

ОСПТ «Reline» — эффективный удар по морозному пучению грунтов

Левин А.Д., Алявдин Д.В., Беляков В.М.

ЗАО «УЗПТ «Маяк», Озерск, Россия
uzpt@polymerpro.ru

Аннотация

В статье авторами рассматривается проблема строительства свайных малонагруженных фундаментов на сезонно-промерзающих и многолетне-мерзлых пучинистых грунтах, связанная с неравномерными деформациями грунтового основания, а также с агрессивными влияниями засоленных грунтов на свайные основания. Приведены результаты экспериментальных лабораторных исследований, выполненных АО «НИЦ «Строительство». Проведена оценка результатов проведенных испытаний противопучинной термоусаживаемой оболочки ОСПТ «Reline» по ряду параметров, среди которых: противопучинные свойства, прочность покрытия при ударе, эластичность покрытия при изгибе, диффузионная проницаемость для углекислого газа и хлорид-ионов, морозостойкость, адгезионная прочность. Сформулированы основные выводы по эффективности применения системы покрытия свайных фундаментов оболочкой ОСПТ «Reline» для борьбы с морозным пучением грунтов, а также в качестве вторичной защиты фундаментов от коррозии.

Ключевые слова

фундамент, свая, морозное пучение, касательные напряжения, полиолефины, радиационная модификация, термоусаживание, сезонно-промерзающие грунты, деформации морозного пучения, пучинистый грунт, засоление грунтов

Для цитирования

Левин А.Д., Алявдин Д.В., Беляков В.М. ОСПТ «Reline» — эффективный удар по морозному пучению грунтов // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 1. С. 44–50.

Поступила в редакцию: 04.03.2022

Введение

Обустройство месторождений нефти и газа на территории Российской Федерации зачастую неразрывно связано с вопросами обеспечения безаварийной эксплуатации сооружений и систем трубопроводов в условиях, осложненных низкими среднегодовыми температурами, а также сложными грунтовыми условиями, выражающимися в негативном влиянии сил морозного пучения на фундаменты и основания. Кроме того, свайные конструкции подвержены высокой скорости коррозии.

При проектировании фундаментов на пучинистых грунтах и грунтах, агрессивных по отношению к материалу свай, до сих пор сталкиваются с недостатком данных о взаимодействиях грунтов со сваями в деятельном слое, особенно при использовании современных методов защиты свай. Различные

защитные покрытия могут значительно изменять характер данных взаимодействий.

Силы морозного пучения напрямую негативно влияют на частоту аварийных ситуаций на таких объектах, как магистральные нефтепроводы, насосные станции, линии электропередач.

В настоящее время для обеспечения несущей способности фундаментов таких сооружений в мерзлых грунтах чаще всего используются свайные конструкции в различном исполнении [1].

На металлические свайные фундаменты в Арктическом регионе негативно влияют не только силы морозного пучения, но и степень засоленности грунтов. Грунты подобного типа ведут себя по отношению к стальным сваям как агрессивная среда при длительной их эксплуатации.

Таким образом, для повышения эксплуатационных характеристик свайных фундаментов и обеспечения их надежной защиты на весь срок эксплуатации применение комплексной противопучинной и антикоррозионной системы для стальных и железобетонных свай является перспективным направлением исследований.

В силу цикличности нагрузок в деятельном слое грунт воздействует на защитное покрытие сваи как абразив. В связи с этим в рамках исследования требуется оценить не только противопучинные свойства и параметры вторичной защиты покрытия ОСПТ «Reline» (далее ОСПТ «Reline»), но и оценить его долговечность, так как конструктивно срок службы свайных оснований должен быть сопоставим со сроком службы сооружения [2].

Для определения эффективности применения противопучинной термоусаживаемой оболочки ОСПТ «Reline» в качестве противопучинного мероприятия проведены исследования механического взаимодействия с покрытием и разных видов грунтов при различных температурах смерзания. По результатам испытаний определены коэффициенты снижения удельной касательной силы пучения для различных грунтовых условий, которые следует учитывать при проектировании свайных фундаментов [3].

ОСПТ «Reline»

Оболочка свайная противопучинная термоусаживаемая ОСПТ «Reline» представляет собой двухслойную втулку, состоящую из термостабилизированной, радиационно-сшитой и ориентированной в продольном направлении композиции и клеевого подслоя на основе модифицированных термопластичных адгезивов (рис. 1).

