

НАДЕЖНОСТЬ ОСНОВАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ

УДК 625.711

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2016-3(86-94)

**ОПЫТ АРМИРОВАНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА НА ПЕРЕПРАВАХ
С ПОМОЩЬЮ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

В.В. Сиротюк, О.В. Якименко, Г.М. Левашов, А.А. Захаренко

*ФГБОУ ВПО “СибАДИ”, 644080, Омск, просп. Мира, 5, Россия;
sirvv@yandex.ru, olgayakimenko@yandex.ru, dic.sibadi@gmail.com, azacom@inbox.ru*

Проанализирован опыт применения различных геосинтетических материалов на опытных участках и ледовых переправах. Обозначены основные направления дальнейших исследований.

Ледовая переправа, армирование, геосинтетический материал

REINFORCEMENT OF ICE COVER WITH GEOSYNTHETICS MATERIALS

V.V. Sirotyuk, O.V. Yakimenko, G.M. Levashov, A.A. Zakharenko

*FSBEI HVT “SibADI”, 644080, Omsk, Mira ave., 5, Russia;
sirvv@yandex.ru, olgayakimenko@yandex.ru, dic.sibadi@gmail.com, azacom@inbox.ru*

The practice of application of various geosynthetic materials at the experimental sites and ice crossings has been analysed. The main tendencies of further researches are determined.

Ice crossing, reinforcement, geosynthetic materials

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущей работе [Якименко, Сиротюк, 2014] дан анализ актуальности научного направления, представленного в настоящей статье, особенно для северных регионов России, Скандинавии, Канады, Аляски. В ней приведены краткие результаты исследований и дана ссылка на работу [Якименко, 2011], в которой подробно рассмотрены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния армированного льда. Исследования авторов (начаты в 2006 г.) и анализ публикаций [Шавлов, 1997] показали, что физическое моделирование и испытание ледяных образцов в лаборатории не всегда дают достоверные результаты для назначения эффективных конструктивно-технологических решений на реальных ледовых переправах. Поэтому значительная часть экспериментальных исследований была перенесена на опытные участки.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ
НА ОПЫТНЫХ УЧАСТКАХ**

Первая проверка обоснованности и достоверности теоретических и экспериментальных исследований была осуществлена путем строительства и испытаний опытных участков на одном из водо-

емов в Омской области в 2007–2008 и 2008–2009 гг. Для армирования льда использовали три вида геосинтетических материалов (ГМ) (табл. 1).

Были апробированы два конструктивно-технологических решения: вмораживание армирующих материалов сверху (рис. 1) и снизу ледяной плиты (рис. 2, 3). Более подробное описание технологии “верхнего” и “нижнего” армирования приведено в [Якименко, 2011].

Наблюдения показали, что при отрицательной температуре воздуха через два дня после укладки ГМ поверх льда или погружения его под лед армирующий материал вмерз в ледяную плиту как снизу, так и сверху (рис. 4).

Обследование опытного участка проводили через месяц после армирования льда. Осмотр показал, что ледяная плита была покрыта трещинами (рис. 5), за исключением армированных участков, на которых во льду имелись только редкие волосяные безззорные трещины.

Для испытаний ледового покрова использовали грузовые автомобили (ЗИЛ-585, пожарную машину АЦП 6/3-40 на базе шасси Урал-5557), специализированные колесные и гусеничные машины (рис. 6). Вес машин составлял от 10 до 42 т.

До начала нагружения были определены высотные отметки поверхности льда в каждой кон-

трольной точке. Для измерения общего и упругого прогибов ледовой поверхности использовали длиннобазовый прогибомер. Размер чаши прогибов при нагружении уточняли путем контроля высотных отметок через 1 м высокоточным нивелиром с рейкой.

Результаты испытаний участков с расположением армирующих прослоек в нижней и верхней частях ледового покрова приведены на рис. 7. Испытания показали, что на всех участках, армированных геосинтетическими материалами, несущая способность ледового покрова увеличилась.

При “верхнем” армировании прогибы ледяной плиты уменьшились на 25–30 %. Увеличение несущей способности ледового покрова, армированного в верхней части, объясняется повышением трещиностойкости ледяной плиты, что способствует улучшению распределения возникающих напряжений.

