

УСИЛЕНИЕ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

В.В. Сиротюк,
О.В. Якименко,
Г.М. Левашов,
ФГБОУ ВО «СибАДИ»

В статье [1] дан анализ актуальности научного направления по усилению ледового покрова, особенно для северных регионов России, Скандинавии, Канады, Аляски. Мы представили краткие результаты исследований и дали ссылку на работу, в которой подробно рассмотрены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния армированного льда [2].

Наши исследования (начатые в 2006 г.) и анализ публикаций [3–9] 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 водоемов в Омской области в 2007–2008 гг. и в 2008–2009 гг. [10, 11]. Для армирования льда использовали три

вида геосинтетических материалов (ГМ) (табл. 1).

Были апробированы два конструктивно-технологических решения [12]: вмораживание армирующих материалов сверху (фото 1) и снизу ледяной плиты (фото 2 и рис. 1).

При этом установлено, что через два дня после укладки ГМ армирующий материал вмораживается в ледяную плиту как снизу, так и сверху (фото 3).

Испытания проводили через месяц после армирования. Осмотр показал, что ледяная плита была покрыта трещинами (фото 4), за исключением армированных участков, на которых во льду имелись только редкие волосяные безззорные трещины.

Для испытаний (фото 5) использовали автомобиль-самосвал ЗИЛ-585 (на базе шасси ЗИЛ-130), пожарную машину АЦП 6/3–40

(на базе шасси «Урал-5557»), специализированные колесные и гусеничные машины. Вес машин составлял от 10 т до 42 т.

До начала нагружения были определены высотные отметки поверхности льда в каждой контрольной 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 диаграмме.

Испытания показали, что на всех участках, армированных геосинтетическими материалами, несущая способность ледового покрова увеличилась.

Таблица 1. Свойства геосинтетических материалов для опытного строительства

Условное наименование геосинтетического материала	Тип сырья	Прочность при растяжении в продольном направлении, кН/м	Относительная деформация при разрыве, %	Размер ячейки, мм	Ширина рулона, м	Длина рулона, м
Плоская георешетка «Поли-40» (геокомпозит)	Полипропилен	40,5	10	33/33	4,0	50
Плоская георешетка «Поли-20»	Полипропилен	20,6	10	47/47/47	4,0	30
Стеклосетка СТ-100 с геотекстилем (геокомпозит)	Стекловолоконно и полипропилен	106,5	4	25/25	2,4	50

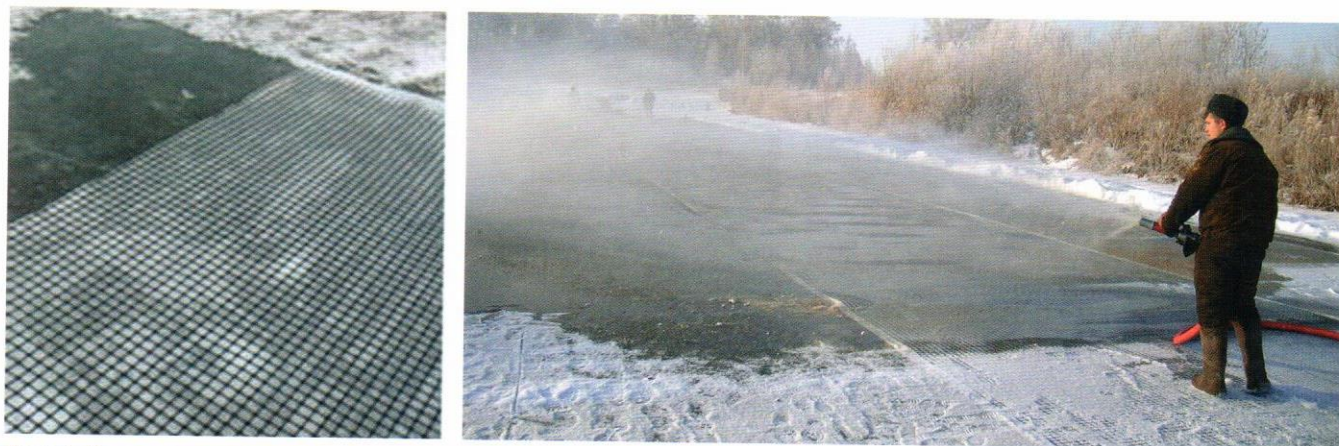


Фото 1. Укладка геокompозита и поливка участка водой для намораживания льда (верхнее армирование)