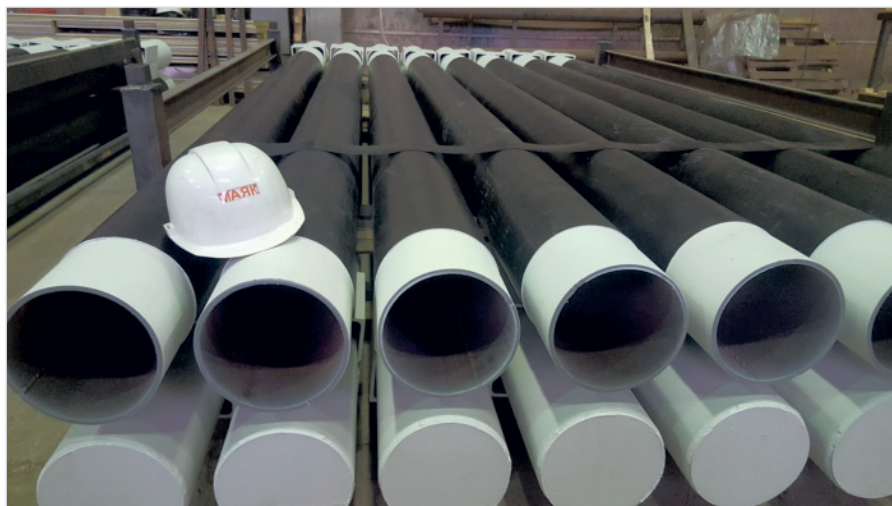


Рис. 1. Термоусаживаемая противопучинная оболочка ОСПТ «Reline» на стальной свае

Табл. 1. Сопротивление срезу по поверхности срезания грунта с моделями стальных свай без покрытия, стальных свай, покрытых ОСПТ «Reline»

№№ п\п	Лаб №	№№ опытов	Наименование материала	Температура T, °C	Влажность W, %	Плотность ρ, г/см³	Нормальная нагрузка σ, МПа	Сопротивление срезу по поверхности срезания R _{ср} , МПа	Нормальное значение R _{нр} , МПа	Расчетное значение R _р , МПа	Коэффициент γ _{ср}
Песок — сталь											
1	100	43	Песок пылеватый (смесь модельная)	-1	18,1	1,99	0,1	0,129	0,128	0,123	-
2	113	41		-1	18,0	1,91	0,1	0,129			
3	112	42		-1	18,7	1,92	0,1	0,122			
4	103	48		-2	18,0	1,94	0,1	0,223	0,321	0,221	-
5	118	46		-2	18,0	1,92	0,1	0,260			
6	119	47		-2	17,4	1,94	0,1	0,220			
7	106	60		-6	18,0	1,96	0,1	0,600	0,643	0,616	-
8	124	58		-6	18,1	1,92	0,1	0,728			
9	125	59		-6	19,0	1,95	0,1	0,607			
Суглинок — сталь											
10	101	44	Суглинок легкий (смесь модельная)	-1	27,4	1,88	0,1	0,111	0,115	0,110	-
11	111	39		-1	27,4	1,86	0,1	0,082			
12	126	40		-1	27,8	1,86	0,1	0,071			
13	104	54		-2	28,2	1,87	0,1	0,273	0,206	0,197	-
14	116	52		-2	27,4	1,97	0,1	0,214			
15	117	53		-2	27,2	1,93	0,1	0,239			
16	107	63		-6	26,8	1,88	0,1	0,586	0,570	0,546	-
17	122	61		-6	28,2	1,95	0,1	0,557			
18	123	62		-6	28,9	1,89	0,1	0,557			
Цементно-песчаный раствор — сталь											
19	102	45	Цементно-песчаный раствор (1:5)	-1	8,0	1,96	0,1	0,171	0,117	0,104	-
20	109	37		-1	12,8	1,99	0,1	0,099			
21	110	38		-1	13,0	2,03	0,1	0,129			
22	105	51		-2	13,0	1,88	0,1	0,129	0,191	0,170	-
23	114	49	Цементно-песчаный раствор (1:5)	-2	13,2	1,99	0,1	0,179	0,191	0,170	-
24	115	50		-2	12,5	1,84	0,1	0,214			
25	108	57		-6	11,5	1,94	0,1	0,657	0,487	0,434	-
26	120	55		-6	12,7	1,98	0,1	0,440			
27	107	56		-6	13,1	1,96	0,1	0,387			
Песок — ОСПТ «Reline»											
28	M12	1	Песок пылеватый (смесь модельная)	-1	18,7	2,02	0,1	0,016	0,018	0,018	0,15
29	M15	2		-1	18,1	1,98	0,1	0,016			
30	M20	3		-1	17,9	1,98	0,1	0,016			
31	M12	4		-1	18,7	2,02	0,1	0,024			
32	M19	13		-2	18,7	1,98	0,1	0,063	0,061	0,060	0,27
33	M12	14		-2	19,2	1,96	0,1	0,063			
34	M11	15		-2	18,3	2,01	0,1	0,063			
35	M15	16		-2	19,4	1,88	0,1	0,063			
36	M19	25		-6	18,2	2,02	0,1	0,238	0,231	0,231	0,38
37	M15	26		-6	18,2	1,94	0,1	0,238			
38	M12	27		-6	18,6	2,02	0,1	0,238			
39	M11	28		-6	18,5	2,06	0,1	0,238			