Наибольшее увеличение несущей способности плиты (до 70 %) было достигнуто на участке с “нижним” армированием стеклосеткой. На обоих участках, армированных георешеткой Поли-40 и

Таблица 1. Свойства геосинтетических материалов для опытного строительства

Показатель	Плоская георешетка		Стеклосетка СТ-100 с геотекстилем (геокомпозит)
	Поли-40 (геокомпозит)	Поли-20	
Тип сырья	Полипропилен	Полипропилен	Стекловолокно и полипропилен
Прочность при растяжении в продольном направлении, кН/м	40.5	20.6	106.5
Относительная деформация при разрыве, %	10	10	4
Размер ячейки, мм	33/33	47/47/47	25/25
Ширина рулона, м	4.0	4.0	2.4
Длина рулона, м	50	30	50

Поли-20, отмечено увеличение несущей способности от 30 до 35 % по сравнению с неармированным ледяным покровом той же толщины.

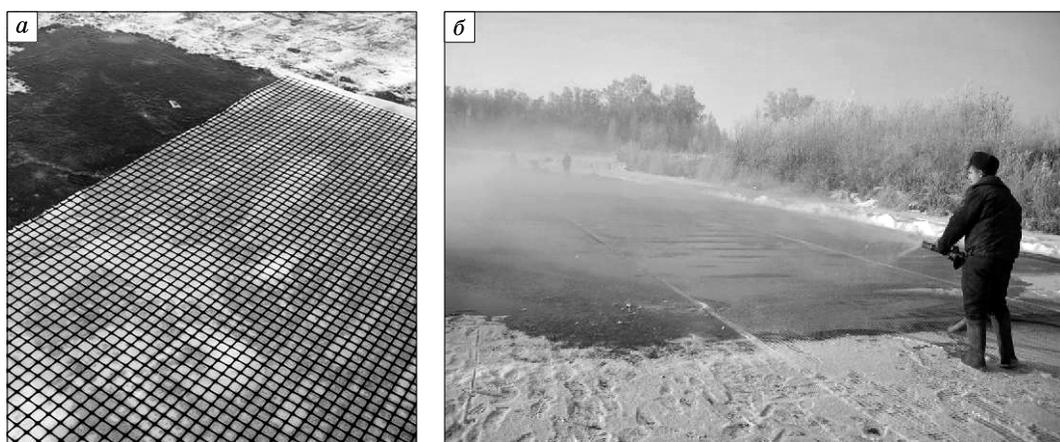


Рис. 1. Армирование участка ледовой переправы:

а – укладка геокомпозита на лед; б – поливка участка водой для намораживания льда (“верхнее” армирование).

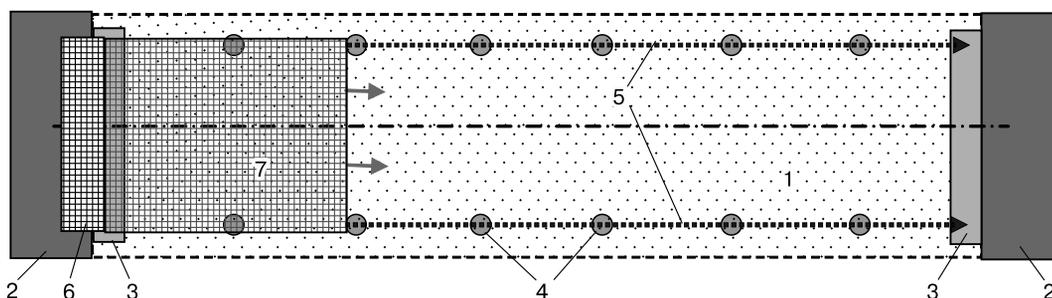


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая способ “нижнего” армирования ледового покрова:

1 – естественный ледовый покров; 2 – берега; 3 – “маины” во льду для подачи и приема армирующего полотна; 4 – лунки для протягивания тросов подо льдом; 5 – тросы; 6 – рулон геосинтетического материала; 7 – полотно геосинтетики, протягиваемое тросами подо льдом.

