

Способы борьбы с зимней скользкостью

Канд. техн. наук М. К. Пшембаев¹⁾, докт. техн. наук, проф. Я. Н. Ковалев¹⁾,
докт. хим. наук, проф. В. Н. Яглов¹⁾, асп. В. В. Гиринский¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2020
Belarusian National Technical University, 2020

Реферат. Известно несколько способов борьбы с зимней скользкостью на дорогах – фрикционный, тепловой, химический, комбинированный и конструкционный. Довольно широкое применение нашел фрикционный метод борьбы со скользкостью. Он основывается на повышении сцепления колеса с дорожным плотным, покрытым наледью. В качестве фрикционного сырья используют песок, шлак, отсева каменных материалов, а также фрикционные материалы, подвергаемые нагреванию. Тепловой метод разделяют по типу обогрева поверхности дорожного покрытия на кондуктивный и конвективный, при которых подогрев дорожных покрытий происходит снизу (электрообогрев) либо сверху (тепловой струей). Недостатки данного способа – его дороговизна при использовании тепловых струй и вредное воздействие высоких температур на дорожное покрытие. Сегодня наиболее популярным способом борьбы с зимней скользкостью является химический метод. Для предотвращения образования скользкости на дорожном покрытии или удаления льда с него предусматривается обработка твердыми или жидкими реагентами. Принцип их действия заключается в понижении температуры замерзания раствора на поверхности дорожного полотна. Борьба с зимней скользкостью в основном ведется комбинированным способом с помощью посыпки дорог песчано-соляной смесью. В настоящее время назрела необходимость полного или частичного отказа от применения хлоридов при борьбе с зимней скользкостью. В данном случае наиболее перспективное направление – предупреждение образования гололеда за счет создания покрытий автомобильных дорог, обладающих противогололедными свойствами, т. е. введения антигололедных реагентов в состав дорожного покрытия (конструкционный способ). Однако этот метод повышает стоимость готового покрытия дороги.

Ключевые слова: противогололедные материалы, хлорид кальция (магния, натрия), способы борьбы с зимней скользкостью

Для цитирования: Способы борьбы с зимней скользкостью / М. К. Пшембаев [и др.] // *Наука и техника*. 2020. Т. 19, № 3. С. 230–240. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-3-230-240>

Methods for Prevention of Winter Slippery

М. К. Pshembaev¹⁾, Ya. N. Kovalev¹⁾, V. N. Yaglov¹⁾, V. V. Girinsky¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. There are several methods for prevention of winter slippery on the roads – frictional, thermal, chemical, combined and structural. The friction method of combating slippery has found quite wide application. The method is based on increasing a wheel grip with iced road. Sand, slag, screening of stone materials and friction materials subjected to heating are used as a friction raw material. A thermal method is divided in conductive and convective according to a surface heating type in which a pavement is heated from below (electric heating) or from above (with a heat stream). Disadvantages of this method are its high cost when using thermal jets and harmful effects of high temperatures on a road surface. Nowadays a chemical method is considered as the most popular one to combat winter slippery. Treatment with solid or liquid reagents is provided in order to prevent slipping on the road surface or removing ice from it. The principle of their action is to lower a freezing temperature of the solution on the surface of the roadway. The fight against winter slippage is mainly carried out in a combined way by sprinkling roads with a sand and salt mixture. Currently, there is a need to completely or partially abandon the use of chlorides in the fight against winter slippery. In this case, the most promising direction is to prevent icing by creating coatings for roads with anti-icing properties that is introduction of anti-icing reagents in the composition of the road surface (construction method). This method makes it possible to increase cost of a finished road surface.

Keywords: anti-icing materials, calcium chloride (magnesium chloride, sodium chloride), methods for prevention of winter slippery

For citation: Pshembaev M. K., Kovalev Ya. N., Yaglov V. N., Girinsky V. V. (2020) Methods for Prevention of Winter Slippery. *Science and Technique*. 19 (3), 230–240. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-3-230-240> (in Russian)

Адрес для переписки

Яглов Валерий Николаевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 67, корп. 18а
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-91-29
fgde@bntu.by

Address for correspondence

Yaglov Valeryi N.
Belarusian National Technical University
67, housing 18a, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-91-29
fgde@bntu.by

Введение

Непрерывный рост автомобильного парка, увеличение объема грузооборота и перевозок пассажиров предъявляют все более жесткие требования к содержанию автомобильных дорог, а также к обеспечению безопасности движения по ним. Решение этих проблем связано с двумя комплексами задач: борьбой с зимней скользкостью с применением противогололедных материалов (ПГМ) и поддержанием дорожных покры-

тий в оптимальном состоянии с помощью специализированных пропиток, предотвращающих старение и износ дорожного полотна.

Методы борьбы с зимней скользкостью

Современные методы борьбы с зимней скользкостью по принципу своего действия разделяются на пять основных типов (табл. 1): химический, фрикционный, комбинированный (химико-фрикционный), конструкционный и тепловой [1–11].