Суглинок — ОСПТ «Reline»											
40	M25	5	Суглинок легкий (смесь модельная)	-1	28,3	1,87	0,1	0,040	0,053	0,051	0,48
41	M10	6		-1	27,6	1,90	0,1	0,056			
44	M17	17		-2	28,3	1,93	0,1	0,095	0,092	0,088	0,47
45	M22	18		-2	28,5	1,91	0,1	0,095			
46	M10	19		-2	28,5	1,90	0,1	0,103	0,248	0,239	0,45
47	M14	29		-6	27,2	1,87	0,1	0,238			
48	M10	30		-6	27,9	1,91	0,1	0,238			
49	M17	31		-6	27,5	1,94	0,1	0,238			
50	M22	32		-6	27,6	1,91	0,1	0,286			
Цементно-песчаный раствор — ОСПТ «Reline»											
51	M18	10	Цементно-песчаный раствор (1:5)	-1	13,9	1,96	0,1	0,037	0,020	0,015	0,14
52	M23	11		-1	11,0	1,96	0,1	0,008			
53	M7	21		-2	12,3	2,07	0,1	0,063	0,040	0,023	0,14
54	M8	23		-2	12,6	2,06	0,1	0,016			
55	M23	24		-2	12,7	2,03	0,1	0,041	0,120	0,09	0,20
56	M7	33		-6	11,1	2,18	0,1	0,111			
57	M16	34		-6	12,4	2,15	0,1	0,095			
58	M8	35		-6	12,5	2,15	0,1	0,198			
59	M9	36		-6	12,0	2,16	0,1	0,095			

ОСПТ «Reline» устанавливается на ствол сваи в зоне деятельного слоя грунта с целью снижения касательных сил морозного пучения на боковую поверхность сваи, а также служит для вторичной защиты свайных оснований от коррозии. Оболочка монтируется на сваю путем нагрева до температуры +130–150 °С. Температура длительной эксплуатации ОСПТ «Reline» в смонтированном состоянии — от -60 до +80 °С.

ОСПТ «Reline» разработана в развитие РД 51-00158623-10-95 ПАО «Газпром», выпускается серийно на предприятии ЗАО «УЗПТ «Маяк» по ТУ 2247-004-75457705-2014 в соответствии со спецификацией производителя и сертифицирована в системах ГОСТ Р и Газпромсерт. Для проектирования и устройства свайных фундаментов, расположенных преимущественно в условиях широкого распространения сезонно-промерзающих пучинистых грунтов, АО НИЦ «Строительство» разработал стандарт организации [8].

Лабораторные исследования

Оценка эффективности применения ОСПТ «Reline» в качестве противопучинной системы в наиболее распространенных типах грунтов, а также цементно-песчаного раствора

Оценка включает в себя проведение испытаний сопротивлению срезу по поверхности смерзания металлических плашек (моделей сваи), покрытых ОСПТ «Reline», а также проведение сравнительных испытаний с металлическими плашками без покрытия. Испытания проводились при трех значениях отрицательной температуры (-1, -2 и -6 °С) для песчаного грунта (песка пылеватого), глинистого грунта (суглинка легкого), а также цементно-песчаного раствора.

Результаты испытаний для грунтов позволяют оценить эффективность применения покрытия в качестве мероприятия по снижению касательных сил морозного пучения при расчетах фундаментов на выпучивание [1] и при расчетах несущей способности фундаментов, проектируемых на многолетне-мерзлых грунтах.

Лабораторные испытания выполнены аккредитованной лабораторией Сектор испытаний мерзлых грунтов (СЛИМГ) Центра геоэкологических и геотехнических исследований (ЦГГИ) АО «НИЦ «Строительство».

Результаты определения удельных касательных сил морозного пучения стандартными методами

При проведении работ выполнено 63 испытания по определению сопротив-

ления срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента (сталь с покрытием ОСПТ «Reline» и сталь без покрытия). Испытания проводились с песком пылеватым, суглинком легким, а также с цементно-песчаной смесью при трех значениях отрицательной температуры (-1, -2 и -6 °С).

Цель работы — установление расчетных значений сопротивления срезу по поверхности смерзания грунтов с материалом свай в указанном спектре температур для стальных свай, покрытых ОСПТ «Reline», и сравнение полученных результатов с аналогичными для неокрашенных поверхностей стальных свай. Результаты могут быть применимы как для расчета касательных сил пучения (при расчете фундаментов на выпучивание), так и при расчете несущей способности грунтов (при расчетах фундаментов на мерзлых грунтах) (табл. 1).

Для сопоставления результатов была проведена отдельная серия испытаний на плашках без покрытия, с шероховатостью поверхности близкой к шероховатости натуральных стальных свай. Величины сопротивления срезу по поверхности смерзания (τ см. дл. = R_{af}), полученные в этой серии, принимались за эталонные. После сравнения результатов испытаний с покрытиями и без вычислялись безразмерные коэффициенты, показывающие относительное снижение/увеличение касательных сил пучения и сопротивления срезу по поверхности смерзания при покрытии стальных свай ОСПТ «Reline». Такой подход позволяет получить сравнительные характеристики несмотря на то, что величины сопротивления срезу по поверхности смерзания для природных грунтов варьируют в широких пределах в зависимости от многих факторов (влажности и плотности конкретного грунта, минерального и гранулометрического состава, а также других характеристик). Полученные коэффициенты можно применять в том числе для пересчета табличных значений [1] (табл. 1).