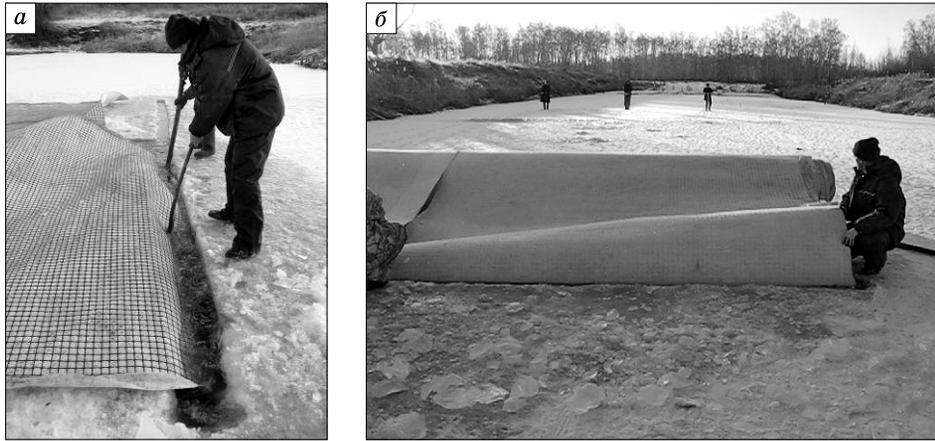


Рис. 3. Погружение геокompозита в “майну” (а) и протаскивание его подо льдом капроновыми тросами (б) (“нижнее” армирование).

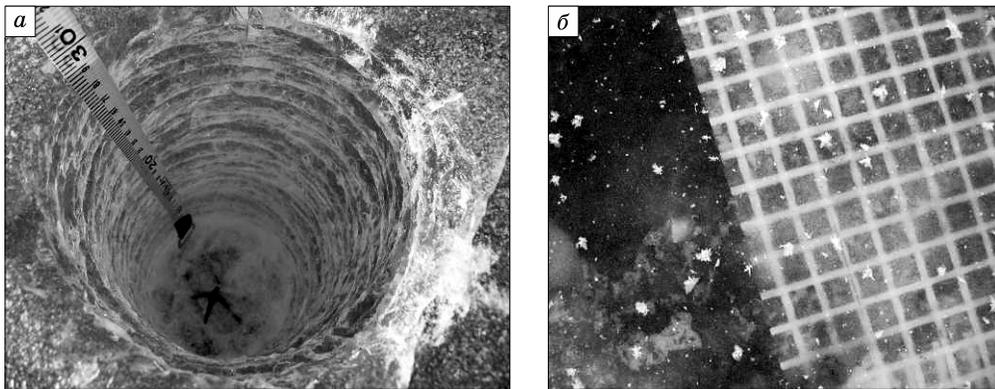


Рис. 4. Армирующий геосинтетический материал, вмёрзший в лёд снизу (а) и сверху (б).

Наиболее эффективно георешетки на основе полимеров проявили себя под более тяжелой нагрузкой, вызывающей значительные осадки и деформации ледового покрова, что подтверждает тезис об увеличении безопасности армированных ледовых переправ за счет исключения резких проломов.

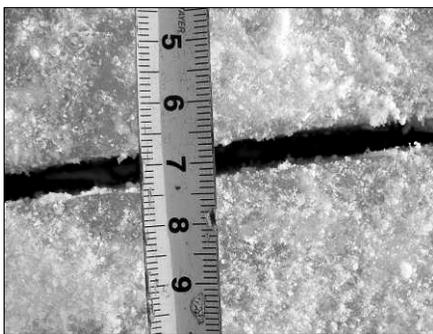


Рис. 5. Трещина в неармированной ледяной плите.

Строительство и испытания опытных участков продолжались два года. При этом все геосинтетические материалы, применяемые в первом опытном строительстве, использовались повторно, на следующий год.

Перед повторным использованием ГМ была определена их прочность в лаборатории. Установлено, что сохранность прочностных свойств георешеток из полипропилена после механических воздействий и длительного нахождения в воде и во льду несколько выше, чем у геосетки из стекловолокна. Это объясняется еще и тем, что по нашей просьбе для испытаний была изготовлена стеклосетка без специальных пропиток органическими составами (например, битумом), чтобы улучшить ее гидрофильность и смерзание со льдом.

