

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
“АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ”
(ФГБУ “АНИИ”)



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ “АНИИ”
д-р геогр. наук, профессор

И.Е.Фролов

12 апреля 2012 г.

**Заключение по антиобледенительным и криофобным свойствам полимерных покрытий
производства ООО «Русил» под торговым наименованием «Slider»**

по результатам экспериментальной работы
«Исследование свойств полимерных покрытий в условиях ледообразования и степени влияния
полимерных покрытий на процессы обледенения»

Зам. директора по научной работе,
канд. физ.-мат. наук

А.И.Данилов

Научный руководитель темы,
зав.отделом, ст. науч. сотр., канд. техн. наук

В.А.Лихоманов


Санкт-Петербург 2012

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Инж. 1 кат.

 В.К.Грачев

Старший научный сотрудник

 Н.А.Крупина

Ведущий инженер

 П.В.Максимова

Научный сотрудник

 А.В.Чернов

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Методика испытаний	5
Используемое оборудование.....	8
Результаты испытаний.....	9
Заключение по результатам испытаний.....	14
Список использованных источников	15

Введение

Работа выполнена по договору № 2/25-2012-20 с ООО «Русил» в соответствии с техническим заданием Заказчика.

Работа проведена с целью оценки влияния полимерных покрытий на процесс обледенения и параметры намерзающего льда.

В отчете представлены результаты экспериментального исследования обледенения одного полимерного покрытия и дано заключение о степени влияния покрытия на параметры обледенения.

Экспериментальное исследование по намораживанию льда на металлических образцах (мишенях), предоставленных Заказчиком, включало:

- обеспечение температурного режима процесса намораживания;
- измерение массы льда в процессе намораживания;
- определение объема и плотности льда, намерзшего на мишенях;
- определение адгезии намерзшего льда.

Эксперименты проводились на шести мишенях, включая три мишени с нанесенным полимерным покрытием и три контрольные мишени без покрытия.

Методика испытаний

Испытания проводились в ледовом опытовом бассейне ФГБУ «АНИИ», в котором на протяжении всего периода экспериментальных работ поддерживалась постоянная температура воздуха $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Испытываемые образцы, предоставленные Заказчиком, представляли собой шесть круглых металлических мишеней диаметром 100 мм: три мишени без покрытия и три мишени с нанесенным в один слой покрытием толщиной $50\text{ мкм} \pm 5$. В ходе экспериментов образцы помещались в испытательный стенд и подвергались воздействию переохлажденных капель воды. Испытательный стенд представлял собой прямоугольную металлическую трубу сечением 40×111 см. С одного конца сверху по центру трубы был установлен динамометр ДОС-3-0.1И для измерения массы льда в процессе намораживания. К нему на металлическом штыре внутри трубы крепилась мишень. Динамометр подключался к ноутбуку, на котором было установлено программное обеспечение, позволяющее регистрировать показания динамометра в режиме реального времени с частотой 10 Гц.

С другого конца трубы по центру на штативе устанавливался краскопульт с емкостью для воды, который подключался к воздушному компрессору. С помощью этой установки на мишень распыскивалась вода комнатной температуры объемом 1,5 л. Положением насадки на краскопульте варьировались интенсивность распыления воды и размер капель. В процессе отработки методики испытаний было выбрано 2 положения насадки, которые обеспечивали получение двух видов обледенения, в соответствии с существующей классификацией: гололеда и зернистой изморози (см. Панов, 1976; Панов и др., 2009).

В натуральных условиях гололед, различные модификации которого имеют плотность от $0,6$ до $0,9\text{ кг/м}^3$, формируется при выпадении переохлажденных жидких осадков, а также за счет наиболее крупных капель облачности либо тумана при температуре воздуха от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этот вид атмосферного обледенения имеет однородную структуру и наиболее устойчив к механическим воздействиям. Зернистая изморозь, имеющая среднюю плотность $0,1\text{ кг/м}^3$, по сравнению с гололедом, менее однородна по структуре. Она формируется из капель облачности либо тумана при температурах от $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ввиду того, что эти виды гололедно-изморозевых отложений достаточно часто встречаются в природе, Исполнителем было принято решение выполнить эксперименты и получить оценки обледенения и адгезии как для гололеда, так и для зернистой изморози.