Табл. 2. Расчетные сопротивления грунта срезу по поверхности смерзания с металлической свайей, покрытой ОСПТ «Reline»

Наименование грунта	Расчетное сопротивление срезу по поверхности смерзания R_{af}^p , МПа		
	при T = -1 °С	при T = -2 °С	при T = -6 °С
Песок пылеватый	0,018	0,06	0,231
Суглинок легкий	0,053	0,092	0,248
Цементно-песчаный раствор	0,015	0,023	0,088

Табл. 3. Дополнительные коэффициенты γ_{af} для свай, покрытых ОСПТ «Reline» в зависимости от температуры и типа грунта

Наименование грунта	Дополнительный коэффициент γ_{af}		
	при T = -1 °C	при T = -2 °C	при T = -6 °C
Песок пылеватый	0,15	0,27	0,38
Суглинок легкий	0,48	0,47	0,45
Цементно-песчаный раствор	0,14	0,14	0,20

Табл. 4. Результаты лотковых испытаний по определению касательной силы морозного пучения и деформации морозного пучения

Характеристики	Объект исследования		
	Сталь 09Г2С без покрытия	Сталь 09Г2С с покрытием ОСПТ «Reline»	Снижение показателей при применении ОСПТ «Reline», %
Касательная сила морозного пучения, МПа	0,22	0,13	41
Относительная деформация морозного пучения, д.е.	0,025	0,0044	82

В таблице 3 представлены дополнительные коэффициенты γ_{af} для свай, покрытых ОСПТ «Reline», в зависимости от температуры и типа грунта. Значения получены на основе обработки лабораторных экспериментальных данных.

Результаты испытаний показывают, что при применении ОСПТ «Reline» во всех типах грунтов (песчаных и глинистых), а также в цементно-песчаном растворе для исследованного диапазона температур наблюдается эффект снижения сил смерзания (а следовательно, и касательных сил пучения), который зависит от температуры.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что снижение сил смерзания и касательных сил пучения при применении ОСПТ «Reline» составляет 62–85 % для пылеватого песка, 52–55 % для легкого суглинка и 80–86 % для цементно-песчаного раствора. В пылеватом песке и цементно-песчаном растворе наблюдается снижение эффекта уменьшения сил смерзания и касательных сил пучения при понижении температуры. В легком суглинке этот эффект, напротив, усиливается при понижении температуры.

Использование дополнительных коэффициентов γ_{af} для покрытия свай ОСПТ «Reline» при работе с таблицей 7.8 [1] следует производить следующим образом: величина касательных сил морозного пучения (табличные значения получены для бетонной поверхности) умножается вначале на коэффициент 0,7 (переход от бетонной на стальную поверхность) и затем на дополнительный коэффициент γ_{af} ОСПТ «Reline» (табл. 3).

Результаты определения удельных касательных сил морозного пучения с использованием макромоделей

При проведении работ проведено 4 лотковых испытания по определению удельной касательной силы морозного пучения и деформации морозного пучения при температуре грунта -4 °C (сталь с покрытием ОСПТ «Reline» и сталь без покрытия) (рис. 2). Все испытания проводились с использованием каолиновой глины, которая проявляет пучинистые свойства и хорошо подходит в качестве «эталонного» грунта для испытаний.

Длительность каждого испытания составила 2 месяца вплоть до полного промерзания грунта.

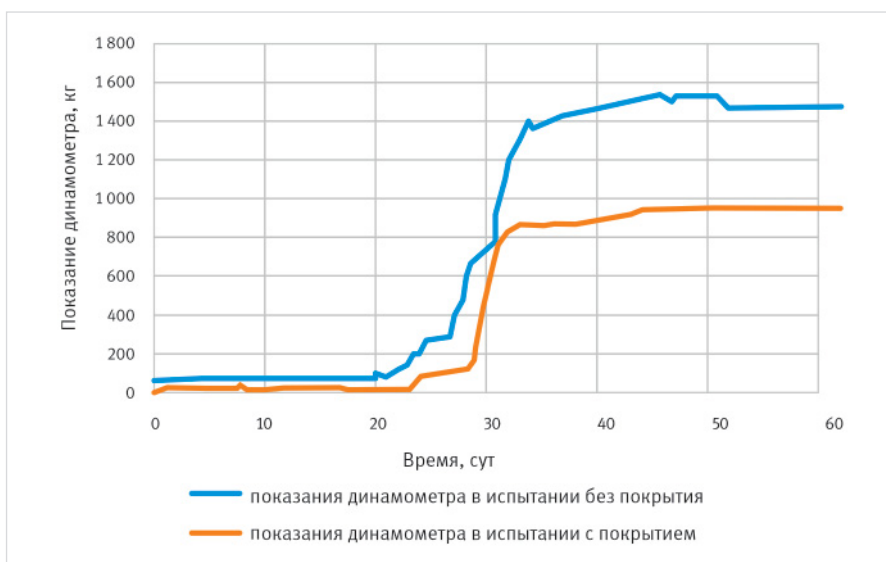


Рис. 2. Изменение давления сваи на динамометр от времени промораживания грунта у свай без покрытия и у свай, покрытой ОСПТ «Reline»