В 2011 г. сотрудниками ОАО “Мезенское дорожное управление” проведен эксперимент по использованию геосетки при устройстве ледовой переправы через р. Пеза в Архангельской области [Мезенское... управление, 2011]. Армирование



Рис. 6. Испытание опытного участка колесной (а-в) и гусеничной (г-е) техникой.

верхней части ледового покрова осуществлялось по разработанной и опубликованной авторами технологии (рис. 8). Для армирования применялась стеклосетка ГЕО СТ 50/50 производства компании «Миаком».

По результатам эксперимента наши коллеги констатировали следующее.

1. До укладки геосетки ледяной покров был покрыт раскрытыми трещинами с шириной раскрытия до 4–5 см (рис. 9).

2. Через 1.5 месяца обследование экспериментального участка показало лишь наличие сетки мелких нераскрытых трещин (рис. 10).

3. Как следствие сплошного ледового покрова без раскрытых трещин можно отметить повышение несущей способности ледовой переправы, армированной геосинтетическими материалами.

В 2014 г. авторам удалось заинтересовать руководителей Министерства развития транспортного комплекса Омской области и добиться содействия в строительстве опытного участка с армиро-

ванием ледяного покрова на крупной судоходной реке Иртыш.

Для строительства опытного участка геосинтетические материалы бесплатно предоставили фирмы ЗАО «Техполимер» (г. Красноярск) и ООО «Дорстройматериалы» (г. Владимир). Свой-

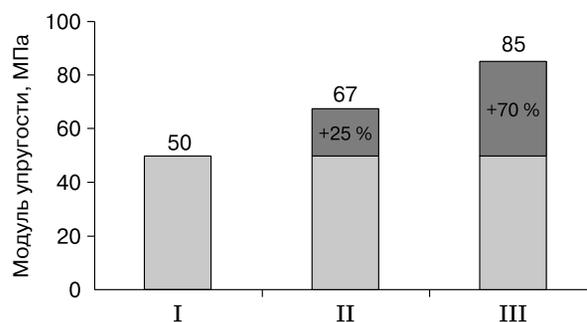


Рис. 7. Результаты испытания опытных участков:

I – неармированный, II – с армированием верхнего слоя, III – с армированием нижнего слоя.

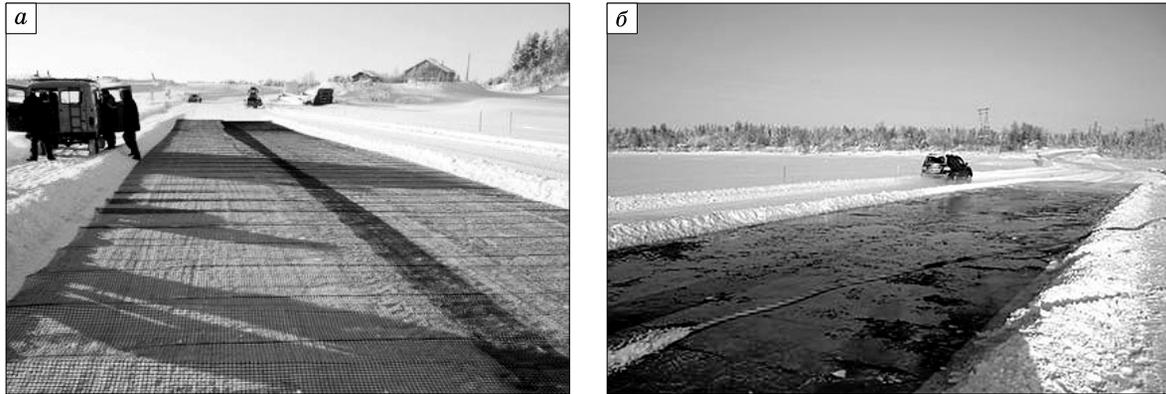


Рис. 8. Распределение сетки на льду (а) и заливка ее водой (б).

