DOI: 10.15593/24111678/2018.01.04

УДК 625.8.042.2-047.37

Е.В. Веюков, М.Г. Салихов, Р.Р. Шигапов

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

**УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ СЦЕПЛЕНИЯ ЛЬДА
С ПОВЕРХНОСТЯМИ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Представлено описание разработанной установки, предназначенной для изучения прочности на срез снежно-ледяных отложений и их сил сцепления с поверхностями различных покрытий автомобильных дорог. Установка представляет собой раму на четырех колесах, которые могут ездить поступательно вдоль двух направляющих. К раме прикреплен резец шириной 1 см, есть возможность изменения угла резания. Под рамой устанавливается асфальтобетонная плита с замороженным льдом. Размер плиты – 32×28 см. Поскольку изготовление плит таких размеров относительно трудоемкое, в последующем предусматривается модификация установки под плиты размерами 50×40 см, которые можно изготовить в современных роллерных компакторах типа Matest B039.

Методика проведения испытаний заключается в следующем: на подготовленные плиты намораживается лед в морозильной камере, далее плита закрепляется под испытываемой рамой. Высота креплений регулируется четырьмя винтами. Рама устанавливается таким образом, чтобы край резца чуть соприкасался с кромкой льда. Через трос прикладывается усилие к раме, которое передает усилие непосредственно на резец. Постепенным увеличением усилия фиксируется момент скалывания (отрыва) льда. Путем косвенных вычислений определяется прочность льда или его адгезия с поверхностью покрытия. Причем на одной плите возможно проводить несколько измерений, поскольку образец можно перемещать поперек направляющих рамы и поворачивать образец противоположным торцом к резцу.

Установка является универсальной. Исследования можно проводить как в лабораторных условиях, так и в полевых (с измененной методикой). В настоящее время испытания проведены в лабораторных условиях.

С помощью разработанной установки авторами изучены силы сцепления льда с покрытием, обладающим антигололедным свойством. Ранее авторы занимались разработкой таких покрытий. Суть придания антигололедного свойства заключается в добавлении солей NaCl и CaCl₂ в определенном соотношении в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь при ее приготовлении. Установлено, что с увеличением нормы добавок силы сцепления льда с поверхностью покрытий уменьшаются.

Ключевые слова: лабораторные испытания дорожно-строительных материалов, адгезия льда, прочность льда, борьба с зимней скользкостью, антигололедные асфальтобетоны.

E.V. Veyukov, M.G. Salikhov, R.R. Shigapov

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation

**DEVICE FOR IDENTIFICATION OF ICE CLUTCHING FORCES
WITH SURFACE COVERING SURFACES OF AUTOMOBILE ROADS**

Presents description of the developed setup intended for studying the strength in shear of snow and ice deposits and their strength of adhesion to surfaces of different coating roads. The unit is a frame on four wheels, which can run steadily along the two guides. Attach a cutter width of 1 cm, there is the possibility of cutting angle change. Under the frame is mounted asphalt plate with frozen ice. The plate size – 32×28 cm. Because plates of this size are relatively time-consuming, then later provides modification of the installation under plates of size 50×40 cm, which can be manufactured in a modern roller compactors type Matest B039.

The test procedure is as follows: the prepared plates numeratives ice in the freezer, then the specimen is clamped under the test frame. Height adjustable mounts with 4 screws. The frame is set so that the edge of the cutter bit in contact with the edge of the ice. Using the rope force is applied to the frame, which transmits the force directly to the cutter. Gradually increasing the force, recorded the moment of spallation (separation) of ice. By indirect calculation is determined by the strength of ice or the adhesion with the coating surface. And in one plate it is possible to conduct several measurements, because the plate can be moved across the rails of the frame and to rotate the plate in the opposite end to the cutter.

The installation is universal. Research can be conducted in the laboratory and in the field (with a modified technique). Currently, tests are carried out in laboratory conditions.

Using the developed setup, the authors studied the adhesion force of ice with a coating having anti-icing properties. Previously, the authors worked on the development of such coatings. The essence of impart de-icing properties is the addition

of salts of NaCl and CaCl₂ in a ratio of stone mastic asphalt concrete mixture in its preparation. It is established that with the increase in the rate additives of adhesion of ice to the surface of the coatings decrease.

Keywords: laboratory testing of road construction materials, adhesion of ice the strength of ice, fighting icy roads, anti-icing asphalt.