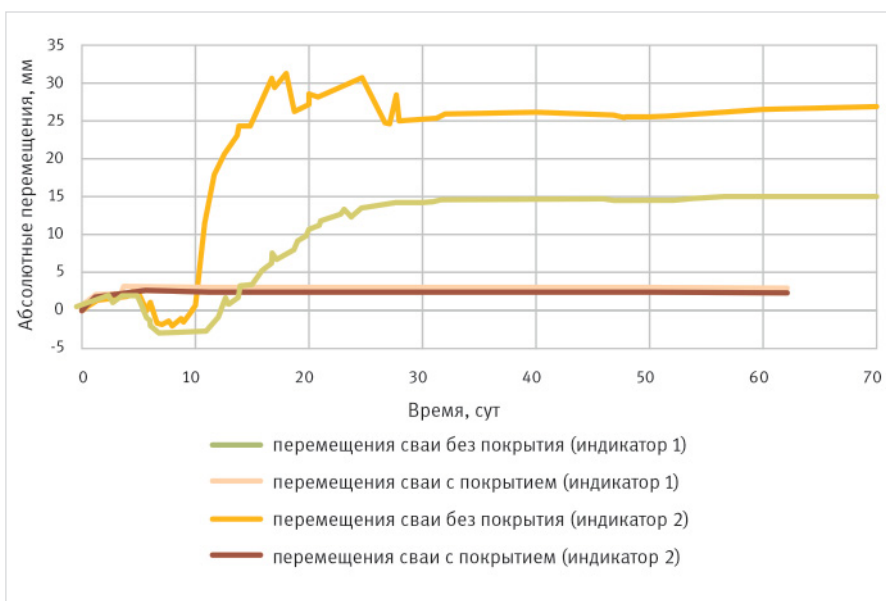


Рис. 3. Перемещение сваи во время испытания

Результаты испытаний по определению касательной силы морозного пучения показывают, что происходит снижение показателей в глине на 41 % при температуре -4 °С (табл. 4).

При определении деформации морозного пучения были получены следующие результаты: металлическая свая без покрытия в промерзающем грунте поднялась на 14,3–25,8 мм, свая с покрытием ОСПТ «Reline» поднялась всего на 3,0–3,5 мм. Графики, которые получены по измерениям индикаторов на каждой из свай представлены на рисунке 3. Таким образом, снижение относительной деформации морозного пучения составило 82 % для глины при температуре -4 °С.

Результаты определения морозостойкости покрытия ОСПТ «Reline»

Оценка морозостойкости покрытия проводилась на основе данных о механических повреждениях после воздействия отрицательных температур. Для такого вида материалов отсутствует нормативная документация на методы по определению морозостойкости, также не нормированы параметры морозостойкости и их допустимые значения. Таким образом, при оценке морозостойкости ОСПТ «Reline» возможно только сравнение результатов испытаний эталонных образцов (образцы материала до воздействия отрицательных температур) с результатами испытаний образцов, подвергавшихся температурному воздействию. Оценка механической стойкости после воздействия температур была проведена тремя методами испытаний: методом испытаний на изгиб, методом сбрасывания груза и методом определения удлинения при разрыве.

По результатам испытания на изгиб пластинок с противопучинным покрытием ОСПТ «Reline» установлено, что при изгибе образцов пластинок, подвергшихся как ступенчатому, так и циклическому воздействию отрицательных температур, дефектов (трещин, заломов, растяжений материала покрытия) не обнаружено.

Проведенные испытания «на удлинение при разрыве» показали отсутствие различий в характеристиках до воздействия отрицательных температур и после. По результатам комплекса испытаний можно сделать вывод, что механическая стойкость покрытия ОСПТ «Reline» не зависит от температурных воздействий.

Выводы по результатам проведенных испытаний

- испытания показали, что в интервале температур от -1 до -6 °С для покрытия ОСПТ «Reline» наблюдается эффективное снижение сил смерзания (а следовательно, и касательных сил пучения), которое

зависит от температуры. Оно составило: –песок пылеватый — от 62 до 85 %;

–суглинок легкий — от 52 до 55 %;

–цементно-песчаный раствор —

от 80 до 86 % (у песка коэффициент γ_{af} , соответственно, от 0,15 до 0,38, у легкого суглинка — от 0,45 до 0,48, у цементно-песчаного раствора — от 0,14 до 0,20);

- результаты лотковых испытаний по определению касательной силы морозного пучения показывают, что в каолинистой глине происходит снижение показателей на 41 % при температуре -4 °С;

- результаты испытаний по определению деформации морозного пучения в глине показали следующее: металлическая свая без покрытия в промерзающем грунте поднялась на 14,3–25,8 мм, свая с покрытием ОСПТ «Reline» поднялась всего на 3,0–3,5 мм. Таким образом, снижение относительной деформации морозного пучения для свай, покрытой ОСПТ «Reline», находящейся в глине при температуре -4 °С, составило 82 %;