Таблица 1

Характеристика основных методов борьбы с зимней скользкостью

Characteristics of main methods for prevention of winter slippery

Метод	Химический	Фрикционный	Комбинированный	Конструкционный	Тепловой
Используемый материал	Соли, антигололедные реагенты	Песок, щебень, шлак и т. п.	Фрикционный материал и химический реагент	Добавки в асфальтобетон, гидрофобизаторы	Топливо или электроэнергия
Время распределения материала	До, в период или после образования зимней скользкости	После образования зимней скользкости	В период или после образования зимней скользкости	При устройстве покрытия из ПГМ-гидрофобизаторов (в процессе его эксплуатации до наступления заморозков)	В период или после образования зимней скользкости
Температура использования	До минус 12 °С (отдельные – до минус 90 °С)	Не ограничена	Не ограничена	До минус (3–7) °С	Не ограничена
Продолжительность действия	В зависимости от количества ПГМ, интенсивности движения и погодных условий			Добавки в асфальтобетон – до 7 лет; гидрофобизаторы – до 2 лет	Не ограничена во время гололеда
Эффективность использования	Высокая – при соблюдении технологии работ	Средняя			Высокая
Достоинство	Высокая плавящая способность, небольшая норма расхода, обработка участка большой площадью одним автомобилем	Простота обработки, низкая стоимость материала, мгновенное повышение коэффициента сцепления	Доступность, повышение коэффициента сцепления, возможность многократного использования	Снижение затрат на ликвидацию гололеда на проезжей части за счет введения ПГМ в состав покрытия	Высокая плавящая способность, возможность многократного использования
Недостаток	Высокая стоимость материала, ограничения условий использования (по температуре, интенсивности движения), жесткие требования к соблюдению технологии работ	Большая норма россыпи, использование большого количества распределителей, значительный объем заготовки ПГМ, слабое закрепление ПГМ на покрытии	Высокие требования к качеству материала, нарушение технологии резко ухудшает условия движения	Снижение межремонтных сроков службы покрытия	Высокий расход топлива

Химический способ борьбы с зимней скользкостью

Противогололедные материалы – это вещества, которые вступают в химическую реакцию с частицами льда и эффективно разрушают ледяные образования. Наиболее известными примерами химических антигололедных реагентов могут служить такие средства, как хлориды, нитраты, ацетаты, формиаты, а также смеси органических веществ [1–10].

С целью прогнозирования свойств систем с низкими температурами замерзания, которые могут быть применены как антигололедные средства, авторами статьи изучена зависимость температуры замерзания некоторых базовых составов от постепенного разбавления их водой (табл. 2–11).

Таблица 2

Система этиловый спирт – вода ($C_2H_5OH-H_2O$) Ethyl alcohol – water ($C_2H_5OH-H_2O$) system

Содержание спирта, мас. %	Температура замерзания, °C
46,3	–34
56,1	–41
72,9	–51

Таблица 3

Система глицерин – вода ($CH_2OH-CH_2OH-H_2O$) Glycerine – water ($CH_2OH-CH_2OH-H_2O$) system

Содержание глицерина, мас. %	Температура замерзания, °C
60,0	–35
70,0	–40

Таблица 4

Система $CaCl_2-H_2O$ $CaCl_2-H_2O$ system

Содержание $CaCl_2$, г/100 г H_2O	Температура замерзания, °C
34,6	–31
36,2	–35
37,9	–39
39,7	–44
41,6	–50
42,7	–55

Таблица 5

Система $MgCl_2-H_2O$ $MgCl_2-H_2O$ system

Содержание $MgCl_2$, г/100 г H_2O	Температура замерзания, °C
25,2	–32
25,9	–34

Таблица 6

Система ацетат калия – вода ($CH_3COOK-H_2O$) Potassium acetate – water ($CH_3COOK-H_2O$) system

Содержание соли, г/100 г H_2O	Температура замерзания, °C
40,0	–29
50,0	–58

Таблица 7

Система ацетат калия – глицерин – вода ($CH_3COOK-CH_2OH-CH_2OH-H_2O$) Potassium acetate – glycerine – water ($CH_3COOK-CH_2OH-CH_2OH-H_2O$) system

Содержание раствора, воды, мас. %			Температура замерзания, °C
CH_3COOK	$CH_2OH-CH_2OH-CH_2OH$	H_2O	
35	15	50	–34
40	10	50	–37
45	5	50	–44
50	10	40	Высоковязкая некрст. до минус 70 °C
55	5	40	

Таблица 8

Система изопропиловый спирт – глицерин – вода ($[(CH_3)_2CHOH-CH_2OH-CH_2OH-H_2O]$) Isopropil alcohol – glycerine – water ($[(CH_3)_2CHOH-CH_2OH-CH_2OH-H_2O]$) system

Содержание раствора, воды, мас. %			Температура замерзания, °C
$(CH_3)_2CHOH$	$CH_2OH-CH_2OH-CH_2OH$	H_2O	
30	30	40	–33

Таблица 9

Система $CaCl_2-MgCl_2-H_2O$ $CaCl_2-MgCl_2-H_2O$ system

Содержание раствора, воды, мас. %			Температура замерзания, °C
$CaCl_2$	$MgCl_2$	H_2O	
12,10	12,1	75,80	–34
21,27	7,19	71,54	–47
20,37	6,87	72,82	–40
19,10	6,46	74,41	–27
27,69	1,99	70,32	–45
21,34	1,75	73,91	–33
11,40	11,40	77,20	–35
12,20	12,20	75,60	–35
19,20	6,40	74,40	–35
25,00	1,60	73,40	–35
12,70	12,70	64,60	–40
20,30	6,70	73,00	–40
16,40	1,70	71,90	–40
21,10	6,00	72,90	–45
27,60	1,60	70,80	–45

