

Научная статья

УДК 678

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.31108>



Б.С. Ермаков, О.В. Швецов , С.Б. Ермаков

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

 shvec_off@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОБУСТРОЙСТВЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ПОЯСА

Аннотация. Постепенное смещение нефтегазодобывающих предприятий в северо-восточные регионы страны, отличающиеся крайне низкими температурами, повышенными уровнями влажности и сейсмичности, требует дополнительного анализа возможности применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в строительных конструкциях, приборах и аппаратах, используемых при обустройстве месторождений. Обычно используемые в условиях статического нагружения материалы могут при возникновении сейсмических воздействий испытывать дополнительные динамические нагрузки. В работе приведены результаты исследования влияния внешних воздействий среды этого региона на три наиболее распространенных ПКМ на основе полибутилентерефталата, полиамида и поликарбоната. Проведены испытания ударной вязкости ПКМ в диапазоне температур от +20 до –60°C и после интенсивного водопоглощения.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, экстремально низкие климатические температуры, длительное захлаживание образцов, водопоглощение, ударная вязкость.

Благодарности: Работа выполнена 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 грунтов» (FSEG-2024-0009).

Для цитирования:

Ермаков Б.С., Швецов О.В., Ермаков С.Б. Особенности применения полимерных композиционных материалов при обустройстве нефтегазовых месторождений Арктического пояса // Глобальная энергия. 2025. Т. 31, № 1. С. 112–121. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.31108>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.31108>*B.S. Ermakov, O.V. Shvetsov* ✉, *S.B. Ermakov*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia✉ shvec_off@mail.ru

FEATURES OF USING POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN THE DEVELOPMENT OF OIL AND GAS FIELDS IN THE ARCTIC BELT

Abstract. The gradual shift of oil and gas production enterprises to the north-eastern regions of the country, characterized by extremely low temperatures, high humidity and seismicity, requires additional analysis of the possibility of using polymer composite materials (PCM) in building structures, devices and apparatus used in field development. Materials, usually used in conditions of static loading, can experience additional dynamic loads in case of seismic effects. In this work, the results of the research of the influence of external environmental impacts in this region on three most common PCMs based on polybutylene terephthalate, polyamide and polycarbonate are presented. Tests of impact toughness of PCMs in the temperature range from +20 to –60°C and after intensive water absorption were carried out.

Keywords: polymer composite materials, extremely low climatic temperatures, long-term cooling of samples, water absorption, impact toughness.

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

Citation:

Ermakov B.S., Shvetsov O.V., Ermakov S.B., Features of using polymer composite materials in the development of oil and gas fields in the Arctic belt, *Global Energy*, 31 (01) (2025) 112–121, DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.31108>

Введение. Освоение новых перспективных месторождений нефти и газа в восточной части арктического региона РФ поставило принципиально новые задачи перед проектировщиками и строительными организациями, специализирующимися на вопросах обустройства новых месторождений и площадок добычи и переработки сырья. К задачам, которые необходимо решить при возведении новых объектов, относится крайне сложная логистика: практически полностью отсутствуют железные и автомобильные дороги, и единственным способом добраться до перспективных территорий в летние месяцы остается воздушный транспорт, а в зимние — проложенные по руслу рек автомобильные зимники. Все это значительно удорожает доставку материалов и оборудования на строительные площадки и делает крайне привлекательным процесс замещения металлических конструкций конструкциями из полимерных композитных материалов (ПКМ), плотность которых в пять-семь раз ниже плотности строительных сталей.

Наряду с этим северо-восточные регионы страны относятся к высокоактивным сейсмическим зонам. Так, по данным ряда авторов, ежегодно на территории Республики Саха (Якутия) происходит до пятисот подземных толчков различной интенсивности [1–3]. Поэтому при проектировании объектов, выборе материалов для обустройства месторождений приходится учитывать как основные геоклиматические требования к конструкциям (ГОСТ Р 57955–2017), так

и дополнительные требования и ограничения (СП 14.13330.2018), выдвигаемые к возведению зданий и сооружений, выбору технологий строительных работ, оценке применимости используемых материалов в условиях сейсмически опасных зон.