- оценка морозостойкости покрытия показала, что отрицательные температуры не оказывают влияния на механические свойства покрытия, определяемые методом изгиба, методом сбрасывания груза и методом «удлинения при разрыве»;

- результаты испытаний для пылеватых песков, легких суглинков и цементно-песчаного раствора допускается принимать при расчетах оснований и фундаментов по устойчивости на воздействие сил морозного пучения (п. 6.3.16 [1]), а также при расчетах несущей способности фундаментов в вечномёрзлых грунтах (п. 4.7 [1]). Полученные коэффициенты эффективности покрытий разработаны применительно к данным таблиц [1], таблицы 7.8 (касательные силы морозного пучения), а также таблиц В.3 Приложения В (Расчетные сопротивления мерзлых грунтов по поверхности смерзания) [1] в дополнение к коэффициентам γ_{af} (Приложение В п. В.3 [1]). Использование дополнительных коэффициентов γ_{af} для покрытия свай ОСПТ «Reline» при работе с таблицей 7.8 [1] следует производить следующим образом: величина касательных сил морозного пучения (табличные значения получены для бетонной поверхности) умножается вначале на коэффициент 0,7 (переход от бетонной на стальную поверхность) и затем на дополнительный коэффициент γ_{af} ОСПТ «Reline» в соответствии с таблицей 3;

- испытанное противопучинное полимерное термоусаживаемое покрытие ОСПТ «Reline» удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к работе покрытий в грунтах, и может быть

рекомендовано к применению в проектной практике для защиты элементов металлических фундаментов и свай при бурозабивном и буроопускном способе погружения, а также для защиты стволов винтовых свай, в том числе и в сезонном (сезонно-мерзлом) слое как эффективное противопучинное мероприятие для снижения касательных сил морозного пучения грунтов, при проектировании сооружений со сроком службы до 50 лет включительно.

Испытания образцов бетонных и стальных элементов фундаментов с системой защитного покрытия на основе ОСПТ «Reline» по основным показателям качества на бетоне с целью определения коррозионной стойкости, срока службы и эффективности ее применения для вторичной защиты свайных фундаментов

Для проведения испытаний системы защитного покрытия на бетоне и металле в лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ была выбрана система на основе противопучинной термоусаживаемой оболочки ОСПТ «Reline».

Поскольку термоусаживаемое полимерное покрытие ОСПТ «Reline» разработано впервые и не имеет нормированных показателей, установленных ГОСТ 31384-2017 и СП 28.13330.2017 [4], оценка эффективности покрытия основана на методе сравнения основных показателей, полученных при испытаниях контрольных образцов без покрытия и образцов с покрытием.

Определение диффузионной проницаемости бетона с покрытием ОСПТ «Reline» для CO

Определение диффузионной проницаемости для углекислого газа бетонных образцов с системой покрытия ОСПТ «Reline» и бетонных образцов без защиты (контрольные образцы) проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 31383-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний» [5]. Испытания проводили на установке для испытаний бетона в среде углекислого газа УИУГ-10 с автоматическим поддержанием заданной концентрации углекислого газа.

Результаты испытаний показали, что система защитного покрытия ОСПТ «Reline» по бетону является непроницаемой для углекислого газа, бетон всех граней образцов под покрытием не карбонизирован, в то время как глубина карбонизированного слоя контрольного бетона достигала 6–8 мм для разных марок бетона, а среднее значение эффективного коэффициента диффузии углекислого газа в бетоне составило $0,46 \times 10^{-4}$ см²/с и $0,67 \times 10^{-4}$ см²/с соответственно.

Табл. 5. Содержание хлорид-ионов в бетоне с системой покрытия ОСПТ «Reline»

Место отбора пробы от поверхности образца, мм	Концентрация хлорид-ионов (% от массы цемента) в бетоне*			
	B20W8		B20W10	
	Образцы с системой покрытия ОСПТ «Reline»	Контрольные образцы (без покрытия)	Образцы с системой покрытия ОСПТ «Reline»	Контрольные образцы (без покрытия)
0–10	Отсутствует	Более 0,45 по всему сечению образца	Отсутствует	Более 0,45 по всему сечению образца
20	Отсутствует		Отсутствует	
30	Отсутствует		Отсутствует	
50	Отсутствует		Отсутствует	

* Средние результаты по пяти образцам

Табл. 6. Изменение внешнего вида образцов в процессе испытания на морозостойкость

Вид бетонных образцов	Состав бетона	Число циклов испытаний замораживания-оттаивания		
		5	10	20
Образцы с системой покрытия ОСПТ «Reline»	Класс В20W8	Без изменений	Без изменений	На отдельных гранях шелушение поверхности бетона
	Класс В20W10	Без изменений	Без изменений	На отдельных гранях шелушение поверхности бетона
Контрольные образцы бетона	Класс В20W8	На отдельных гранях шелушение поверхности бетона	Шелушение поверхности бетона, оголение крупного заполнителя	Разрушение бетонных образцов
	Класс В20W10	На отдельных гранях шелушение поверхности бетона	Шелушение поверхности бетона, оголение крупного заполнителя	Разрушение бетонных образцов