Таблица 10

Система $\text{CaCl}_2\text{--MgCl}_2\text{--NaCl--H}_2\text{O}$ $\text{CaCl}_2\text{--MgCl}_2\text{--NaCl--H}_2\text{O}$ system

Содержание раствора, воды, мас. %				Температура замерзания, °C
CaCl_2	MgCl_2	NaCl	H_2O	
11,15	11,15	1,85	78,85	–32
11,36	11,36	1,25	46,02	–35
11,95	11,95	1,32	74,78	–40
20,40	6,80	1,65	71,15	–47

Таблица 11

Система $\text{CaCl}_2\text{--NaCl--H}_2\text{O}$ $\text{CaCl}_2\text{--NaCl--H}_2\text{O}$ system

Содержание раствора, воды, мас. %			Температура замерзания, °C
CaCl_2	NaCl	H_2O	
23,72	4,00	72,28	–35
24,20	1,00	74,80	–30
23,80	1,80	74,40	–30
22,00	3,80	74,20	–30
25,80	1,00	73,20	–35
25,60	1,80	72,60	–35
23,80	4,00	72,20	–35
26,25	2,19	71,56	–38
27,20	1,00	71,80	–40
28,74	1,11	70,15	–45
26,80	2,00	72,20	–40

Из приведенных данных видно, что с разбавлением водой выделенных базовых растворов температуры их замерзания резко повышаются. Массовые соотношения компонентов систем в расчете на сухое вещество остаются постоянными. Сравнение составов с 85–90 мас. % воды позволяет выделить наиболее пригодные для использования в качестве основных антигололедных средств пролонгированного действия.

Температура замерзания природного высококонцентрированного рассола, добываемого при разработке нефтяных месторождений, минус 25 °C. Рассол – бесцветная или с желтоватым оттенком жидкость без запаха, его характеристики: плотность 1200–1300 кг/м³; массовая доля сухих веществ 25,0–35,0 %; содержание ионов, % от массовой доли: 56,0–66,0 хлора, 6,0–21,0 кальция, 0,5–3,5 магния; pH = 4,5–6,6. Рассол является пожаро- и взрывобезопасным веществом. По степени воздействия на организм человека относится к веществам 3-го класса опасности. Может быть применен в качестве антигололедного средства при температуре окружающей среды до минус 15 °C.

Низкую температуру замерзания (менее минус 70 °C) показала головная фракция при получении этилового спирта. Согласно ТУ РБ 00966671, фракция содержит: объемную долю этилового спирта – не менее 88,3 %; массовую концентрацию альдегидов в пересчете на уксусный альдегид – менее 2 г/дм³ безводного спирта; массовую концентрацию сложных эфиров в пересчете на уксусно-этиловый эфир – не более 60 г/дм³ безводного спирта; массовую концентрацию высших спиртов (сивушного масла) – не более 2,5 г/дм³ безводного спирта; объемную долю метилового спирта – не более 6,0 %.

Добавка глицерина к исходному материалу в объемных соотношениях 5:5, 5:4, 5:3, 5:2 и 5:1 повышала вязкость системы при температуре минус 30 °C, но температура замерзания во всех составах осталась менее минус 70 °C.

Антигололедный реагент (АГР) ацетат калия «Нордикс» по своим свойствам в два раза эффективнее хлорида кальция. Ион калия усваивается растениями, а уксусная кислота, образующаяся при гидролизе этой соли, является биологически разлагаемым веществом. АГР – это не просто растворы солей, в их состав обязательно добавляют ингибиторы, стабилизаторы и буферы, количество которых строго контролируется.

Представляет интерес также смесь ацетатов кальция и магния, которая может быть получена при взаимодействии уксусной кислоты и доломита $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$. Этот относительно дешевый препарат весьма эффективен. При использовании после разбавления водой в точке его следов не обнаружено. Коррозионное действие на металлы данной смеси ацетатов сравнили с действием воды. Вместе с тем эта смесь эффективна только до минус 7 °C.

Фрикционный метод борьбы с гололедом

После долгих проб, ошибок и научных исследований западноевропейские страны практически полностью отказались от использования химических реагентов для плавления снега и льда. В Берлине, например, закон разрешает применять соль только на опасных участках дорог. Химикаты наносят слишком очевидный вред окружающей среде и городскому хозяйству. Мелкий песок тоже не лучший вариант. Он пылит, попадает в легкие и не годен к вторичному использованию. Тогда как каменная

крошка экологична и экономична, хотя изначально обходится дороже соли. Метод разбрасывания гранитной крошки называют фрикционным. Гололед этим способом полностью не устранить, но сцепление колес с дорогой улучшается.

В 2004 г. в Швеции внедрили новый метод борьбы с гололедом, который предложил шведский ученый Торгейр Ваа. Песок в пропорции 7:3 смешивают с горячей водой ((90–95) °C) и разбрызгивают на улицах. Горячий песок вплавляется в снег и делает поверхность шероховатой. Такой обработки хватает на три-семь дней с ежедневным трафиком около 1500 автомобилей, или пока не пройдет новый снегопад.