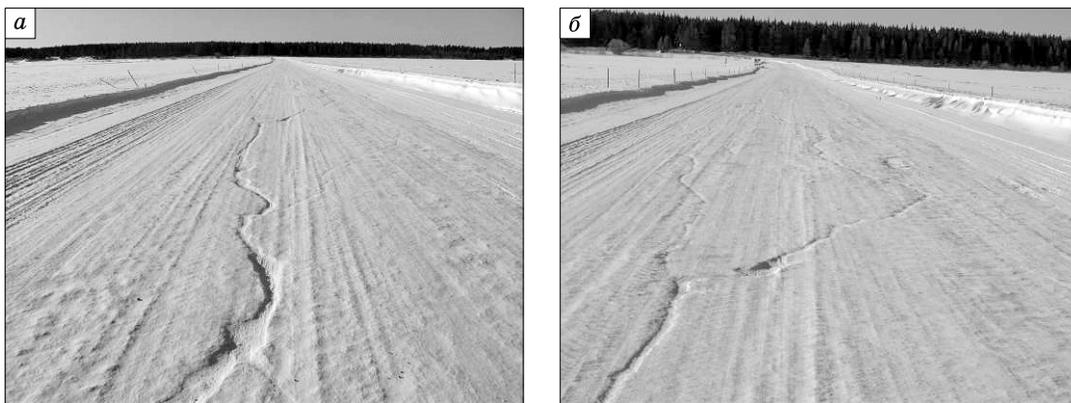


Рис. 9. Температурные трещины на неармированном участке:

а – верховая ветка переправы; б – низовая ветка переправы.

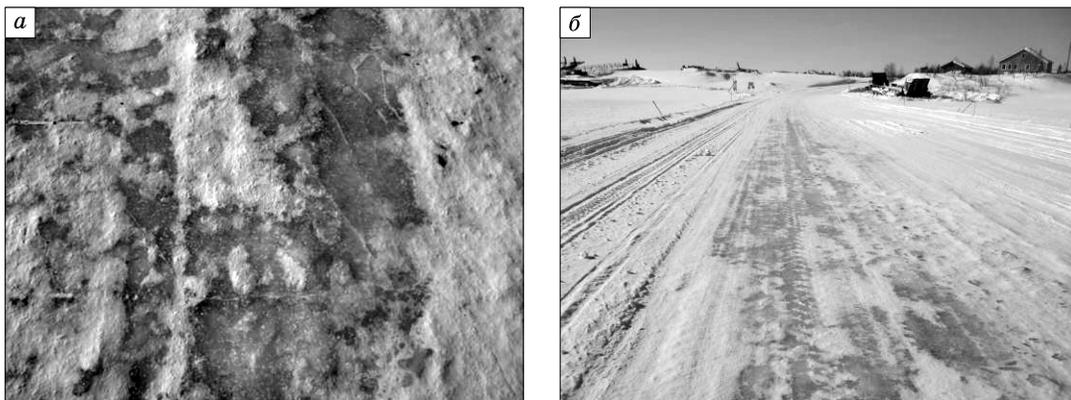


Рис. 10. Сетка мелких нераскрывшихся трещин на армированном участке:

а – верховая ветка переправы; б – низовая ветка переправы.

ства геосинтетических материалов, используемых на опытном участке, приведены в табл. 2, 3.

Впервые была армирована не только ледяная плита, но и наиболее слабое место на любой переправе – съезд с берега на лед. Для армирования этого участка использовалась георешетка РД-60

50 × 50 (с металлическими струнами). Поверх ледового покрова укладывали стеклосетку К 70/50/240, обладающую повышенными гидрофильными свойствами и хорошо смерзающуюся со льдом. Стеклосетку прикрепляли к береговой георешетке, служащей также анкером для гаран-

Таблица 2. Свойства геокомпозита марки АРМДОР®-К 70/50/240 (стекловолокно) без пропитки битумом (ООО “Дорстройматериалы”)

Показатель	Значение
Поверхностная плотность, г/м ²	450 ± 50
Прочность при растяжении, кН/м (вдоль/поперек)	≥100/100
Относительное удлинение при разрыве, % (вдоль/поперек)	≤3/3
Стойкость к агрессивным средам, %	95
Устойчивость к ультрафиолетовому излучению, %	95
Размер ячеек, мм	50 × 50
Ширина рулона, см	240

тированного извлечения стеклосетки из льда (рис. 11).

Не все удалось реализовать должным образом. Основная причина – теплая погода (от 0 до –3 °С), из-за которой вмораживание геосетки в лед на нужную глубину происходило очень медленно.