До проведения экспериментов была определена масса каждой мишени. Непосредственно перед экспериментом мишени выдерживались при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ на протяжении

длительного времени, с тем, чтобы температура мишеней не превышала температуру окружающего воздуха.

Каждый эксперимент по намораживанию льда длился около 30 минут. После окончания испытания, мишень вместе с намерзшим льдом взвешивалась на электронных весах для определения массы намерзшего льда.

К сожалению, несмотря на подготовленное оборудование, динамику изменения массы намерзшего льда фиксировать не удалось. Это связано с тем, что имеющиеся в распоряжении Исполнителя динамометры, как оказалось, не предназначены для выполнения продолжительных непрерывных измерений, т.к. с течением времени под нагрузкой происходит смещение нулевого значения. Поэтому невозможно было оценить скорость накопления льда на мишени.

Плотность намерзшего льда определялась следующим образом. Сначала выпиливался небольшой кусок льда с образца, затем его взвешивали для получения массы m , после этого лед помещался в мензурку с керосином. Объем вытесненной воды равнялся объему V этого куска льда. Далее получили плотность льда ρ по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Для измерения плотности было заморожено два отдельных образца с зернистой изморозью и гололедом, так как образцы, участвовавшие в экспериментах, было невозможно использовать для этих целей, чтобы не нарушить целостность намерзшего льда.

Для определения адгезии, мишень с замороженным льдом примораживалась к ёмкости с заранее подготовленным монолитным льдом, а далее с помощью специального оборудования к образцу прикладывалось вертикальное усилие, с целью отделить мишень от намерзшего льда. Для обеспечения наилучшего смерзания льда мишени с монолитным льдом, непосредственно перед укладкой мишени на лед поверхность монолитного льда покрывалась тонким слоем воды, а затем примораживание продолжалось в течение около 20 часов при температуре -10 °С. После этого с помощью гидравлической станции, соединенной с гидроцилиндром, образец отрывался вертикально вверх, при этом с помощью динамометра ДОС-3-2И измерялось усилие F . Испытательная установка показана на рисунке 3. Значение адгезии определялось по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (2)$$

где S – площадь поверхности мишени.

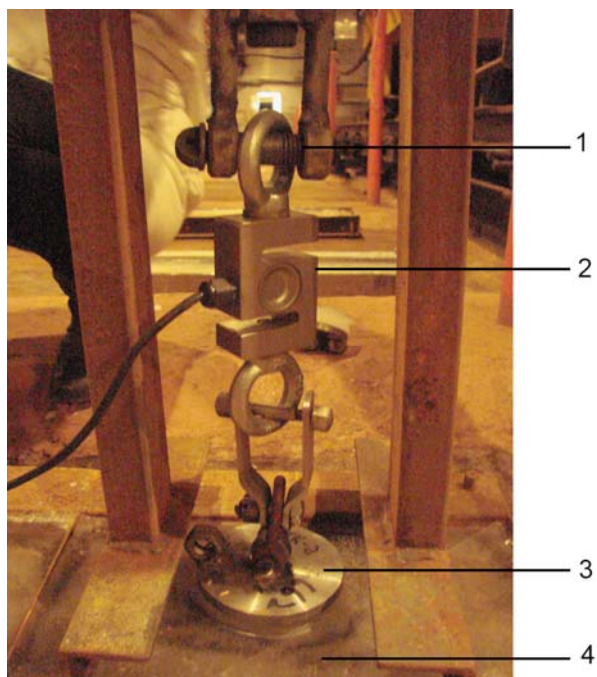


Рисунок 3 – Установка для определения адгезии льда: 1 – устройство, предающее усилие от гидростанции; 2 – динамометр; 3 – мишень с замороженным льдом; 4 – монолитный лед

После окончания испытания образец очищался ото льда, если это было необходимо, и снова помещался в бассейн для охлаждения.

Используемое оборудование

1. Электронные весы ТВ-6К-МВ «ПетВес», наибольший предел взвешивания (НПВ) – 6 кг, наименьший предел взвешивания (НмПВ) – 20 г, точность измерений – 1 г, свидетельство о поверке от 03.04.12.

2. Динамометр ДОС-3-2И «ПетВес», наибольший предел измерений (НПИ) – 2 кН, наименьший предел измерений (НмПИ), точность измерений – 0,0005 кН, свидетельство о поверке от 28.03.12.