Гранитная крошка, представляющая собой небольшие фракции гранитного камня, предназначена для посыпки дорог в зимний период. Она уже частично применяется в России. Одна из причин ограничения – специфика городской канализации и особенности использования гранитной крошки. Так, 70 % городских стоков – это так называемая общесплавная канализация, т. е. вода из ливневых стоков и домов горожан поступает на станции очистки в едином коллекторе, конструктивно не предназначенном для движения большого количества мелкого камня. Вероятность того, что стоки будут забиты, причем в самых труднодоступных участках, очень высока. В тех местах города, где ливневая канализация изолирована от бытовой, такой способ противодействия гололеду актуален. Но и тут он требует тщательных расчетов применительно к каждой конкретной территории, так как даже изолированные ливневые стоки не всегда могут справиться с прохождением гранитной крошки.

Второй момент, ограничивающий применение этого экологического материала, – порча им дорог. Дело в том, что крошка не на свежем накате, а на чистом асфальте будет не столько предотвращать гололед, сколько разрушать дорогостоящее дорожное покрытие, колеса и днища автомобилей.

Однако крошка весьма эффективна в условиях гололеда. Как правило, при возникновении обледенений в городе используется гранитная крошка высокого качества, представляющая собой мелкораздробленный гранитный щебень. Кроме профилактики гололеда, она применяется для благоустройства скверов, парков и т. п. Для получения такой крошки требуется

раздробить довольно крупные фракции гранита и получить отсев частиц, не превышающих 2 мм. На завершающем этапе крошка моется, чтобы удалить из нее мелкие песчинки.

В Финляндии и Дании нашли свой способ: на дороге оставляют тонкий (2–3 см) слой снега. Сверху насыпают гранитную или мраморную крошку и плотно укатывают. В ряде случаев на поверхность дороги выливают специальную смесь из воды и щебня. В итоге образуется покрытие, напоминающее наждачную бумагу, сцепные свойства которого – превосходные. Весной каменную крошку собирают специальной техникой, а в следующем году снова используют.

Антигололедные реагенты, обладающие абразивным действием, способствуют не только быстрому таянию льда, сколько увеличению коэффициента сцепления на дорогах, что значительно снижает риск возникновения аварийных ситуаций. Чаще всего абразивные вещества используются для обработки автомобильных дорог высоких категорий и автомагистралей. Самым распространенным средством подобного типа является мраморная и гранитная крошка. Такие методы можно использовать в тех местах, где реализуется отсев гранита и мрамора.

Комбинированный способ борьбы с гололедом

В этом способе борьбы с гололедом используются как вещества, обладающие абразивным эффектом, так и реагенты, оказывающие химическое воздействие на лед, что позволяет значительно повысить эффект от применения антигололедных реагентов. У каждого из перечисленных типов противогололедных средств имеются свои недостатки и достоинства, которые следует учитывать при реализации антигололедных мероприятий для конкретных целей.

Химические реагенты являются наиболее востребованными средствами борьбы с обледенением поверхностей, так как они отличаются высокой скоростью плавления льда, необходимой для эффективного очищения поверхности, и доступной стоимостью. Тем не менее у них имеются следующие недостатки:

– при большой концентрации вещества существует риск негативного воздействия на окружающую среду и железобетонные конструкции. Так, использование технической

соли в больших количествах может привести к засаливанию почвы и возникновению коррозии на металлических поверхностях;

– некоторые химические антигололедные реагенты недостаточно эффективны при низких температурах.

К достоинствам применения абразивных веществ можно отнести быстрое повышение коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием, доступность, возможность неоднократного использования. Их главный недостаток – отсутствие плавящей способности льда.

Оптимальный вариант для обработки дорожных поверхностей в городах – комбинированные смеси, которые обладают всеми необходимыми антигололедными качествами и имеют в своем составе антикоррозийные добавки. Важное преимущество таких смесей – экологическая безопасность, что наряду с доступной ценой, делает их достаточно популярными. Они зарекомендовали себя только с положительной стороны, с их помощью можно добиться качественного результата в самые краткие сроки. Благодаря продуманной химической формуле, в состав которой входит несколько сильнодействующих веществ, эти реагенты быстро превращают лед и снег в безопасную растопленную смесь, легкоустраняемую механическими средствами.

Высокая эффективность комбинированных реагентов достигается за счет того, что в них чаще всего используются в различных сочетаниях такие вещества, как мраморный или гранитный щебень, формиаты натрия или ацетаты калия, хлорид натрия (кальция или магния), нитраты и другие соединения.

Конструкционный способ борьбы с гололедом

Возможно также введение в состав покрытия автомобильных дорог веществ, обладающих противогололедными свойствами, в основном – химических ПГМ. В зависимости от производителя реагентов и их предполагаемых условий эксплуатации состав может отличаться. Как правило, используются именно эти компоненты, но их количество может быть различным.

Принцип действия и главное свойство комбинированных реагентов в том, что они

снижают температуру плавления снега и льда. Благодаря этому покрытая льдом поверхность быстро освобождается от гололеда и становится безопасной для движения.

Каждый отдельный реагент должен соответствовать определенным требованиям, быть безопасным для здоровья людей и не наносить вреда окружающей среде. Главные достоинства комбинированных реагентов:

– быстро снижают точку замерзания воды даже при низких температурах воздуха;

– взаимодействие их со льдом и снегом протекает крайне быстро, и опасная масса льда на дороге сразу начинает таять;

– никак не действуют на состояние самого покрытия, не наносят ему вреда и повреждений при использовании ингибиторов коррозии.