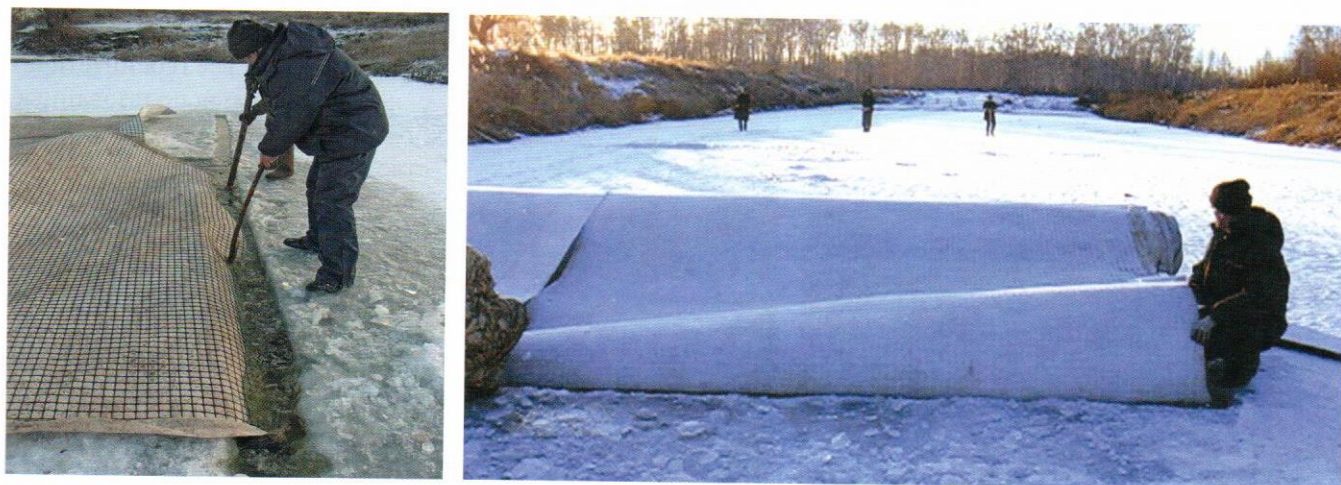


Фото 2. Погружение геокompозита в майну и протаскивание его подо льдом капроновыми тросами (нижнее армирование)

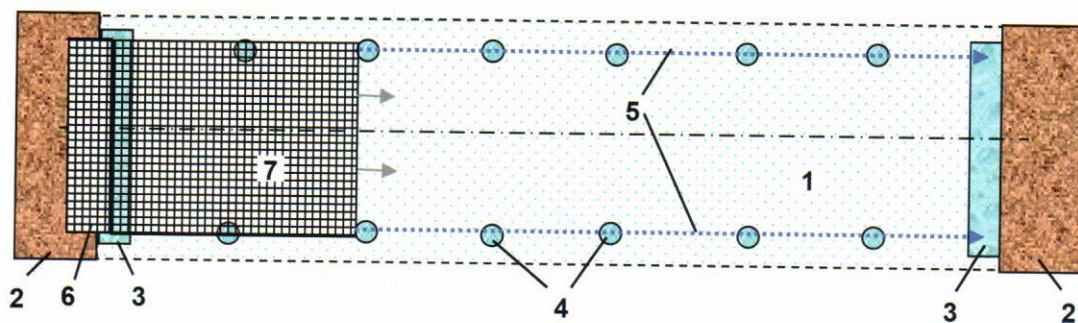


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая способ нижнего армирования ледового покрова: 1 – естественный ледовый покров; 2 – берега; 3 – майны во льду для подачи и приема армирующего полотна; 4 – лунки для протягивания тросов; 5 – подо льдом; 6 – рулон геосинтетического материала; 7 – полотно геосинтетики, протаскиваемое тросами подо льдом

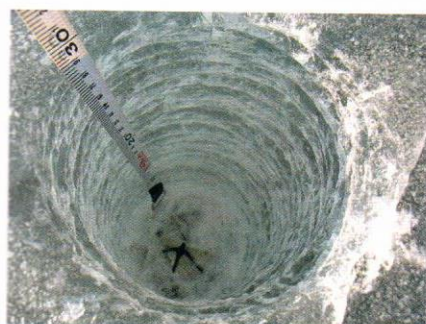


Фото 3. Армирующий геосинтетический материал, вмёрзший в лед снизу и сверху



Фото 4. Трещина в неармированной ледяной плите



Фото 5. Испытание опытного участка колесной и гусеничной техникой

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 рас-

пределения возникающих напряжений.

Наибольшее увеличение несущей способности плиты (до 70%) было достигнуто на участке с нижним армированием стеклосеткой. Оба участка, армированные георешеткой из полипропилена



«Поли-40» и «Поли-20», показали увеличение несущей способности от 30 до 35% по сравнению с неармированным ледяным покровом одинаковой толщины.