3. Динамометр ДОС-3-0.1И «ПетВес», НПИ – 0,1 кН, НмПИ – 0,01 кН, точность измерений – 0,00002 кН, проверен по образцовому динамометру ДОС-3-2И.

4. Электронный термометр GTH175/МО фирмы GREISINGER ELECTRONIC (Германия), диапазон измеряемых температур от $-199,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+199,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, погрешность измерений – не более $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Воздушный компрессор «МЕС-AIR», рабочее давление 6 бар, производительность 60 л/мин.

6. Гидравлическая станция с потребляемой мощностью 1,1 кВт, обеспечивающая номинальную подачу масла до 0,8 л/мин под давлением до 600 бар.

Результаты испытаний

В соответствии с представленной в отчете методикой, были проведены серии испытаний для достижения поставленных целей. Условия проведения испытаний во всех экспериментах были идентичными. Всего было проведено 28 испытаний. Каждая из мишеней испытывалась не менее 4 раз. Однако, некоторые испытания по техническим причинам были признаны неудавшимися и были исключены из дальнейшего анализа.

На рисунке 1 показан внешний вид мишеней, на которых наморожены два типа льда: гололед (слева) и зернистая изморозь (справа).



Рисунок 1 – Образец, на котором наморожен гололед (слева) и зернистая изморозь (справа)

Измерения плотности намороженного льда показали, что плотность гололеда составила $0,9 \text{ г/см}^3$, а плотность зернистой изморози – $0,46 \text{ г/см}^3$. Эти значения использовались при оценке объема льда, намерзшего на мишени. Несмотря, на то, что плотность намороженного льда, который Исполнитель обозначил термином «зернистая изморозь» несколько больше значения, указанного в определении зернистой изморози, по структуре и внешнему виду этот лед соответствует именно такому типу обледенения.

В таблицах 1 и 2 представлены результаты испытаний для двух типов льда: зернистая изморозь и гололед.

Обобщая данные таблиц можно сказать, что средняя масса гололеда, намерзшего на мишени за одно испытание, составила 80,6 г для мишени без покрытия и 64,5 г для мишени с покрытием. Для зернистой изморози эти значения составили 55,3 г для мишени без покрытия и 61,5 г для мишени с покрытием.

Несмотря на то, что во всех экспериментах поддерживались одинаковые условия: температура воздуха, температура воды, расход подаваемой воды, продолжительность намораживания, масса и объем намерзшего льда существенно варьировались от опыта к опыту (см. рисунок 2). Поэтому сделать однозначный вывод о влиянии покрытия на объем намерзшего льда невозможно. Как уже упоминалось выше, из-за невозможности непрерывного

продолжительного использования динамометра ДОС-3-0.1И, измерение массы льда в процессе намораживания не велось.

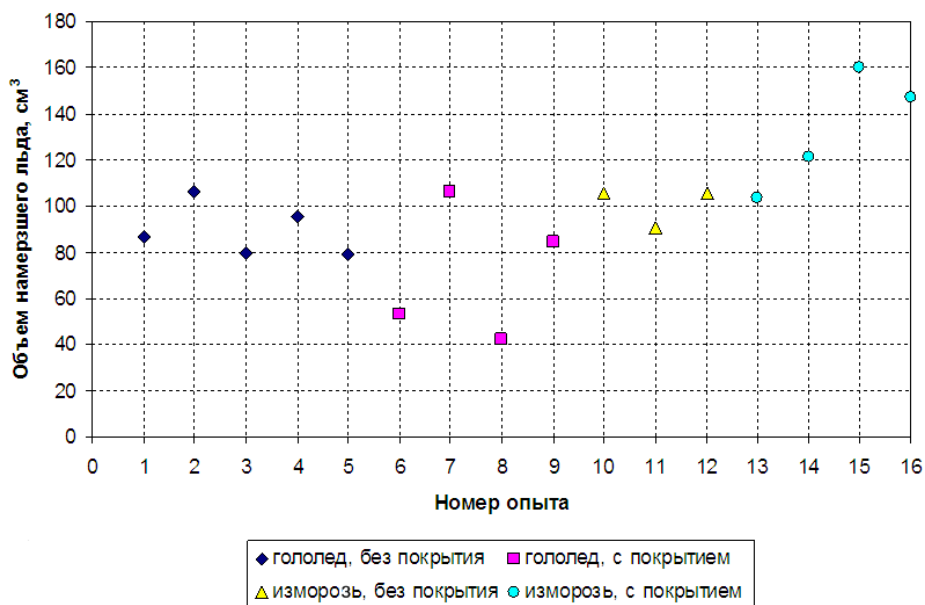


Рисунок 2 – Объем льда, намерзшего на мишенях

При определении адгезии льда возникали 3 типа ситуаций:

1. Намороженный лед полностью оторвался от мишени (см. рисунок 6). Такой результат наблюдался только для мишеней с покрытием. В этом случае эксперимент был признан удачным. В таблицах 1 и 2 в графе «Примечания» это обозначено «оторвался».

2. Намороженный лед не оторвался от мишени, а оторвался вместе с монолитным льдом (см. рисунок 5). Такой результат наблюдался практически во всех случаях для мишеней без покрытия. В этом случае эксперимент был признан неудачным. В таблицах 1 и 2 в графе «Примечания» это обозначено «не оторвался».

3. Намороженный лед частично оторвался от мишени (см. рисунок 4). В этом случае эксперимент был признан неудачным. В таблицах 1 и 2 в графе «Примечания» это обозначено «частично оторвался».

По результатам определения адгезии льда среднее значение для мишени с покрытием в случае гололеда составило 11,67 кПа, то же значение в случае зернистой изморози – 18,17 кПа. Для мишеней без покрытия точное значение адгезии определить не удалось, однако можно сказать, что в среднем оно больше 92,52 кПа в случае гололеда, и больше 49,63 кПа в случае зернистой изморози. По данным результатам можно сделать вывод, что полимерное покрытие существенно уменьшает адгезионные свойства металла.

Таблица 1 - Параметры, измеренные во время испытаний для гололеда

№ цикла намораживани я/ отрыва	№ испытания	Температура воздуха, °С	Температура подаваемой воды, °С	Расход воды, л	Продолжительность намораживания, мин	Масса льда, намерзшего на мишени, г	Объем льда, намерзшего на мишени, см ³	Адгезия/когезия льда, кПа	Примечания
	без покрытия								
2/2	1	-10,4	13,9	1,5	32	78	87	89,0	частично оторвался не оторвался не оторвался не оторвался не оторвался
2/2	2	-10,4	13,3	1,5	30	96	107	80,3	
2/1	3	-10,2	16,0	1,5	29	72	80	85,4	
4/4	4	-10,9	18,0	1,4	28	86	96	115,4	
6/6	5	-10,8	18,3	1,4	25	71	79	81,5	
	с покрытием								
1/1	6	-9,9	11,0	1,5	30	48	53	10,5	частично оторвался оторвался оторвался оторвался
1/1	7	-10,7	13,3	1,5	30	96	107	11,2	
3/3	8	-10,1	17,8	1,4	28	38	42	9,9	
3/2	9	-10,0	20,0	1,5	26	76	84	15,1	

Таблица 2 - Параметры, измеренные во время испытаний для зернистой изморози

№ цикла намораживани я/ отрыва	№ испытания	Температура воздуха, °С	Температура подаваемой воды, °С	Расход воды, л	Продолжительность намораживания, мин	Масса льда, намерзшего на мишени, г	Объем льда, намерзшего на мишени, см ³	Адгезия/когезия льда, кПа	Примечания
	без покрытия								
2/2	1	-10,4	17	1,5	30	58	105	75,1	частично оторвался не оторвался не оторвался
4/4	2	-10,7	17,3	1,5	31	50	91	23,1	
6/6	3	-10,8	17,9	1,5	38	58	105	50,7	
	с покрытием								
2/2	4	-9,9	13,8	1,4	24	48	104	10,4	оторвался оторвался оторвался частично оторвался
2/2	5	-9,2	17,1	1,5	30	56	121	20,0	
4/4	6	-10,1	17	1,5	30	74	160	23,0	
4/4	7	-9,2	17,2	1,5	35	68	147	19,3	