Табл. 7. Результаты испытаний на морозостойкость по прочности на сжатие

Вид бетонных образцов	Состав бетона	Контрольные, X_{min}^I	Число циклов испытаний замораживания-оттаивания			Марка по морозостойкости
			5	10	20	
			X_{min}^I , МПа	X_{min}^I , МПа	X_{min}^I , МПа	
Образцы с системой покрытия ОСПТ «Reline»	Класс В20W8	22,2	21,6	21,4	21,1	не менее F_{200}
	Класс В20W10	23,4	22,9	22,8	22,3	не менее F_{200}
Контрольные образцы бетона	Класс В20W8	23,9	22,9	21,7	18,7	F_{150}
	Класс В20W10	23,9	23	21,8	18,9	F_{150}

Табл. 8. Деформативные свойства системы покрытия ОСПТ «Reline» на металлической подложке

Наименование показателя, единица измерений	Исходное значение	Число циклов испытаний замораживания-оттаивания		
		10	20	30
Внешний вид покрытия	Однородное покрытие, отсутствие пузырей, вздутий, нарушений целостности	без изменений	без изменений	без изменений
Эластичность покрытия при изгибе, мм	не более 1	не более 1	не более 1	не более 1
Прочность системы покрытия при ударе, кг·см ²	не менее 100	не менее 100	не менее 100	не менее 100

* Средние результаты по пяти образцам

Определение проницаемости бетона с покрытием ОСПТ «Reline» для хлорид-ионов

Определение проницаемости для хлорид-ионов бетонных образцов с системой покрытия ОСПТ «Reline» и бетонных образцов без защиты (контрольные образцы) проводили экспресс-методом, разработанным в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Метод основан на хорошей растворимости хлористых солей и на различии в окраске смеси растворов хромата серебра и хлористых солей в зависимости от концентрации хлорид-иона.

Экспресс-метод позволяет оценить: содержится ли хлориды в бетоне в опасной концентрации для арматурной стали, и установить содержание хлоридов в пределах от 0 до ≤ 0,45 % к массе цемента в бетоне (табл. 5).

Результаты испытаний показали, что применение системы защитного покрытия на основе материала ОСПТ «Reline» по бетону полностью защищает бетон от проникновения в него хлорид-ионов из растворов. Хлорид-ионы не были обнаружены ни под покрытием, ни в центре образцов, в то время как в контрольных образцах (без покрытия) содержание хлоридов по всему объему бетона превышало критическую концентрацию (более 0,45 % к массе цемента).

Определение морозостойкости бетона с покрытием ОСПТ «Reline»

Испытания на морозостойкость бетонных образцов с системой покрытия ОСПТ «Reline» и контрольных бетонных образцов без покрытия проводили в соответствии с требованиями [6].

Результаты испытаний на морозостойкость по изменению внешнего вида бетонных образцов с покрытием ОСПТ «Reline» по сравнению с бетоном без защиты представлены в таблице 6, по изменению прочности на сжатие — в таблице 7.

Результаты испытаний на морозостойкость показали, что:

- контрольные бетонные образцы (без защиты) обоих составов выдержали 10 циклов по третьему ускоренному методу, что соответствует марке по морозостойкости F_{150} ;
- бетонные образцы с покрытием ОСПТ «Reline» обоих составов выдержали не менее 20 циклов по третьему ускоренному методу, что соответствует марке по морозостойкости не менее F_{200} .

Таким образом, нанесение на поверхность бетона системы защитного покрытия ОСПТ «Reline» позволяет повысить марку бетона по морозостойкости F_{150} до не менее F_{200} .

Определение прочности покрытия ОСПТ «Reline» на металлической подложке при ударе и эластичности при изгибе

Испытания по определению эластичности системы покрытия при изгибе проводили в соответствии с ГОСТ [7]. Сущность метода заключается в определении минимального диаметра металлического цилиндрического стержня, изгибание на котором металлической пластинки с покрытием не вызывает механического разрушения, трещин в месте изгиба, растрескивания и/или отслаивания покрытия от поверхности. Результаты испытаний системы защитного покрытия ОСПТ «Reline» по основным деформативным свойствам на металлической подложке после воздействия знакопеременных температур представлены в таблице 8.

По результатам испытаний система покрытия ОСПТ «Reline» на металле выдержала 30 циклов замораживания-оттаивания без изменений внешнего вида, дефектов защитного покрытия не обнаружено. Система покрытия ОСПТ «Reline» обладает высокими деформативными свойствами (эластичность при изгибе — не более 1 мм, прочность при ударе не менее 100 кг·см). При воздействии знакопеременных температур деформативные свойства системы покрытия не изменяются и сохраняются на исходном уровне.