Материалы для придания антигололедных свойств покрытиям автомобильных дорог, так же, как и применяемые в химическом методе борьбы с гололедом антигололедные реагенты, должны удовлетворять следующим требованиям:

– иметь низкое значение температуры замерзания раствора эвтектической концентрации, которая также должна быть как можно меньше;

– быстро взаимодействовать со снежно-ледяными отложениями, от чего существенно будет зависеть время ликвидации зимней скользкости, а следовательно, и безопасность дорожного движения;

– не увеличивать скользкость дорожного покрытия до опасных значений, что обусловлено повышенной гигроскопичностью многих антигололедных реагентов;

– не вызывать преждевременного разрушения дорожных покрытий;

– иметь невысокую стоимость, чтобы не приводить к существенному удорожанию готового покрытия;

– не угнетать зеленые насаждения за пределами полосы отвода и оказывать незначительное влияние на растительность, произрастающую у дороги;

– не оказывать отрицательного влияния на металл, резину и кожу;

– иметь удобный способ распределения (для реагентов).

Этим требованиям лучше всего соответствует технический хлористый натрий, который:

– несмотря на более высокую плавящую способность CaCl_2 и MgCl_2 , имеет сопостави-

мые с ними температуры замерзания растворов с концентрацией до 10 %, а также высокую скорость плавления снежно-ледяных отложений, что позволит значительно снизить адгезию льда к поверхности покрытия;

– не приводит к повышению скользкости асфальтобетонного покрытия, в то время как некоторые другие соли, в том числе CaCl_2 , вследствие длительного невысыхания снижают коэффициент сцепления на гладких и микрошероховатых поверхностях, что, согласно действующему Руководству по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах, ограничивает область их применения;

– имеет самую невысокую стоимость из всех возможных для использования в этом качестве промышленно выпускаемых материалов, кроме того, могут применяться многочисленные отходы промышленности, в химическом составе которых содержится более 95 % действующего вещества;

– не раздражает кожу и не оказывает существенного отрицательного влияния на растительность, произрастающую далее 3–4 м от кромки проезжей части;

– технологичен при вводе в состав минеральной части асфальтобетона. Однако может обеспечить антигололедный эффект только в пределах температур от 0 до минус 7 °С; это объясняется тем, что силы смерзания льда с дорожным покрытием возрастают более интенсивно при приближении температуры льда к эвтектической для данного реагента. Эвтектическая температура хлористого натрия – минус 21,2 °С при эвтектической концентрации NaCl 23,3 %, аналогичный показатель хлористого кальция – минус 49,8 °С при эвтектической концентрации CaCl_2 30,5 %. Поэтому применение последнего более эффективно при низких температурах.

Совместное использование хлористых натрия и кальция в соотношении примерно 1:7 (87,5 % NaCl и 12,5 % CaCl_2) приводит к сокращению расхода антигололедной добавки на 25–40 % и расширению диапазона температур до минус 18 °С. Меньший расход комбинированной антигололедной добавки (смесь хлористых натрия и кальция), по сравнению с использованием только хлористого натрия, улучшит экологическую обстановку. Кроме того, хлористый кальций при растворении выделяет большое количество теплоты (реакция

растворения экзотермическая), усиливающей плавление льда, в то время как хлористый натрий при растворении поглощает теплоту (реакция растворения эндотермическая).

Бетонные конструкции обладают большей коррозионной стойкостью к хлористому кальцию, чем к хлористому натрию.

Хлорид натрия слеживается, поэтому рекомендуется добавлять к нему до 10 % более гигроскопичного хлористого кальция, присутствие которого резко снижает слеживаемость смеси.

На основании перечисленного можно сделать вывод о рациональности введения комбинированной антигололедной добавки (смеси хлорида натрия и хлористого кальция) в структуру поверхностного слоя бетона для придания ему антигололедных свойств.

Гидрофобизация бетонных покрытий

Твердые и жидкие хлориды, применяемые для борьбы с зимней скользкостью, обладают агрессивной химической способностью: разрушают металлические поверхности автомобилей, поверхность цементобетонных покрытий в раннем возрасте, бордюры, железобетонные элементы мостов, ливнестоки; отрицательно влияют на рост деревьев, зерновых культур и другой придорожной растительности. Поэтому нормы применения хлоридов для борьбы с зимней скользкостью строго ограничены. Зарубежный и отечественный опыт показывает, что установленные нормы – менее предельно допустимых согласно требованиям по охране природы и окружающей среды. Превышение этих требований происходит при распределении хлоридов значительно больше установленных норм или при нарушении правил их хранения, погрузки и транспортировки.

Попытки отказаться от хлоридов для борьбы с гололедом предпринимались во многих странах, однако стоимость зимнего содержания при этом увеличивалась в три и более раз вместе с увеличением числа дорожно-транспортных происшествий.

Для снижения интенсивности коррозии металлов в хлоридную среду добавляют замедлители коррозии – ингибиторы. В процессе исследований выявлены наиболее доступные ингибиторы, которые целесообразно применять при борьбе с зимней скользкостью: гексаметафосфат натрия, гидро- и дигидрофосфат натрия, суперфосфат. Все эти добавки нетоксичны,

не вредят зеленым насаждениям, не влияют отрицательно на свойства дорожных покрытий. К твердым хлоридам добавляют 2–3 % дигидроортофосфата натрия или 5–7 % гидроортофосфата натрия. При использовании жидких рас-солов нормы ингибиторов снижают: 0,5–1,0 % гидро- или дигидроортофосфата или гексамета-фосфата натрия.