Значительная часть строительных конструкций в ходе эксплуатации испытывает только статические нагрузки. Согласно СП 16.13330.2017, к таким конструкциям относятся практически все основные строительные элементы — фермы, колонны, перекрытия, опорные плиты, обшивка зданий и сооружений и т.п. В зависимости от группы конструкций это могут быть либо растягивающие и изгибающие, либо сжимающие нагрузки. Отсутствие в строительных конструкциях динамического и циклического нагружения уже в ряде случаев позволило заменить традиционные металлические балки, трубы и листы на ПКМ-конструкции [4–9], однако такие решения были реализованы в центральных регионах страны, отличающихся умеренно холодным климатом и отсутствием повышенной сейсмичности. Поэтому автоматический перенос подобных решений о замене стальных конструкций на ПКМ-конструкции в условиях северо-востока страны без проведения дополнительных исследований поведения материалов при низких климатических температурах, повышенной влажности и сейсмичности невозможен и требует дополнительных исследований стойкости материалов в условиях динамического нагружения при температурах в диапазоне от +20 до –60°C и насыщения материалов влагой в летние месяцы.

Целью данной работы являлся анализ деградации механических свойств стеклонаполненных полимерных материалов, содержащих в качестве наполнителя 25–30% мелкоизмельченной стеклянной нити и применяемых в строительных конструкциях и контрольно-измерительной аппаратуре, которые используются на нефтегазовых месторождениях в условиях длительного воздействия низких климатических температур и повышенной влажности — то есть в условиях, типичных для северо-восточной части арктического региона РФ.

Методы и материалы

В качестве матричных материалов были выбраны следующие термопластичные полимеры.

Полибутилентерефталат (ПБТ) — полимер с высокой степенью кристалличности, относящийся к сложным насыщенным полиэфирам. В настоящее время этот стеклонаполненный полимерный материал широко используется как конструкционный пластик при изготовлении корпусов и несущих конструкций различного типа электромеханических и электронных устройств, применяется в измерительной технике и ряде строительных конструкций. В последние годы ПБТ успешно заменяет металлические материалы (цинк, бронзу, алюминий) в производстве деталей электротехнического и конструкционного назначения, приборостроении, электротехнике, электронике, используемых на нефтегазовых месторождениях.

Поликарбонат (ПК) — широко применяемый в промышленности термопласт, относящийся к сложным полиэфирам с малым уровнем кристалличности. Обладает высокой жесткостью в сочетании с высокой стойкостью к ударным воздействиям, в том числе при пониженной температуре, а также высокой химической устойчивостью к большинству неинертных веществ, что дает возможность применять его в агрессивных средах без изменения его химического состава и свойств. К таким веществам относятся минеральные кислоты даже высоких концентраций, соли, насыщенные углеводороды и спирты, включая метанол. Используется в строительных конструкциях, приборах и аппаратах, эксплуатируемых в условиях агрессивного воздействия внешних сред, в частности нефтяного флюида.

Полиамид (ПА) — материал на основе линейных синтетических высокомолекулярных соединений. Применяется в качестве конструкционного материала в строительных конструкциях, отличается повышенной жесткостью, прочностью, достаточным уровнем ударной вязкости, стойкостью к внешним воздействиям.

Для поведения исследований были использованы следующие материалы:

- Полибутилентерефталат стеклонаполненный марки Технотер А-СВ30-ОДИ (ТУ 2253-025-11517367-2002);
- Поликарбонат марки Carbomix (ТУ 2226-004-13619882-2009);
- Полиамид 610 литьевой (ГОСТ 10589-87).

Исследования влияния низких климатических температур на деградацию ПКМ были выполнены в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, регламентирующей подготовку и проведение механических испытаний: ГОСТ 26277-84, ГОСТ 14359-69, ГОСТ 4647-2015, ГОСТ 16782-92, ГОСТ 11262-80. Также проведены исследования водопоглощения ПКМ в соответствии с требованиями ГОСТ 4650-80 (метод А). Влияние низкотемпературных воздействий на свойства ПКМ были проведены в диапазоне температур от +20 до –60°C в исходном состоянии материалов и после их длительных низкотемпературных выдержек в камере холода при –60°C в течение 100, 250, 500 и 1000 часов. Влияние уровня водопоглощения на ударную вязкость ПКМ было проведено после насыщения ударных образцов ПКМ водой в течение 24, 48 и 96 часов по технологии, описанной в ГОСТ 4650-80. Торцевые части образцов были обработаны водоотталкивающим компаундом. Количество образцов на каждую точку измерения составляло 8 штук для испытаний в исходном состоянии и после пребывания в камере холода и 6 штук после выдержек в воде при температуре +23±2°C. Все испытания ударной вязкости были проведены при температурах +20, –40 и –60°C. Для проведения испытаний был использован маятниковый копер Zwick/Roell RKP 450, полностью соответствующий требованиям ГОСТ 10708-82.