Поиск эффективных способов снижения сил смерзания льда с поверхностью дорожного покрытия является важной задачей для решения проблемы механизации удаления льда.

Снижение зимней скользкости дорожного покрытия достигается при обработке его фрикционными, химическими, комбинированными материалами [1–4]. В больших городах распространен химический метод, который заключается в обработке покрытия химическими реагентами. Следует сказать, что такой метод пагубно влияет на экологию придорожной полосы [5, 6]. Механический способ применяется для удаления свежеснежавшего снега и укатанной снежной корки и является неэффективным при образовании ледяной пленки на покрытии. Так, исследования, проведенные в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете, Уральском государственном лесотехническом университете [7–9] и на кафедре автомобильных дорог Поволжского государственного технологического университета (Марийский государственный технологический университет) [10], показали что, прочность сцепления льда к асфальтобетонам разных типов и зернистости и поверхностных обработок составляет от 0,95 до 1,80 МПа.

По исследованиям А.П. Васильева [1], при очистке от снега поверхности покрытия механическими средствами может происходить его разрушение вследствие того, что адгезионные силы взаимодействия частиц льда с поверхностью покрытия больше, чем когезионные силы взаимодействия частиц льда [11]. Другими словами, применять механический способ очистки нерационально, поскольку полного отрыва льда от поверхности покрытия достичь невозможно. Альтернативным способом очистки покрытий является растворение (плавление) ледяных отложений реагентами. Такой метод получил наибольшее распространение. Установлено, что использование химических антигололедных материалов снижает затраты на зимнее содержание автомобильных дорог, улучшает состояние покрытий и повышает безопасность дорожного движения [9].

Вышеперечисленные методы борьбы с зимней скользкостью несовершенны [12, 13], основаны на воздействии антигололедных компонентов «сверху», т.е. антигололедные материалы распределяются машинами и механизмами на обрабатываемые площади.

Ввиду этого многие десятилетия ученые и исследователи занимаются разработкой покрытий, обладающих антигололедными свойствами. Основным показателем, характеризующим антигололедное свойство покрытия, является прочность сцепления льда. Причем к настоящему моменту стандартной методики для определения прочности сцепления льда с поверхностями покрытий дорог нет. Но есть некоторые авторские. Например, А.Н. Котухов в своей диссертации при изучении сил сцепления льда применял следующую методику: к торцу стандартных цилиндрических асфальтобетонных образцов (диаметром и высотой 71,4 мм) намораживается лед и в последующем через металлическое кольцо на лед прикладывается необходимая нагрузка для отрыва льда от поверхности образца. Путем косвенных вычислений определяется прочность сцепления льда [14]. Е.В. Веюков применял несколько измененную методику: намораживается лед определенной высоты (1–2 см) на боковую поверхность образца и нагрузка передается через металлическое кольцо с помощью пресса УП-7 вдоль образца (рис. 1) [10].

Рассмотренные методики имеют следующие недостатки. Ввиду того что образцы имеют небольшой размер, у них малая теплоемкость и они относительно быстро прогреваются при комнатной температуре после извлечения их из холодильника, поэтому испытания на отрыв льда необходимо выполнять за очень короткий промежуток времени (до 1 мин). Если испытание затягивается на большее время, то результаты искажаются, и приходится повторять опыт. Кроме того, представляется трудным изучить процесс отрыва льда при различных углах режущего кольца. С целью устранения описанных недостатков была предложена новая установка, приведенная на рис. 2. Она представляет собой раму на четырех колесах 1, которая может перемещаться по

Рис. 1. Схема проведения эксперимента на адгезию льда к поверхности стандартного цилиндрического образца из асфальтобетона при помощи прессы УП-7: 1 – пресс УП-7; 2 – образец из асфальтобетона; 3 – кольцо льда; 4 – нижняя зажимная планка; 5 – верхняя зажимная планка; 6 – металлическое кольцо; 7 – маховик; 8 – чаша для нагрузки

зат. В дальнейшем авторами предлагается модифицировать установку под плиты размерами 50×40 см, которые можно изготовить в современных роллерных компрессорах типа Matest B039.

двум направляющим 2. В середине тележки имеются крепления 4 и 5 для фиксации режущего (скалывающего) органа 3. Причем угол резания можно изменять. Ширина режущего органа – 1 см. Под основной частью установки предусмотрены две поперечные опоры для размещения асфальтобетонных плит размером 32×28 см с замороженным льдом. Нагрузка на режущий орган прикладывается тросом, перекинутым через блок.