Многочисленные наблюдения показали агрессивное влияние хлоридов только на це-ментобетонные покрытия, причем в раннем возрасте – до трех лет. Агрессивность проявля-ется в нарушении прочности поверхности до-рожных плит (монолитных или сборных), шел-ушении и возникновении раковин. Пока не разработаны эффективные методы устранения химической коррозии цементобетона. Частич-ный эффект достигается при применении воз-духовлекающих добавок – около 0,1 % к мас-се цемента (мылонафт, абиетиновая смола, сульфитно-спиртовая барда и др.).

Поэтому для борьбы с зимней скользкостью на цементобетонных покрытиях, изготовлен-ных с воздуховлекающими добавками, при-менять хлориды можно в том случае, если такие покрытия имеют возраст не менее одного года, а на цементобетонных покрытиях без воз-духовлекающих добавок, – когда их возраст более трех лет.

Способы предупреждения образования и профилактики зимней скользкости включают гидрофобизацию покрытий, введение в верхний слой покрытия хлоридов (физико-химический метод) и профилактическую россыпь или розлив хлоридов.

Гидрофобизация заключается в нанесении водоотталкивающих веществ. На гидрофильной поверхности вода растекается и замерзает в виде сплошного слоя льда, который прочно скрепляет-ся с поверхностью покрытия. Это сцепление уве-личивается за счет образования льда в микро-трещинах и порах. На гидрофобной поверхно-сти угол растекания жидкости значительно больше, вода быстро стекает с покрытия, и лед вообще не образуется, или образуется в виде отдельных капелек. Сцепление такого льда в три-четыре раза меньше, чем на гидрофиль-ной поверхности, и его легко удалить щеточ-ным механизмом.

Новым и достаточно надежным является разработанный в МАДИ способ обработки по-

верхности сборных цементобетонных плит – гидрофобизирующей водной эмульсией на основе кремнийорганических соединений. Эмульсию наносят пульверизатором в момент изготовления плит на заводе (расход эмуль-сии 200–300 г/м²). При этом адгезия льда уменьшается в семь раз, т. е. гололед практиче-ски не образуется. Срок службы обработки – около пяти лет.

Физико-химический метод заключается в придании поверхности покрытия гидрофобных свойств путем введения в состав материала со-ответствующих химических веществ. В США, Канаде, ФРГ, Швейцарии и других странах производят укладку асфальтобетонных покры-тий с добавкой «Верглимит», изготовленной на основе хлористого кальция. Такие смеси представляют собой антиобледенители. Ас-фальтобетонные покрытия, в состав которых входит эта добавка, плавят снег и лед.

В ГипродорНИИ разработали технологию укладки верхнего слоя покрытия из асфальто-бетонной смеси, в которую добавляют твердый хлористый натрий – до 5 % массы вяжущего. При этом температура смерзания льда с покры-тием снизилась до минус 18 °С, а прочность сцепления льда с покрытием уменьшилась до 10 раз.

В МАДИ разработан состав асфальтобетон-ной смеси, в которую добавляют водораство-римый шлак (отход производства вторичных алюминиевых сплавов) как противогололедную добавку (до 7 % от массы асфальтобетона). Адгезия льда уменьшается в два-пять раз. Недостаток таких покрытий – их повышенная пористость после растворения добавки, а также наличие влажной поверхности летом. Кроме того, износостойкость этих покрытий может сократиться за счет шелушения.

Весьма перспективны гололедобезопасные покрытия дорог, а также поверхностная обра-ботка покрытий из шламов с кремнийорганиче-скими или другими добавками, снижающими адгезионные свойства льда. Другое направле-ние в создании гололедобезопасных покрытий состоит в придании верхнему слою упругих свойств. В этом случае лед, образующийся на покрытии, будет быстро разрушаться под дей-ствием поверхности летом. Кроме того, износос-тойкость таких покрытий может сократиться за счет автомобилей, что приведет к само-очистке покрытия. Для этих целей в МАДИ

разработаны составы песчаных резинобитумных смесей, в которых содержится от 2 до 7 % резиновой крошки. Слой износа из этих смесей делают толщиной 2 см, он обладает высокими сцепными качествами во влажном состоянии и значительно облегчает борьбу с гололедом.

Профилактический метод борьбы со скользкостью заключается в распределении противогололедных материалов по проезжей части до образования на ней гололедицы или уплотненного снежно-ледяного слоя (наката). Он подразделяется на профилактику образования гололедицы и снежного наката. В первом случае за 30–60 мин до начала образования гололедицы по поверхности покрытия распределяют твердые или жидкие хлориды (расход – от 5 до 20 г/м²). Соединяясь с влагой из воздуха, хлориды образуют соляной раствор, который препятствует возникновению гололедицы. Метод очень экономичен, поскольку требуется минимум противогололедных материалов. Однако при его реализации нужен точный прогноз о возможном появлении гололедицы за 1–2 ч до начала ее образования, чтобы успеть обработать поверхность хлоридами. Для такого прогноза разработаны приборы и сигнализаторы гололедицы, которые пока не отличаются высокой точностью. Автоматизированные системы распределения противогололедных материалов по данным сигнализаторов гололедицы применяются на сложных развязках, отдельных мостах и опасных участках в ряде зарубежных стран.