Результаты

В табл. 1 показаны скорость и объем водопоглощения образцами ПКМ, определенные при их выдержке в воде при температуре +23±2°C в течение 12, 24, 48 и 96 часов. Показано, что максимальная скорость водопоглощения достигается за первые 24 часа испытаний, при увеличении времени выдержки скорость водопоглощения постепенно снижается. Так, если за первые 24 часа прирост массы ПА составил 2,9% от общей массы образца, то в дальнейшем за последующие 72 часа этот прирост оказался менее половины процента (3,26–2,91%). Таким же образом, хотя и с меньшим объемом водопоглощения, ведут себя ПБТ и ПК.

Таблица 1

Водопоглощение образцов стеклонаполненных ПКМ

Table 1

Water absorption of glass-filled PCM samples

ПКМ	Водопоглощение (%) за период (ч)				
	12	24	36	48	96
ПБТ	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07
ПК	0,21	0,24	0,26	0,27	0,28
ПА	1,93	2,61	2,96	3,17	3,26

Таким образом, был установлен факт интенсивного водопоглощения полиамидов, который может негативно сказаться во время их эксплуатации на открытом воздухе и в помещениях с повышенной влажностью. Однако основным показателем годности материала для использования в условиях зон повышенной сейсмичности является его сопротивляемость ударным нагрузкам. Для проверки данного показателя были выполнены испытания на ударную вязкость ПКМ.

В табл. 2 приведены средние значения результатов испытаний образцов после длительного пребывания в камере холода при температуре –60°C.

Таблица 2

**Средние значения ударной вязкости образцов стеклонаполненных ПКМ
в исходном состоянии и после длительных выдержек в камере холода**

Table 2

**Average values of impact toughness of glass-filled PCM samples
in the initial state and after prolonged exposures in the cold chamber**

ПКМ	Т _{исп} , °С	Время выдержки в камере холода, ч				
		0	100	250	500	1000
		Средняя ударная вязкость KCV _{сред} , Дж/см ²				
ПБТ	+20	6,9	6,2	5,7	4,6	—
	–40	1,7	1,4	1,1	0,8	—
	–60	1,3	1,1	0,8	—	—
ПК	+20	36,7	36,6	36,4	36,0	35,9
	–40	34,3	34,0	33,8	33,5	33,1
	–60	32,8	32,7	32,3	32,0	31,7
ПА	+20	16,2	16,0	15,8	15,4	14,9
	–40	15,6	15,3	15,0	14,4	13,9
	–60	14,4	14,1	13,7	13,2	12,7

Как следует из данных таблицы, наихудшие результаты показал ПБТ — материал, который максимально широко используется в качестве корпусов приборов различного назначения — от бытовых электровентиляторов до сложных и дорогостоящих приборов геофизических измерений, применяемых при контроле и слежении за технологическими процессами на площадках добычи, а также в ряде строительных конструкций. На рис. 1 приведены изломы образцов ПБТ после испытаний при +20 и –60°С. При комнатной температуре развитие трещины в образцах ПБТ происходит по полимерной матрице, практически не затрагивая наполнитель. При понижении температуры механизм изменяется, и трещина распространяется по полимерной матрице и волокнам стекла — на поверхности излома отчетливо видны осколки наполнителя, а вид излома при понижении температуры изменяется от вязкого и квазихрупкого к хрупкому.

Наилучшие результаты были получены при испытаниях ПК, ударная вязкость которого после 1000 часов захлаживания при –60°С снизилась на ~4% при температуре +20°С и на ~9% при испытаниях при –60°С, оставаясь во всем исследованном диапазоне температур на достаточно высоком уровне более 30 Дж/см². ПА показал среднее значение удара при комнатной температуре порядка 16 Дж/см² и 14 Дж/см² при –60°С, падение ударной вязкости после 1000 часов захлаживания составило ~20%. Вид изломов ПК и ПА — вязкий во всем диапазоне температур испытания, магистральная трещина развивается только по полимерной матрице, не затрагивая волокон стекла.