Асфальтобетонные плиты изготавливаются по следующей методике. В специально подготовленную форму размером 65×86×4 см укладывается асфальтобетонная смесь и уплотняется ручной виброплитой (рис. 3). Коэффициент уплотнения составляет 0,99–1,00. После остывания асфальтобетона снимается боковая часть формы, и плита распиливается алмазным диском на 6 элементов размерами 35×28 см (рис. 4). Данный метод изготовления относительно трудоемкий, поскольку требуется большое количество смеси (около 45 кг) и плиты необходимо разрезать.

Рис. 2. Установка для определения прочности льда на срез и сцепления льда с поверхностями покрытий автомобильных дорог: 1 – подвижная рама на колесном ходу; 2 – направляющие, по которым осуществляется ход каретки; 3 – режущий орган; 4 – болт для фиксации режущего органа; 5 – контргайки

Принцип работы установки следующий. Используется плита с замороженным в холодильной камере льдом. Причем намораживать можно двумя методами: 1) на плиту с помощью герметика по периметру плиты крепится специальная лента, далее заливается вода высотой 2–3 см

и все помещается в морозильную камеру; 2) плита помещается в специально подобранную емкость размером чуть больше плиты на 1–2 см. Перед помещением плиты по углам емкости устанавливаются придерживающие резиновые кубики с ребрами 2 см. В емкость заливается вода чуть выше нижней плоскости. Далее, как и в первом методе, все помещается в морозильную камеру. Время выдерживания – 24 ч, температура –18 °С. В дальнейшем эти два фактора планируются изменять. Поскольку свойства воды влияют на свойства льда, в испытаниях применяли только дистиллированную воду.

Рис. 3. Уплотнение смеси

Рис. 4. Разрезанные плиты

Принцип работы установки следующий. Плита с замороженным льдом устанавливается на поперечные опоры, которые регулируются на определенную высоту скалывания (срезывания) льда. Рама на начальный момент устанавливается в такое положение, при котором режущий орган чуть касается торца льда. На трос, перекинутый через блок, постепенно прикладывается нагрузка. Фиксируется момент скалывания. Прочность сцепления льда, МПа, определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{0,1P}{S_{\text{л}}}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, при которой произошло скалывание, кГс; $S_{\text{л}}$ – площадь скалывания льда, см²,

$$S_{\text{л}} = l \cdot h_{\text{л.ср}}, \quad (2)$$

где l – длина скола льда, см; $h_{\text{л.ср}}$ – средняя высота сколотого льда, см.

С помощью предложенной авторами установки проведено исследование эффективности применения разработанного ими ранее [12, 13, 15] антигололедного покрытия для автомобильных дорог. Антигололедные свойства достигались путем введения в щебеночно-асфальтобетонные смеси хлористых солей до 5–7 % от массы дробленого песка. В таблице представлены результаты испытаний установки для определения прочности льда на срез и сил сцепления льда с поверхностями покрытий автомобильных дорог.

Из таблицы видно, что с увеличением содержания противоморозных добавок в составе щебеночно-мастичных асфальтобетонов (ЩМА) происходит снижение силы сцепления льда. Прочность сцепления льда зависит от вида добавки. При применении NaCl значение прочности сцепления, по сравнению со случаем без добавки, уменьшается в 2,4 раза, при применении CaCl₂ – в 5,1 раз. Значения предела прочности при сжатии при +20 °С при введении в состав ЩМА NaCl возрастают, при введении CaCl₂ – уменьшаются. Значения коэффициента сцепления колеса с покрытием при введении противоморозной добавки повышаются независимо от вида применяемой соли.