Открытие переправы осуществлялось 25 декабря 2014 г. (температура воздуха была около 0 °С), средняя толщина льда 25 см. Поэтому переправа пропускала автотранспорт весом до 2 т. Во время открытия переправы было обнаружено, что стеклосетка хорошо вморожена в лед, а береговая часть, засыпанная снегом и политая водой, не промерзла за двое суток и георешетка местами была видна в колее (рис. 12).

Испытания опытного участка производились дважды – 16 января и 4 марта 2015 г. При первом испытании выполняли разметку, взвешивание грузового автомобиля (5 т), измерение толщины льда (40 см). Затем определяли величину изменения высотных отметок поверхности льда с помощью высокоточного нивелира и рейки: до заезда на точку грузового автомобиля, после заезда и ста-

Таблица 3. Свойства георешетки дорожной армированной РД-60 50 × 50 (ЗАО “Техполимер”)

Показатель	Значение
Количество металлических жил, шт.	6
Прочность при растяжении, кН/м (вдоль/поперек)	≥60/60
Относительное удлинение при разрыве, % (вдоль/поперек)	≤3/3
Повреждаемость при укладке, %	≤2
Гибкость (по ГОСТ Р 55033-2012) при –20 °С при –60 °С	Отсутствие трещин и расслоений на лицевой стороне материала
Стойкость к многократному замораживанию и оттаиванию (морозостойкость), %	≥99
Коэффициент армирования, %	58
Коэффициент уменьшения общей осадки, %	38
Условный модуль деформации, кН/м	≥5100
Размеры рулона:	
ширина, м	6
длина, м	50

билизации отметки, после разгрузки льда в контролируемой точке (рис. 13).

Осмотр и испытание показали, что имеются существенные различия на армированном и неармированных участках ледовой плиты.

На неармированных участках (рис. 14): колебания уровня воды в Иртыше и низкие температуры привели к образованию трещин в ледяном покрове; на некоторых участках через сквозные широкие трещины на лед выступила вода; наибольшие проблемы возникли в местах сопряжения ледового покрова с берегом – широкие трещины с выходом воды на лед.

На армированном участке: сопряжение ледового покрова с берегом не вызвало проблем; во льду имелись только тонкие волосяные трещины; воды на льду не было.



Рис. 11. Укладка георешетки на стыке ледовой плиты с берегом (а) и стыковка стеклосетки и георешетки (б).

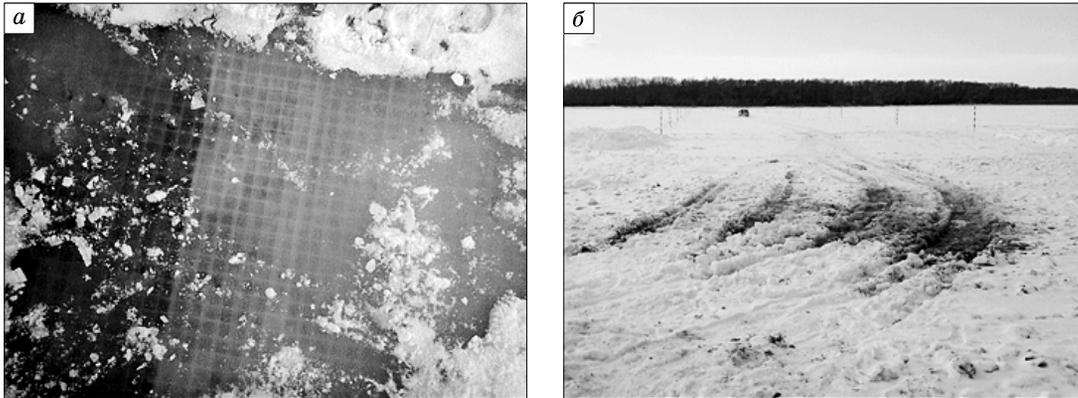


Рис. 12. Состояние армированных участков во время открытия переправы:

a – стеклосетка, уложенная непосредственно на переправе; *б* – незамерзшая армированная часть съезда.



Рис. 13. Испытания – измерение упругого прогиба ледяной плиты до нагружения (*a*), под действием нагрузки (*б*).