Влияние водопоглощения на ударную вязкость ПКМ приведено в табл. 3. Учитывая то, что ударные образцы значительно отличаются от образцов, предназначенных для испытаний на водопоглощение, в первую очередь меньшей площадью поверхности, контактирующей с водой, по сравнению со стандартными, изготавливаемыми по ГОСТ 4650-80, до проведения испытаний на ударную вязкость образцы дополнительно взвешивали, определяя фактический объем поглощенной жидкости. Как показали результаты взвешивания, расхождения в результатах для ПБТ и ПК не превысили 0,01 и 0,04%; после 96-часовой выдержки в воде в случае ПА разница оказалась

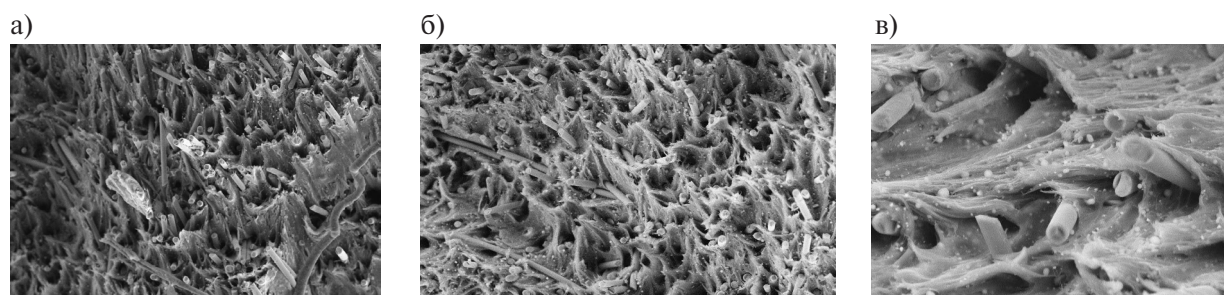


Рис. 1. Поверхности разрушения ПБТ после низкотемпературной выдержки в течение 1000 часов: а) разрушение по матрице (+20°C); б, в) — разрушение волокон стекла — осколки на поверхности излома (а, б — $\times 400$; в — $\times 2000$)

Fig. 1. Fracture surfaces of PBT after low-temperature curing during 1000 h: a) fracture on matrix (+20°C); b, c) fracture of glass fibers — splinters on the fracture surface (a, b — $\times 400$; c — $\times 2000$)

Таблица 3

Влияние водопоглощения на ударную вязкость стеклонаполненных ПКМ

Table 3

Effect of water absorption on impact toughness of glass-filled PCMs

ПКМ	$T_{исп}, ^\circ\text{C}$	Время выдержки в воде, ч				
		0	12	24	48	96
		Средняя ударная вязкость $KCV_{ср}$, Дж/см ²				
ПБТ	+20	6,9	6,7	6,4	6,3	6,1
	−60	1,3	1,1	0,9	0,6	0,4
ПК	+20	36,7	36,7	36,6	36,5	36,5
	−60	32,8	32,5	32,4	32,2	32,0
ПА	+20	16,2	16,0	15,7	15,5	15,3
	−60	14,4	11,3	7,5	3,1	—

достаточно значительной — объем поглощенной жидкости составил 2,89%, что меньше значений, полученных по ГОСТ 4650-80, на 0,37%.

Данные табл. 3 подтверждают первоначальный вывод о низком уровне ударной вязкости ПБТ во всем диапазоне климатических температур. Малая склонность материала к водопоглощению практически не изменяет уровень ударной вязкости в ходе испытаний при +20°C и снижает его вдвое при −60°C.

ПК оказался наименее чувствителен к воздействию влаги. Механизм разрушения образцов не изменен — вязкий с незначительно долей квазихрупкой составляющей. Волокна стекла по-прежнему не вовлечены в процесс разрушения, а магистральная трещина огибает их, развиваясь по полимерной матрице. ПА при комнатной температуре не чувствителен к объему поглощенной воды, механизм разрушения вязкий. При низких температурах происходит лавинообразное падение ударной вязкости. Так, при выдержке в воде в течение 96 часов ударная вязкость падает до нуля. Снижение ударной вязкости ПА при пониженных температурах сопровождается изменением механизма разрушения материала — от вязкого (рис. 2а) к квазихрупкому и хрупкому, причем причиной такого перехода являются частицы замерзшей воды, образующиеся вокруг волокон стекла (рис. 2б, в).

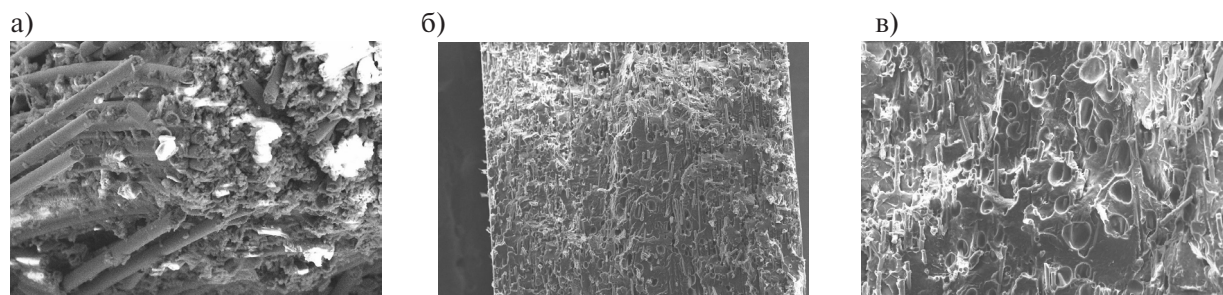


Рис. 2. Поверхности разрушения ПА: а) +20°C; б, в) –60°C – следы частиц льда вокруг волокон водопоглощения в течение 96 часов (а, в – $\times 500$; б – $\times 150$)

Fig. 2. PA fracture surfaces, а) +20°C; б, с) –60°C – traces of ice particles around the water absorption fibers within 96 hours (а, с – $\times 500$; б – $\times 150$)

Обсуждение

На основании проведенных исследований представляется возможным сделать несколько выводов. Испытаниями ударной вязкости ПКМ было показано, что в условиях сейсмоактивного северо-восточного региона РФ следует отказаться от широкого применения в корпусах ответственного оборудования и строительных конструкциях композитов на основе ПБТ, так как ударная вязкость этих ПКМ при пониженных температурах крайне мала, что может привести к хрупким разрушениям оборудования и сооружений при сейсмическом воздействии. ПКМ на основе ПА отличаются повышенным уровнем водопоглощения и развитием хрупкого разрушения при динамическом воздействии на материал при пониженных температурах.

Причина такого разрушения связана с особенностями водопоглощения ПКМ. Так, в работах [10–15] на примере ПКМ с термореактивной матрицей было показано, что поглощение воды ПКМ происходит по границам раздела матрица–наполнитель за счет капиллярного проникновения воды в тело композита вдоль поверхности волокон, а интенсивность процесса водопоглощения определяется уровнем смачивания полимерной матрицей стекловолокна. Полученные результаты позволяют утверждать, что такой же механизм накопления влаги существует и в термопластичных матрицах ПКМ.

Накопление влаги в теле композита на основе ПА оказывает воздействие на его структуру и механические свойства. В первую очередь это воздействие будет заметно при эксплуатации материалов при пониженных температурах или при их циклическом изменении вокруг 0°C. Диффузия молекул воды вдоль нитей наполнителя будет направлена к гидрофильным примесям матрицы, что приводит к образованию различного типа дефектов – трещин и пор в основе материала, к расслоениям и, как следствие, к нарушениям целостности, особо интенсивным при пониженных климатических температурах. Подобные повреждения структуры ПКМ неизбежно должны приводить к деградации их механических свойств, особенно в низкотемпературной области, что подтверждается данными табл. 3.

Выводы

Таким образом, ПКМ на основе ПА могут без ограничений применяться во влагозащищенных помещениях. При их использовании на открытом воздухе необходимо выполнить защиту поверхности конструкции водоотталкивающим компаундом и обеспечить контроль целостности защитного покрытия в ходе эксплуатации.