Табл. 9. Результаты испытаний системы ОСПТ «Reline» на бетоне и на металле по основным показателям качества

Наименование показателя, единица измерения	Обозначение НТД на испытание	Результат испытаний			
		Бетон с системой покрытия ОСПТ «Reline»		Бетон без защиты	
		B20W8	B20W10	B20W8	B20W10
Эффективный коэффициент диффузии, CO_2	ГОСТ 31383-2008	0	0	$0,46 \times 10^{-4}$	$0,46 \times 10^{-4}$
Проницаемость хлорид-ионов, % от массы цемента	ГОСТ 31383-2008	хлорид-ионы отсутствуют	хлорид-ионы отсутствуют	$\geq 0,45$	$\geq 0,45$
Морозостойкость, F_2	ГОСТ 31383-2008	не менее $F_2 200$	не менее $F_2 200$	$F_2 150$	$F_2 150$
Прочность сцепления системы с бетоном (адгезия), МПа	ГОСТ 28574-2014	0,5	0,5	-	-
Прочность покрытия при ударе, кг×см	ГОСТ 31974-2012	не менее 100	не менее 100	-	-
Эластичность покрытия при изгибе, мм	ГОСТ 53007-2008	не более 1,0	не более 1,0	-	-

Выводы по результатам исследований по основным показателям коррозионной стойкости, срока службы и применения для вторичной защиты свайных фундаментов

Результаты испытаний системы защитного покрытия на основе противопучинной термоусаживаемой оболочки ОСПТ «Reline» по основным показателям приведены в обобщенной таблице 9.

Полученные результаты испытаний системы защитного покрытия на основе противопучинной термоусаживаемой оболочки ОСПТ «Reline» позволяют сделать следующие выводы:

- система покрытия ОСПТ «Reline» по бетону является непроницаемой для углекислого газа;
- применение системы покрытия ОСПТ «Reline» полностью защищает бетон от проникновения в него хлорид-ионов из растворов;
- нанесение на поверхность бетона системы защитного покрытия ОСПТ «Reline» позволяет повысить марку бетона по морозостойкости с $F_2 150$ до не менее $F_2 200$;
- величина адгезии системы покрытия к бетону в исходном состоянии и после воздействия знакопеременных температур составляет 0,5 МПа;
- система покрытия ОСПТ «Reline» обладает высокими деформативными свойствами — после воздействия знакопеременных температур деформативные свойства системы покрытия не изменяются и сохраняются на исходном уровне;
- на основании полученных результатов установлено, что исследуемая термоусаживаемая оболочка ОСПТ «Reline»

является надежным гидроизоляционным покрытием. Скорость коррозии бетона, защищенного покрытием, в хлоридных и сульфатных средах равна нулю;

- в соответствии с СП 2813330.2017 исследуемое покрытие ОСПТ «Reline» может применяться для защиты бетона в слабо-, средне- и сильноагрессивных жидких и твердых средах, группа покрытий в зависимости от степени агрессивности среды — IV а, х, тр;
- на основании полученных результатов испытаний на проницаемость полимерного покрытия ОСПТ «Reline» сделан вывод об отсутствии разрушающих факторов для бетона, защищенного указанным покрытием. Срок службы покрытия, в том числе в сложных грунтовых условиях, составляет от 50 лет и более.

Общий вывод

Испытанное противопучинное полимерное термоусаживаемое покрытие ОСПТ «Reline» удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к работе покрытий в грунтах, рекомендовано к применению в проектной практике для защиты элементов металлических и железобетонных фундаментов и свай при бурозабивном и буропусковом способе погружения, а также для защиты стволов винтовых свай, в том числе и в сезонно-талом (сезонно-мерзлом) слое как эффективное противопучинное мероприятие для снижения касательных сил морозного пучения грунтов, в соответствии со сроками службы проектируемых сооружений.

Результаты проведенных испытаний образцов с системой защитного покрытия на основе ОСПТ «Reline» по существенным показателям

показателям качества коррозионной стойкости системы и сроку службы указывают на эффективность ее применения как в качестве противопучинного материала, так и для вторичной защиты свайных фундаментов.

Литература

1. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М., 2012. 123 с.
2. СП 24.13330.2011 Свод правил. Свайные фундаменты. М., 2011. 90 с.
3. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. М.: Стройиздат, 1986. 72 с.
4. СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии. М., 2017. 118 с.
5. ГОСТ 31383-2008 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. М.: Стандартинформ, 2008. 38 с.
6. ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости. М.: Стандартинформ, 2014. 23 с.
7. ГОСТ 31974-2012 Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности покрытия при изгибе вокруг цилиндрического стержня. М.: Стандартинформ, 2014. 14 с.
8. СТО 36554501-054-2017 Проектирование и устройство свайных фундаментов с противопучинной оболочкой ОСПТ «Reline». АО «НИЦ «Строительство», 2017.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Левин Артемий Дмитриевич, генеральный директор ЗАО «УЗПТ «Маяк», юридический факультет СПбГЭУ, кафедра гражданского права, Озерск, Россия
Для контактов: levin@polymerpro.ru

Алявдин Дмитрий Вячеславович, советник генерального директора ЗАО «УЗПТ «Маяк», МНИРТИ, отделение № 1, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий и городов», Озерск, Россия
Для контактов: uzpt@polymerpro.ru

Беляков Владимир Михайлович, технический директор ЗАО «УЗПТ «Маяк», МНИРТИ, отделение № 1, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий и городов», Озерск, Россия
Для контактов: ya.polymer@yandex.ru