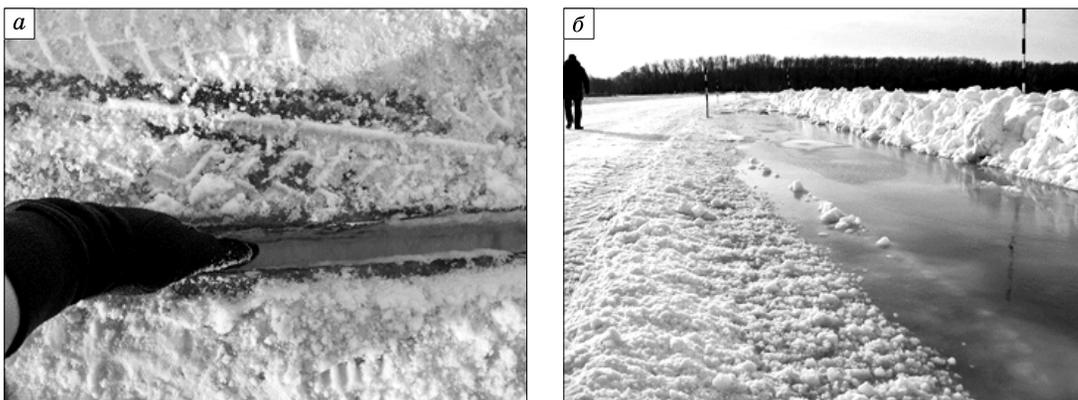


Рис. 14. Характерные проблемы на неармированной части ледового покрова:

a – раскрытие несквозной трещины; *б* – образование сквозных трещин с выходом воды на поверхность ледовой переправы.

Испытания под нагрузкой (измерение чаши прогибов ледяной плиты от груженого автомобиля) показали, что несущая способность армированного участка ледовой переправы на 30 % больше, чем у неармированного. При этом прогиб ар-

мированного льда восстанавливался быстрее, чем неармированного.

Методика работ при втором испытании не отличалась от первого обследования, за исключением веса грузового автомобиля, который увеличили

до 10 т. Толщина льда на переправе к этому времени возросла до 90 см.

Измерения показали, что на армированном участке прогибы меньше всего на 10 % по сравнению с неармированными. То есть с увеличением толщины льда с 40 см (при первом испытании) до 90 см эффективность геосетки, замороженной в верхнюю часть плиты всего на 5 см, снизилась, что вполне логично.

Как и при первом испытании, на армированном участке сопряжение ледяного покрова с берегом не вызывало проблем, во льду имелись только тонкие волосяные (безззорные) трещины, вода на льду отсутствовала.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ВЕСНОЙ

Этот процесс обычно вызывает наибольшее количество вопросов и сомнений у работников дорожной отрасли, экологов, сотрудников МЧС.

Первый опыт извлечения геосетки и георешеток изо льда был получен авторами еще на первых опытных участках весной 2008 и 2009 гг. и далее подтвержден в 2012 и 2015 гг. Этот опыт свиде-

тельствует: если геосинтетический армирующий материал заморожен в верхнюю треть толщины ледяной плиты, то весной он вытаскивается изо льда, когда лед на переправе еще достаточно крепок. Материал должен быть свернут в рулоны вручную, отбракован (при необходимости) и доставлен к месту хранения для повторного использования.

Если армирующий материал заморожен в пределах нижней трети толщины ледяной плиты, то он вытаскивается снизу и удерживается на тросах, которыми был заведен под лед. Необходимо вновь пропиливать во льду “майны” и вытаскивать ГМ на лед. При этом мы не рекомендуем использовать для “нижнего” армирования геосетки с геотекстилем. В этом случае геотекстиль не дает преимуществ, но осложняет извлечение полотна из подо льда.

В наиболее сложных случаях для извлечения армирующего материала изо льда поверхность льда после закрытия переправы можно “затемнить”, например, песком (рис. 15). Тогда лед интенсивно тает, и армирующий материал извлекается вручную (рис. 16). На беспроточных водоемах (озера и др.) армирующий материал может



Рис. 15. “Затемнение” льда песком (а) и последующее интенсивное таяние льда (б).



Рис. 16. Удаление геосинтетических материалов:

а – металлизированной георешетки; б – стеклосетки.

быть извлечен из воды после таяния ледового покрова.