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.

Строительство и испытания опытных участков длились два года. При этом все геосинтетические материалы, использованные при первом опытном строительстве, использовались повторно на следующий год. Перед этим была определена их прочность в лаборатории. Было 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 нам была предоставлена стеклосетка без специальных пропиток органическим вяжущим, чтобы улучшить ее гидрофильность и смерзание со льдом.

В 2011 году ОАО «Мезенское дорожное управление» провело эксперимент по использованию геосетки при устройстве ледовой переправы через реку Пеза в Архангельской области. Армирование верхней части ледового покрова осуществлялось по разработанной и опубликованной нами технологии [13] (фото 6).

Для армирования применялась стеклосетка «ГЕО СТ 50/50» производства компании «Миаком».

По результатам эксперимента наши коллеги констатировали:

1. До укладки геосетки ледяной покров был покрыт раскрытыми трещинами с шириной раскрытия до 4–5 см (фото 7).



Фото 6. Распределение сетки (с перехлестом 30 см), заливка водой; толщина льда над сеткой 7 см после эксперимента и 12 см окончательная, после повторного пролива водой на второй день



Фото 7. Температурные трещины на неармированном участке

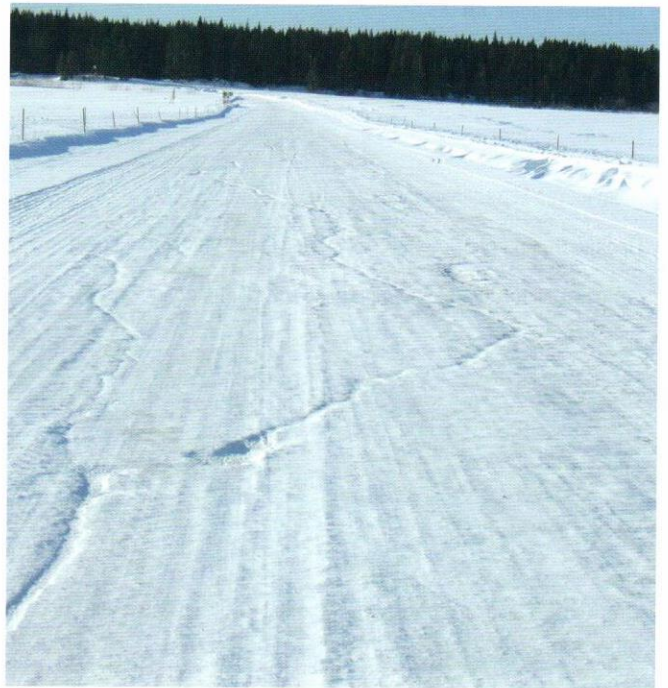


Фото 8. Сетка мелких нераскрывшихся трещин на армированном участке

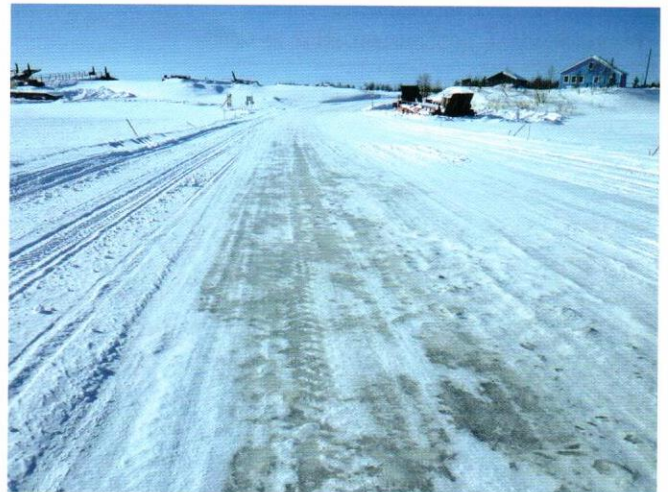


Таблица 2. Геокомпозит марки «АРМДОР®-К 70/50/240» без пропитки битумом (Дорстройматериалы)

Наименование показателей	Фактические значения
Материал	Стекловолокно
Поверхностная плотность, г/м ²	450 ± 50
Прочность при растяжении, кН/м, не менее (вдоль/поперек)	100/100
Относительное удлинение при разрыве, %, не более (вдоль/поперек)	3/3
Стойкость к агрессивным средам, %	95
Устойчивость к ультрафиолетовому излучению, %	95
Размер ячеек, мм	50 x 50
Ширина рулона, см	240

Таблица 3. Георешетка дорожная армированная РД-60 50x50 (Техполимер)