Тепловой способ борьбы с гололедом

Как показывает анализ существующих методов ликвидации гололедных явлений на опасных участках автомобильных дорог, наиболее перспективным методом ликвидации зимней скользкости на покрытии проезжей части мостовых сооружений является тепловой способ, который характеризуется обширным опытом применения. Так, в России начиная с 1980-х годов, зарегистрированы различные изобретения методов обогрева покрытия проезжей части автомобильных дорог и искусственных сооружений на них. Однако эти новшества не нашли широкого практического применения по объективным причинам, а именно из-за:

- высокой стоимости электроэнергии;
- технологической сложности существующих запатентованных конструкций для обогрева

ва покрытий при их монтаже и дальнейшей эксплуатации;

- суровости и неоднородности климатических условий различных районов.

Решение первых двух проблем – снижение затрат на электроэнергию, упрощение и удешевление конструкции системы обогрева – позволит повысить экономическую привлекательность теплового способа борьбы с зимней скользкостью. Этого можно добиться следующими путями:

- внедрением в систему обогрева устройств, позволяющих получать электроэнергию из возобновляемых источников с минимальными затратами;

- использованием автоматических датчиков состояния поверхности проезжей части транспортных сооружений, позволяющих системе работать в режиме ожидания, включаясь только в случае необходимости, экономя тем самым энергоресурсы;

- разработкой, поиском и внедрением инновационных нагревательных элементов, обладающих минимальной потребляемой мощностью, повышенной теплоотдачей и простотой при относительно низкой стоимости конструкции.

При этом первые два направления уже реализуются. Так, в настоящее время имеется широкий перечень разработок, патентов, практически осуществленных проектов, позволяющих получать электроэнергию путем преобразования солнечной, ветровой, водной энергий (солнечные панели, компактные гидротурбины, ветрогенераторы и т. п.). Постоянный контроль состояния проезжей части может осуществляться автоматическими дорожными метеостанциями (АДМС), производство которых налажено в Российской Федерации. Использование АДМС и генераторов электроэнергии из возобновляемых источников позволит после окупаемости инвестиций на их внедрение (пять-шесть лет) минимизировать затраты на энергоносители и тем самым значительно повысить экономическую эффективность теплового способа борьбы с зимней скользкостью.

Наиболее сложным является третье направление, поскольку необходим не только поиск инновационных нагревательных элементов с минимальной потребляемой мощностью и повышенной теплоотдачей, но и требуется разработка технологических схем их монтажа,

ремонта и обслуживания в конструкции дорожной одежды.

Анализ существующих инновационных теплоносителей для обогрева различных поверхностей позволил выбрать перспективный, нанокпозиционный тепловыделяющий материал. Данный композиционный материал представляет собой смесь токопроводящего технического углерода марки К-163 (18–22 % по массе) с полиуретановым лаком (82–78 % по массе). Область рабочих температур этого покрытия – от 25 до 110 °С. Поскольку полиуретанам свойственна высокая адгезия почти ко всем материалам, тепловыделяющее покрытие можно нанести практически на любую поверхность (например, на геосетку) и уложить под верхний слой бетонного покрытия.

Для оценки степени и скорости нагрева композиционного материала, нанесенного на геосетку, в зависимости от толщины этого слоя, а также подаваемого напряжения и схемы подключения было подготовлено три образца размерами 130×125 мм. С помощью токопроводящего клея закреплялись медные контакты на разном расстоянии друг от друга: между крайними электродами расстояние составило 12,2 см; между крайним левым и средним – 7,2 см, между крайним правым и средним – 5,0 см. На опытные образцы наносили композиционный тепловыделяющий материал слоем различной толщины: на образец 1 – 800 мк, образец 2 – 400 мк, на образец 3 – 300 мк, с последующей их сушкой, а затем отжигом в сушильной камере.

Эксперимент подтвердил рабочую гипотезу о том, что использование геосетки с нанесенным композиционным материалом для нагрева верхнего слоя покрытия с целью предотвращения образования зимней скользкости на дорожных покрытиях возможно. Скорость нагрева и конечная температура композиционного материала могут регулироваться толщиной нанесенного слоя, расстоянием между электродами и подаваемым напряжением.

Проведенные исследования позволили в качестве примера разработать концептуальную модель обогрева покрытия мостового сооружения с помощью нанокпозиционного покрытия, нанесенного на дорожную геосетку.

Геосетка укладывается между верхним или нижним слоем усовершенствованного покрытия в процессе строительства, либо поверх ста-

рого слоя покрытия при его ремонте. Нагрев покрытия происходит в результате излучения тепловой энергии с поверхности тепловыделяющего слоя. Подсоединение нагревательных элементов производится с помощью электрической шины, соединенной электропроводом с блоком управления, установленным на осветительной опоре. Включение и отключение системы обогрева контролируются АДС, которая также устанавливается на осветительной опоре на высоте 2–4 м над уровнем покрытия.

Предложенная концепция теплового способа направлена на решение следующих практических задач оперативной ликвидации гололедных явлений в осенне-весенние периоды:

- предупреждение образования гололедных явлений за счет нагрева покрытия проезжей части транспортных сооружений по необходимой ширине;

- снижение на треть энергопотребления и, соответственно, затрат за счет автоматизированной работы системы в режиме ожидания и предупреждения льдообразования;

- минимизацию затрат на монтаж системы и ее последующую эксплуатацию;

- увеличение срока службы армированного покрытия путем предотвращения образования отраженных трещин.

Реализация рассмотренного новшества на транспортных сооружениях позволит обеспечить поддержание в надлежащем техническом состоянии покрытия таких объектов и значительно повысить безопасность дорожного движения в переходные периоды года.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены наиболее эффективные методы борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах с использованием различных противогололедных материалов:

- химических (растворы солей или сухие соли – хлориды, нитраты, ацетаты, формиаты и др.), которые обладают низкой температурой замерзания и высокой плавящей способностью льда при небольших нормах расхода;

- фрикционных (песок, щебень, шлак и др.), мгновенно повышающих коэффициент сцепления при больших нормах россыпи и относительно слабом закреплении на поверхностном слое дороги;

– антигололедных, которые могут быть введены в состав материала покрытия автомобильных дорог (конструкционные противогололедные материалы);

– химико-фрикционных, когда в составе растворов содержатся как вещества, обладающие абразивным эффектом, так и химические реагенты, что позволяет значительно повысить эффективность антигололедной и сцепной составляющих противогололедных материалов, при этом сокращается межремонтный срок покрытия.

2. Также рассмотрен тепловой способ, когда поверхность дороги снизу обогревается с использованием электроэнергии и сверху – с использованием тепловых струй.

ЛИТЕРАТУРА

1. Советский энциклопедический словарь / под ред. А. М. Прохорова. М.: Советск. энцикл., 1984. 1599 с.
2. Порядок организации и проведения работ по зимнему содержанию автомобильных дорог: ТКП 100–2011 (02191). Минск: Минтранс, 2011. 78 с.
3. Леонович, И. И. Диагностика автомобильных дорог / И. И. Леонович, С. В. Богданович, И. В. Нестерович. М.: ИНФА-М, 2011. 350 с.
4. Пшембаев, М. К. Процессы, протекающие на поверхности бетонных покрытий при их химической защите от зимней скользкости / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев, В. Н. Яглов // Наука и техника. 2016. Т. 15, № 4. С. 265–270. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-4-265-270>.
5. Шейкин, А. Е. Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. М.: Госстройиздат, 1979. 344 с.
6. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.]: под ред. Ф. М. Иванова. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
7. Иванов, Ф. М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии / Ф. М. Иванов. М.: Транспорт, 1968. 175 с.
8. Шейкин, А. Е. Цементные бетоны высокой морозостойкости / А. Е. Шейкин, Л. И. Добшиц. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1989. 128 с.
9. Руководство по применению бетонов с противоморозными добавками. М.: Стройиздат, 1978. 80 с.
10. Райхель, В. Бетон / В. Райхель, Д. Конрад / пер. с нем. О. П. Мчедлова-Петросяна. М.: Стройиздат, 1979. Ч. 1. Свойства. Проектирование. Испытание. 109 с.
11. Wuth, E. Beanspruchung des Betons Bei Tausalzanwendung / E. Wuth // Betonwerk Fertigteil Technik. 1977. No 11. P. 542–548.

Поступила 17.02.2020

Подписана в печать 20.04.2020

Опубликована онлайн 29.05.2020

REFERENCES

1. Prokhorov A. M. (ed.) (1984) *Soviet Encyclopedic Dictionary*. Moscow, Publishing House "Sovetskaya Entsiklopedia", 1599 (in Russian).
2. ТКП 100–2011 (02191). *The Organization and conduct of Winter Maintenance of Roads*. Minsk: Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus. 78 (in Russian).
3. Leonovich I. I., Bogdanovich S. V., Nesterovich I. V. (2011) *Diagnostics of Highways*. Moscow, INFRA-M Publ. 350 (in Russian).
4. Pshembaev M. K., Kovalev Ya. N., Yaglov V. N. (2016) Processes Proceeding on Concrete Coating Surfaces in Case of their Chemical Protection Against Winter Slipperiness. *Nauka i Tekhnika = Science & Technique*, 15 (4), 265–270 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-4-265-270>.
5. Sheykin A. E., Chekhovskii Yu. V., Brusser M. I. (1979) *Structure and Properties of Cement Concrete*. Moscow, Gosstroyizdat Publ. 344 (in Russian).
6. Alexeev S. N., Ivanov F. M., Modry S., Shissl' P. (1990) *Durability of Reinforced Concrete in Aggressive Environments*. Moscow, Stroyizdat Publ. 320 (in Russian).
7. Ivanov F. M. (1968) *Corrosion Protection of Reinforced Concrete Transport Structures*. Moscow, Transport Publ. 175 (in Russian).
8. Sheykin A. E., Dobshits L. I. (1989) *Cement Concrete of High Frost Resistance*. Leningrad, Stroyizdat Publ., Leningrad Branch. 128 (in Russian).
9. *Guideline for Application of Concrete with Antifreeze Additives*. Moscow, Stroyizdat Publ. 80 (in Russian).
10. Reichel W., Conrad D. (1976) *Beton. Band 1. Eigenschaften. Projektierung. Prüfung*. Berlin, VEB Verlag für Bauwesen. 295 (in German).
11. Wuth E. (1977) Beanspruchung des Betons Bei Tausalzanwendung. *Betonwerk Fertigteil Technik*, (11), 542–548 (in German).

Received: 17.02.2020

Accepted: 20.04.2020

Published online: 29.05.2020