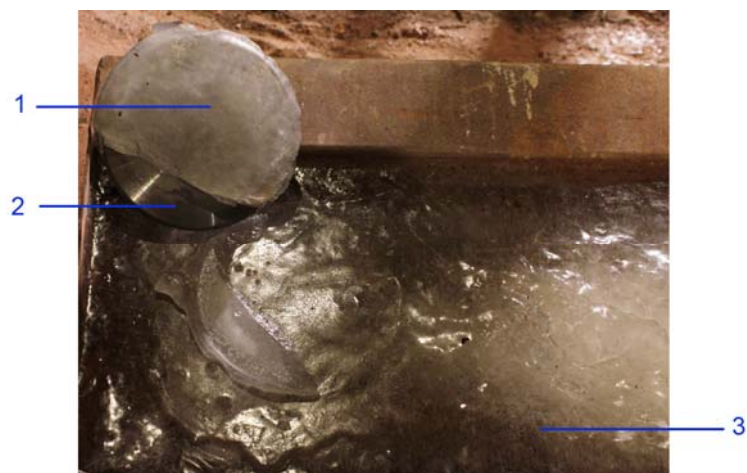


Рисунок 4 – Образец без покрытия (гололед): 1 – лед, оставшийся на мишени; 2 – участок мишени, на котором произошел отрыв замороженного льда; 3 – монолитный лед



Рисунок 5 – Образец без покрытия (гололед): 1 – мишень с замороженным льдом и куском оторвавшегося монолитного льда; 2 – монолитный лед



Рисунок 6 – Образец с покрытием (гололед): 1 – мишень, полностью оторвавшаяся от замороженного льда; 2 – монолитный лед; 3 – лед, замороженный на мишень и оторванный в ходе испытания по определению адгезии

После окончания всех испытаний был проведен визуальный осмотр состояния покрытия на образцах, в ходе которого на поверхности мишени наблюдалось отслаивание покрытия. В таблице 3 приведена площадь поврежденного покрытия от общей площади поверхности мишени. Результаты визуального осмотра приводятся с целью сохранения методологической целостности настоящего отчета.

Таблица 3 – Результаты визуального осмотра состояния качества покрытия после проведенных экспериментов.

№ мишени	количество циклов намораживания/отрыва	Площадь поврежденного покрытия от общей площади поверхности мишени
1	5/4	0.88 см ² (1.121 %)
2	4/4	1.03 см ² (1.312 %)
3	4/3	0.97 см ² (1.236%)

Для оценки стойкости и физико-механических качеств покрытия необходимо проведение дополнительных комплексных испытаний по ГОСТ 15140-78, ГОСТ 20811-75 или DIN EN 13 300.

Заключение по результатам испытаний

В результате проведенных испытаний по намораживанию брызгового льда и по определению адгезии для образцов с полимерным покрытием, были измерены параметры, необходимые для исследования антиобледенительных и криофобных свойств полимерных покрытий.

На основании приведенных результатов испытаний, могут быть сделаны следующие выводы:

1. В результате экспериментов по намораживанию льда существенного влияния наличия полимерного покрытия на массу намерзшего льда не выявлено. Есть основания полагать, что покрытие влияет на начальный этап намерзания. Для оценки скорости намерзания на начальном этапе необходимо использование измерительной техники с большей разрешающей способностью, по сравнению с использованной в данных испытаниях.

2. В ходе испытаний не удалось установить контрольное значение адгезии льда к металлу без покрытия. Адгезионные связи между льдом и металлом превосходили когезионные связи льда.

3. По результатам измерения адгезии/когезии можно сказать, что наличие полимерного покрытия существенно уменьшает адгезионные свойства льда. Среднее значение адгезии/когезии для мишеней с покрытием в случае гололеда составило 11,67 кПа, то же значение в случае зернистой изморози 18,17 кПа. Среднее значение адгезии/когезии льда для мишеней без покрытия в среднем больше 92,52 кПа в случае гололеда, и больше 49,63 кПа в случае зернистой изморози.

4. После всех испытаний полимерное покрытие на образцах имеет видимые повреждения, что может влиять на его антиобледенительные и криофобные свойства в худшую сторону.

Список использованных источников

- 1 Панов В.В., Лихоманов В.А., Глухов В.Г., Ильчук А.Н., Крупина Н.А. Обледенение надводных инженерных сооружений в прибрежной зоне Печорского моря //Труды ААНИИ. 2009. Т.450. С.166–190.
- 2 Панов В.В. Обледенение судов //Труды ААНИИ. 1976. Т. 334. 268 с.