Наименование показателей	Фактические значения
Количество металлических жил, шт.	6
Прочность при растяжении, кН/м, не менее (вдоль/поперек)	60/60
Относительное удлинение при разрыве, %, не более (вдоль/поперек)	3/3
Повреждаемость при укладке, %, не более	2
Гибкость на брус: — при минус 20 °С — при минус 60 °С	Отсутствие трещин и расслоений на лицевой стороне материала
Стойкость к многократному замораживанию и оттаиванию (морозостойкость), %, не ниже	99
Коэффициент армирования, %	58
Коэффициент уменьшения общей осадки, %	38
Условный модуль деформации, кН/м, не менее	5100
Размер рулона: — ширина, м — длина, м	6 50

2. Через 1,5 месяца обследование экспериментального участка показало лишь наличие сетки мелких нераскрытых трещин (фото 8).

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

В 2014 г. нам удалось заинтересовать руководителей Министерства развития транспортного комплекса Омской области и добиться содействия в строительстве опытного участка с армированием ледяного покрова на крупной судоходной реке Иртыш.

Для строительства этого участка геосинтетические материалы бес-

платно предоставили фирмы ЗАО «Техполимер» (г. Красноярск) и ООО «Дорстрой-материалы» (г. Владимир). Свойства материалов, используемых на опытном участке, приведены в табл. 2 и 3.

Впервые армировалась не только ледяная плита, но и наиболее слабое место на любой переправе — стык ледяной плиты с берегом. Для армирования этого участка использовалась георешетка РД-60 50x50 (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 еще и анкером для гарантированного извлечения стеклосетки из льда весной (фото 9).

Не все удалось реализовать должным образом. Основная причина — теплая погода (от 0 °С до минус 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 мы обнаружили, что стеклосетка хорошо вморожена в лед, а береговая часть, засыпанная снегом и политая водой, не промерзла за двое суток и георешетка местами видна в колее (фото 10).

Испытания опытного участка производились два раза: 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 точ-



Фото 9. Укладка георешетки (на стыке ледовой плиты с берегом) и геосетки



Фото 10. Состояние армированных участков во время открытия переправы



Фото 11. Испытания: измерение прогибов ледяной плиты под нагрузкой и сравнение показателей на армированном и неармированных участках



Фото 12. Характерные проблемы на неармированной части ледового покрова



Фото 13. Распределение песка и последующее интенсивное таяние льда



Фото 14. Удаление геосинтетических материалов

ку грузового автомобиля, после заезда и стабилизации отметки, после разгрузки льда в контролируемой точке (фото 11).

Осмотр и испытание показали, что имеются существенные различия на армированном и неармированном участке.

На неармированных участках (фото 12):

- 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 ледяного покрова с берегом — широкие трещины с входом воды на лед.
- На армированном участке:
- сопряжение ледового покрова с берегом не вызывало проблем;
 - во льду имелись только тонкие волосяные трещины;
 - воды на льду не было.

Испытания под нагрузкой (измерение чаши прогибов ледяной плиты от груженого автомобиля) показали, что армированный участок ледовой переправы обладает несущей способностью на 30% больше, чем неармированные. При этом прогиб армированного льда восстанавливается 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 армиро-

ванном участке сопряжение ледяного покрова с берегом не вызывало проблем, во льду имелись только тонкие волосяные (беззачерные) трещины, вода на льду отсутствовала.

Извлечение геосинтетического материала изо льда на опытных участках мы выделили в виде отдельной части статьи, так как 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 на первых опытных участках весной 2008 и 2009 гг. и далее подтвержден в 2012 и 2015 гг.

Этот опыт свидетельствует: 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. Нужно опять пропиливать во льду майны и вытаскивать геосинтетические материалы на лед. При этом мы не рекомендуем использовать для нижнего армирования геосетки с геотекстилем. В этом случае геотекстиль не дает преимуществ, но осложняет извлечение полотнища из-под льда.

В наиболее сложном случае после закрытия переправы поверхность льда можно затемнять, например — песком и тому подобным. Лед интенсивно тает (фото 13), и армирующий материал извлекается вручную (фото 14).

На беспроточных водоемах (озера и тому подобное) армирующий материал может быть извлечен из

воды после таяния ледового покрова.

Следует отметить, что для армирования льда можно применять только геосинтетические материалы, 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 вызвал 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, необходимо проверить возможность и целесообразность применения для усиления ледового покрова многочисленных геосинтетических материалов, выпускаемых в РФ и за рубежом. Достоверно установить необходимые механические и физические параметры для выбора наиболее эффективных армирующих материалов.

В-третьих, требуются 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 опытного строительства подтвердили возможность и целесообразность применения геосинтетических материалов для