Следует отметить, что для армирования льда можно применять только ГМ, имеющие сертификат соответствия и санитарно-эпидемиологическое заключение на исполнение требований и санитарных правил РФ.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Несмотря на значительный объем проделанной работы, имеется еще целый ряд важных научных и производственных вопросов, требующих скорейшего решения, так как предлагаемый способ усиления ледового покрова на переправах и автозимниках вызывает живой интерес в строительных подразделениях, особенно в северных и восточных регионах РФ.

Во-первых, необходимо совершенствование методик экспериментальных исследований механических свойств армированного льда.

Во-вторых, следует проверить возможность и целесообразность применения для усиления ледового покрова многочисленных геосинтетических материалов, выпускаемых в РФ и за рубежом, и достоверно установить механические и физические параметры, необходимые для выбора наиболее эффективных армирующих материалов.

В-третьих, требуется разработка и утверждение нового нормативно-методического документа, который позволит принимать обоснованные решения по проектированию, строительству и эксплуатации ледовых переправ и автозимников, усиленных геосинтетическими материалами.

ВЫВОДЫ

1. Результаты исследований на опытных участках подтвердили возможность и целесообразность применения геосинтетических материалов для усиления ледового покрова на переправах и автозимниках.

2. Наблюдения и испытания, выполненные на опытных участках с использованием тяжелых колесных и гусеничных машин, позволили впервые получить опытные данные об эффективности усиления ледового покрова геосинтетическими армирующими материалами.

3. Установлено, что армирование верхней части ледового покрова ГМ снижает трещинообразование в плите и является основной причиной повышения несущей способности льда до 30 % (в зависимости от вида ГМ). При увеличении толщины естественного ледового покрова до 90 см и более эффективность армирования снижается, так как несущая способность льда (при верхнем армировании) повышается не более чем на 10 %.

Армирование нижней части ледового покрова в большей степени увеличивает несущую способ-

ность ледяной плиты (до 70 %). Это вполне логично, поскольку в этом случае армирующий материал располагается в зоне концентрации наибольших растягивающих напряжений (теоретическое обоснование указанного эффекта см. в [Якименко, 2011]).

Наибольший эффект дает двухслойное армирование верхней и нижней частей ледяной плиты.

4. Эффективность армирования возрастает с увеличением общей массы транспортных средств, проходящих по ледовой переправе. При этом армирование снижает вероятность резкого пролома льда под избыточной нагрузкой.

5. Эффективность армирования возрастает с увеличением прочности при растяжении и уменьшением деформативности армирующего материала. Желательно применение гидрофильных армирующих материалов, так как они лучше «смерзаются» (объединяются) с армируемым льдом.

Наибольшее увеличение несущей способности дает применение стеклосеток. При этом следует учитывать, что эти материалы тонут в воде, поэтому их использование для «нижнего» армирования возможно только при условии прикрепления к сетке поплавков, удерживающих ее на плаву и прижимающих к нижней поверхности армируемой ледяной плиты для вмораживания в лед. Применение для «нижнего» армирования георешеток из полипропилена менее эффективно с точки зрения увеличения несущей способности ледяного покрова, но более технологично, так как эти ГМ обладают положительной плавучестью и в меньшей степени повреждаются при неаккуратном обращении.

6. Установлено, что геосетки и георешетки могут извлекаться из льда в весенний период, поэтому являются экологически безопасными с точки зрения рыбоохранных органов и в отношении судов, осуществляющих навигацию по водному объекту, на котором производится армирование в зимний период.

Литература

Мезенское дорожное управление. Новые технологии на ледовых переправах [Электронный ресурс] // События, 2011. URL: http://ador-mezen.ru/events/p_7/ (дата обращения: 10.09.2013).

Шавлов А.В. Свойства льда при высокой концентрации структурных дефектов // Криосфера Земли, 1997, т. I, № 1, с. 78–86.

Якименко О.В. Обоснование конструктивно-технологических решений ледовых переправ, армированных геосинтетическими материалами: Дис. канд. ... техн. наук. Омск, 2011, 24 с.

Якименко О.В., Сиротюк В.В. Армирование ледовых переправ // Криосфера Земли, 2014, т. XVIII, № 1, с. 88–91.

Поступила в редакцию
23 июля 2015 г.