06
- [10] **Sh.N. Valiev, E.S. Mikhaldykin, A.I. Vasiliev**, Test of concrete filling fiber reinforcement plastic tube, as load-bearing structures of small bridges, Vestnik MADI, 4 (2016) 88–98.
- [11] **D.V. Moskovchenko**, Biogeochemical properties of the soils of Messoyakha river basin (Tazovsky district of Yamal-Nenets autonomous area), Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, 2(2) (2016) 8–21. DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-8-21
- [12] **Iu.O. Targulian, D.P. Vysotskii, V.S. Nekliudov**, Rekomendatsii po ustroistvu svainykh fundamentov v vechnomerzlykh gruntakh [Recommendations for the construction of pile foundations in permafrost soils], Moscow: NIIO SP, 1985. 39 p.
- [13] **L. Koretskaya, T. Aleksandrova**, Vliianie vody na svoistva stekloplastikov [The influence of water on the properties of fiberglass], Plastic Pipes, 1 (2011) 38–41.
- [14] **M.E. Frantsev, A.V. Kireinov**, Rezul'taty sravnitel'nykh ispytaniy kompozitsionnykh materialov sudostroitel'nogo naznachenii na osnove stekliannykh i bazal'tovykh volokon na poliefirnom sviazuiushchem na vodopogloshchenie [Results of comparative tests of composite materials for shipbuilding purposes based on glass and basalt fibers on a polyester binder for water absorption], Transportnye sistemy [Transport systems], 1 (2019) 41–48. DOI: 10.46960/62045_2019_1_41
- [15] **O.V. Startsev, M.P. Lebedev, A.K. Kychkin**, Aging of Polymer Composites in Extremely Cold Climates, Izvestiya of Altai State University, 1(111) (2020) 41–51. DOI: 10.14258/izvasu(2020)1-06
- [16] **F. Al-Darraj, M. Sadique, T.M. Čebašek, A. Ganguli, Z. Yu, K. Hashim**, A Systematic Review of the Geotechnical and Structural Behaviors of Fiber-Reinforced Polymer Composite Piles, Geosciences, 13(3) (2023) 78. DOI: 10.3390/geosciences13030078
- [17] **A. Al Rashid, M. Koç**, Creep and recovery behavior of continuous fiber-reinforced 3DP composites, Polymers, 13(10) (2021) 1644. DOI: 10.3390/polym13101644
- [18] **M. Waqar, A.M. Memon, M. Sabih, L.M. Alhems**, Composite pipelines: Analyzing defects and advancements in non-destructive testing techniques, Engineering Failure Analysis, 157 (2024) 107914. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2023.107914

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Oleg V. SHVETSOV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

E-mail: shvec_off@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9368-4074>

Mikhail P. LEBEDEV – *Federal Research Centre “Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”.*

E-mail: m.p.lebedev@mail.ru

Boris S. ERMAKOV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

E-mail: ermakov55@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0932-2408>

Daniil V. NECHAEV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

E-mail: nechaev_dv@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5997-143X>

Ivan D. KARPOV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

E-mail: karpov_id@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7474-8463>

Поступила: 25.10.2024; Одобрена: 15.11.2024; Принята: 20.11.2024.

Submitted: 25.10.2024; Approved: 15.11.2024; Accepted: 20.11.2024.