**Результаты испытаний установки для определения прочности льда на срез
и сил сцепления льда с поверхностями покрытий автомобильных дорог**

Количество и характеристика соли, % от массы мин. части	Вид соли, NaCl, (CaCl ₂), % от массы соли	Прочность сцепления льда с поверхностью, МПа	
		сухих образцов	после водонасыщения 90 сут
0	–	0,360	0,380
1	100 (0)	0,280	0,320
3	100 (0)	0,195	0,270
5	100 (0)	0,145	0,200
5*	100 (0)	0,150	0,230
7	100 (0)	0,115	0,190
9	100 (0)	0,115	0,180
5	87,5 (12,5)	0,120	0,170
5	75 (25)	0,105	0,150
5	50 (50)	0,090	0,125
5	25 (75)	0,080	0,115
5	0 (100)	0,070	0,100

Предложенная установка позволяет определить силы сцепления льда при различных температурах поверхности покрытий, углах резания, вводимых противогололедных добавках и др. Модель максимально приближена к реальному объекту. Полученные с помощью этой установки результаты можно применять при расчете различных механизмов для удаления снежно-ледяных образований на покрытиях дорог.

Список литературы

1. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.
2. Методические рекомендации по зимнему содержанию автомобильных дорог в Казахстане / под ред. Л.Б. Гончарова. – Алма-Ата, 1973. – 241 с.
3. Gao C., Abeysekera J. Slips and falls on ice and snow in relation to experience in winter climate and winter sport. *Safety Science*. – 2004. – Vol. 42, iss. 6. – P. 537–545.
4. Berggård G. The risk of slipping and falling as pedestrian during wintertime. *Proceedings of the 20th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*. – Luleå, 2009. – P. 117–122.
5. Еремеева С.С., Солдатова В.А., Прокопьев Д.Ю. Экологические последствия зимнего содержания дорог г. Чебоксары // *Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития: сб. тр. конф. / МАДИ*. – Чебоксары, 2017. – С. 51–54.
6. Строганов Е.В., Меренцова Г.С. Влияние антигололедных реагентов на коррозионную устойчивость асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // *Ползуновский Вестник*. – 2011. – № 10. – С. 273–276.
7. Кудрявцев А.В. Применение антигололедного покрытия на автомобильных дорогах в условиях Урала: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2005. – 19 с.
8. Подольский В.П., Самодурова Т.В., Федорова Ю.В. Экологические аспекты зимнего содержания дорог / ВГАСА. – Воронеж, 2000. – 152 с.
9. Салихов М.Г., Щербаков Ю.Е., Исаев А.В. Долговечность антигололедных асфальтобетонных в агрессивной среде // *Современное состояние и инновации транспортного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф. / Перм. гос. техн. ун-т*. – Пермь, 2008. – С. 54–59.

10. Веюков Е.В. Технологии строительства и очистки ото льда лесовозных дорог с антигололедным покрытием: дис. ... канд. техн. наук. – Йошкар-Ола, 2013. – 117 с.
11. Krapfenbauer A. Strabenvegetation and Auftaumittel / Cbl. GesFost W. – 1976. – Vol. 93, № 1. – P. 23–39.
12. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. – М., 2003. – 72 с.
13. Скворцов О. Не навреди! // Автомобильные дороги. – 2000. – № 3 – С. 45–47.
14. Котухов А.Н. Антигололедный асфальтобетон для дорожного строительства: дис. ... канд. техн. наук. – Белгород, 2003. – 198 с.
15. Веюков Е.В. Изучение предварительной вибрации в зоне очистки от льда антигололедного покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона // Исследования. Технологии. Инновации: сб. ст. ежегод. науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, докторантов, аспирантов и сотрудников ПГТУ, 19–23 марта 2012 г. – Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2012. – С. 128–131.