Анализ результатов ударной вязкости ПКМ на основе ПК позволяет без ограничений рекомендовать этот материал для использования в строительных конструкциях, корпусах приборов и оборудовании, используемом в условиях северо-востока страны, отличающегося крайне низкими климатическими температурами и повышенными уровнями сейсмичности и влажности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.** Сейсмоструктура Олекмо-становой сейсмической зоны (Южная Якутия) // Литосфера. 2005. № 2. С. 21–40.
- [2] **Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М.** Геодинамические характеристики новейших структур Оленекского и Вилуйского районов Якутской кимберлитовой провинции // Геология и геофизика. 2020. Т. 61, № 11. С. 1499–1513. DOI: 10.15372/GiG2020107
- [3] **Алексеева О.И., Балобаев В.Т.** Информационные модели криосферы Земли // Криосфера Земли. 2002. Т. 6, № 1. С. 62–71.
- [4] **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
- [5] **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 Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2016. Т. 47, № 4. С. 88–98.
- [6] **Малышкина А.В., Смирнов А.П.** Перспективы применения строительных композитных конструкций // Нефтяное хозяйство. 2019. № 12. С. 74–76. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-12-74-76
- [7] **Габова М.А.** Применение композиционных материалов при добыче нефти и газа // Вестник университета. 2012. № 10. С. 88–92.
- [8] **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. 48, № 2. С. 255–262.
- [9] **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
- [10] **Корещкая Л., Александрова Т.** Влияние воды на свойства стеклопластиков // Полимерные трубы. 2011. № 1. С. 38–41.
- [11] **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
- [12] **Al Rashid A., Koç M.** Creep and recovery behavior of continuous fiber-reinforced 3DP composites // Polymers. 2021. Vol. 10, No. 13. P. 1644. DOI: 10.3390/polym13101644
- [13] **Waqar M., Memon A.M., Sabih M., Alhems L.M.** Composite pipelines: Analyzing defects and advancements in non-destructive testing techniques // Engineering Failure Analysis. 2024. No. 157. Article no. 107914. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2023.107914
- [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] **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. 2023. No. 13. Article no. 78. DOI: 10.3390/geosciences13030078

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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>

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>

ЕРМАКОВ Сергей Борисович — директор НИОЦ, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, без степени.

E-mail: ermakov_sb@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4243-0984>

REFERENCES

- [1] V.S. Imaev, L.P. Imaeva, B.M. Kozmin, Seismotectonics of Olekmo-stanovaya seismic zone (South Yakutia), Lithosphere, 2 (2005) 21–40
- [2] L.P. Imaeva, V.S. Imaev, B.M. Koz'min, Geodynamic characteristics of neotectonic structures in the Olenek and Vilyui areas of the Yakutian kimberlite province, Russian Geology and Geophysics, 61 (11) (2020) 1499–1513. DOI: 10.15372/GiG2020107
- [3] O.I. Alekseeva, V.T. Balobaev, Informacionnye modeli kriosfery Zemli [Information models of the Earth's cryosphere], Earth's Cryosphere, 6 (1) (2002) 62–71.
- [4] 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
- [5] 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 Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI), 4 (47) (2016) 88–98.
- [6] A.V. Malyshkina, A.P. Smirnov, Prospects for the use of building composite structures, Oil Industry Journal, 12 (2019) 74–76. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-12-74-76
- [7] M.A. Gabova, The usage of composite materials in oil and gas extraction, Vestnik universiteta, 10 (2012) 88–92.
- [8] 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.
- [9] 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
- [10] L. Koretskaya, T. Aleksandrova, Vliianie vody na svoistva stekloplastikov [The influence of water on the properties of fiberglass], Plastic Pipes, 1 (2011) 38–41.
- [11] 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
- [12] A. Al Rashid, M. Koç, Creep and recovery behavior of continuous fiber-reinforced 3DP composites, Polymers, 13(10) (2021) 1644. DOI: 10.3390/polym13101644

[13] **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

[14] **M.E. Frantsev, A.V. Kireinov**, Rezul'taty sravnitel'nykh ispytaniy kompozitsionnykh materialov sudostroitel'nogo naznacheniia 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] **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

INFORMATION ABOUT AUTHORS

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

E-mail: ermakov55@bk.ru

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

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

E-mail: shvec_off@mail.ru

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

Sergey B. ERMAKOV – *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

E-mail: ermakov_sb@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4243-0984>

Поступила: 12.12.2024; Одобрена: 28.12.2024; Принята: 28.12.2024.

Submitted: 12.12.2024; Approved: 28.12.2024; Accepted: 28.12.2024.