References

1. Vasil'ev A.P., Sidenko V.M. Ekspluatatsiia avtomobil'nykh dorog i organizatsiia dorozhnogo dvizheniia [Operation of highways and organization of road traffic: a textbook for high schools]. Moscow, Transport, 1990, 304 p.
2. Metodicheskie rekomendatsii po zimnemu soderzhaniiu avtomobil'nykh dorog v Kazakhstane [Methodological recommendations on the winter maintenance of highways in Kazakhstan]. Ed. L.B. Goncharova. Alma-Ata, 1973, 241 p.
3. Gao C., Abeysekera J. Slips and falls on ice and snow in relation to experience in winter climate and winter sport. *Safety Science*, 2004, vol. 42, iss. 6, pp. 537–545.
4. Berggård G. The risk of slipping and falling as pedestrian during wintertime. *Proceedings of the 20th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, June 9–12, 2009. Luleå, 2009, pp. 117–122.
5. Ereemeeva S.S., Soldatova V.A., Prokop'ev D.Iu. Ekologicheskie posledstviia zimnego soderzhaniia dorog g. Cheboksary [Ecological consequences of winter maintenance of roads in Cheboksary]. *Dorozhno-transportnyi kompleks: sostoianie, problemy i perspektivy razvitiia*. Cheboksary, Moscow State Automobile and Road Technical University, 2017, pp. 51–54.
6. Stroganov E.V., Merentsova G.S. Vliianie antigolodnykh reagentov na korrozionnuiu ustoiichivost' asfal'tobetonnykh pokrytii avtomobil'nykh dorog [Influence of anti-ice reagents on the corrosion resistance of asphalt concrete road surface coatings]. *Polzunovskii Vestnik*, 2011, no 10, pp. 273–276.
7. Kudriavtsev A.V. Primenenie antigolodnogo pokrytiia na avtomobil'nykh dorogakh v usloviiakh Urala [Application of anti-ice coating on highways in the Urals]. Abstract of Ph. D. thesis. Ekaterinburg, 2005, 19 p.
8. Podol'skii V.P., Samodurova T.V., Fedorova Iu.V. Ekologicheskie aspekty zimnego soderzhaniia dorog. [Ecological aspects of winter maintenance of roads]. Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, 2000, 152 p.
9. Salikhov M.G., Shcherbakov Iu.E., Isaev A.V. Dolgovechnost' antigolodnykh asfal'tobetonov v agressivnoi srede. [Durability of anti-ice-covered asphalt-concrete in an aggressive environment]. *Sovremennoe sostoianie i innovatsii transportnogo kompleksa. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. Perm, Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2008, pp. 54–59.
10. Veiukov E.V. Tekhnologii stroitel'stva i ochistki oto l'da lesovoznykh dorog s antigolodnym pokrytiem [Technology for the construction and cleaning of ice from logging roads with anti-ice coating]. Ph. D. thesis. Yoshkar-Ola, 2013, 117 p.
11. Krapfenbauer A., Strabenvegetation and Auftaumittel. *Cbl. GesFost W*, 1976, vol. 93, no.1, pp. 23–39.
12. Rukovodstvo po bor'be s zimnei skol'zkost'iu na avtomobil'nykh dorogakh [A guide to combat winter slipperiness on the roads]. Moscow, 2003, 72 p.
13. Skvortsov O. Ne navredi! [Do not do much harm!]. *Avtomobil'nye dorogi*, 2000, no 3, pp. 45–47.
14. Kotukhov A.N. Antigolodnyi asfal'tobeton dlia dorozhnogo stroitel'stva [Anti-ice-covered asphalt concrete for road construction]. Ph. D. thesis. Belgorod, 2003, 198 p.
15. Veiukov E.V. Izuchenie predvaritel'noi vibratsii v zone ochistki ot l'da antigolodnogo pokrytiia iz shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona [Study of preliminary vibration in the cleaning zone from ice of anti-ice coating from crushed-mastic asphalt concrete]. *Issledovaniia. Tekhnologii. Innovatsii. Sbornik statei ezhegodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, doktorantov, aspirantov i sotrudnikov PGTU*. Ioshkar-Ola, Povolzhskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet, 2012, pp. 128–131.

Получено 05.02.2018

Об авторах

Веюков Евгений Валерианович (Йошкар-Ола, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные технологии и автомобильные дороги» Поволжского государственного технологического университета (424000, г. Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17, e-mail: jenya1060@bk.ru).

Салихов Мухаммет Габдулхаевич (Йошкар-Ола, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительные технологии и автомобильные дороги» Поволжского государственного технологического университета (424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3, e-mail: SalihovMG@volgatech.net).

Шигапов Рияз Ренатович (Йошкар-Ола, Россия) – магистрант кафедры «Строительные технологии и автомобильные дороги» Поволжского государственного технологического университета (424000, г. Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17).

About the authors

Evgeny V. Veyukov (Yoshkar-Ola, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building Tecnology and Automobile Roads, Volga State University of Technology (17, Panfilova st., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation, e-mail: SalihovMG@volgatech.net).

Muchammet G. Salichov (Yoshkar-Ola, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Building Tecnology and Automobile Roads, Volga State University of Technology (3, area Lenin, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation, e-mail: SalihovMG@volgatech.net).

Riyaz R. Shigapov (Yoshkar-Ola, Russian Federation) – Master Student, Department of Building Tecnology and Automobile Roads, Volga State University of Technology (17, Panfilova st., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation).