

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАЛЕДИ, РАЗРУШАЕМОЙ РЕЗЦОМ ПРИ ОЧИСТКЕ ПРИБОРДЮРНОЙ ЗОНЫ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Горшков А.С., Кулепов В.Ф., Малыгин А.Л., Гусев О.Р.

*Дзержинский политехнический институт Нижегородского государственного технического университета, г. Дзержинск, Россия (606029, Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Гайдара, 49), e-mail: gorshkov\_as@mail.ru*

Исследование состава проб наледи, отобранных в различных точках прибордюрных зон, показало, что наледь наряду со льдом содержит смерзшиеся материалы, скапливающиеся на ней в предзимний период, основная часть которых в виде твердых минеральных частиц находится в слое толщиной до 20 мм от асфальтового покрытия. Более 52 % твердых частиц имеют размер  $320 \div 500$  мкм. Наледь данного слоя содержит  $75 \div 78\%$   $\text{SiO}_2$ ,  $20 \div 22\%$  воды,  $1 \div 1.2\%$   $\text{NaCl}$ ,  $0.9\%$   $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $0,05 \div 0.1\%$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Плотность наледи послойно (по 20 мм) меняется от  $\rho_1 = 1270$  кг/м<sup>3</sup> до  $\rho_6 = 313$  кг/м<sup>3</sup>, при среднем значении  $603$  кг/м<sup>3</sup>. Получены уравнения зависимости насыпной массы, угла естественного откоса, коэффициента трения по стали, коэффициента внутреннего трения и коэффициента бокового давления в зависимости от температуры и влагосодержания. Данные уравнения можно использовать в системе автоматического проектирования (САПР) при расчете торцевых режущих органов льдоуборочных машин.

Ключевые слова: наледь, состав, плотность, угол откоса, коэффициент трения, асфальтовое покрытие.

## PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE ROAD ICE, DESTRUCTIBLE CUTTER WHEN CLEANING AREA NEAR THE CURBSTONE ROAD

Gorshkov A.S., Kulepov V.F., Maligin A.L., Gusev O.R.

*Dzerzhinsky Polytechnic Institute of Nizhny Novgorod State Technical University. Dzerzhinsk, Russia (606029, Dzerzhinsk, Gaydarst, 49), e-mail: gorshkov\_as@mail.ru*

The study of the samples road ice, selected at various points around curbs, showed that ice road together with ice contains frozen materials, accumulating them in pre-winter period, most of which in the form of solid mineral particles is in a layer with thickness up to 20 mm from the asphalt pavement. More than 68% of the particles have a size of sand particles greater than 200 microns. More than 52% of the solid particles have a size of  $320 \div 500$  microns. Road ice this layer contains  $75 \div 78\%$  silica,  $20 \div 22\%$  water,  $1 \div 1.2\%$  sodium chloride,  $0.9\%$  phosphorus oxide,  $0,05 \div 0,1\%$  iron oxide. The density of ice in layers (20mm) varies from  $1270$  kg/m<sup>3</sup> to  $313$  kg/m<sup>3</sup>. Average meaning density equals  $603$  kg/m<sup>3</sup>. Angle of repose road ice with 18-24 % humidity varies 37-57 degrees at temperature from 0 up to - 20 degrees. Studied the change of the coefficient of friction on steel and concrete on temperature. Information on resistance to compression is given. Compressibility coefficient for wet sand and coefficient lateral pressure is defined. Equation dependence property road ice from temperature and moisture frozen mass is present.

Keywords: road ice, contain, friction coefficient, moisture content, asphalt pavement, density.

Очистка прибордюрных зон дорог и городских улиц является составным элементом обеспечения качества и их безопасной эксплуатации. Данная технологическая операция содержания дорог является наиболее сложной и требует использования специальной уборочной техники, оборудованной дисковыми или торцевыми фрезами.

Наледь прибордюрной зоны наряду со льдом содержит смерзшиеся материалы, скапливающиеся на ней в предзимний период. Наледь содержит песок, почву, растительно-лиственные остатки, обрывки полимерных и бумажных материалов и др. Присутствие этих материалов в наледи меняет ее физико-механические свойства. Знание свойств смерзшейся наледи и влияние на данные свойства температуры и влагосодержания смерзшейся массы

необходимы для расчета сопротивления резанию при механической очистке дорожного полотна.

### Цель работы

Экспериментальное определение физико-механических свойств наледи в прибордюрной зоне улиц и дорог, установление изменения их по высоте толщины слоя, по влиянию на свойства температуры и влагосодержания наледи, а также получение уравнений зависимости свойств наледи от температуры и влагосодержания, пригодных для использования САПР.

Образцы проб наледи отбирали в виде цилиндрических кернов с помощью бура диаметром 100 мм. Керны в различных точках прибордюрной зоны имели высоту от 40 до 125 мм. Они распиливались на пластины толщиной  $20 \pm 2$  мм и взвешивались. Каждая пластина отдельно расплавлялась и отделялась на жидкую и твердую фазы. В жидкости определяли содержание ионов натрия методом пламенной фотометрии [6]. В твердом остатке после сушки определяли долю оксида кремния по нерастворимому остатку в 20 % растворе соляной кислоты весовым методом [5], долю фосфатов ( $P_5O_5$ ) и оксидов железа ( $Fe_2O_3$ ) дифференциальной фотоколориметрией кислотной вытяжки на фотоколориметре ФЭК – 62 [2]. Объем пластин рассчитывали по результатам четырехкратного обмера диаметра и толщины пластин наледи. Угол естественного откоса дробленой смерзшейся массы определяли при температуре опыта отсыпкой террикона навески массой 500 г. из воронки по общепринятой методике [4], сопротивление одноосному сжатию определяли раздавливанием образца размером  $100 \times 100 \times 100$  мм и охлаждением его до температуры опыта в криокамере. Остальные свойства определяли использованием прибора Дженике по стандартным методикам [4].

### Результаты и их обсуждение

Состав вырезанных пластин образцов наледи приведен в таблице 1, а результаты определения плотности смерзшейся массы в таблице 2.

Таблица 1

Состав образцов наледи в нижнем от асфальта слое толщиной 20 мм

Номер образца наледи	Доля компонента в наледи, % масс				
	$SiO_2$	$NaCl$	$P_5O_5$	$Fe_2O_3$	$H_2O$
1	78,8	1,4	0,76	0,05	21
2	79,53	1,2	1,1	0,16	18
3	74,77	0,9	0,84	0,03	24

Среднее значение	77,7	1,17	0,9	0,08	21
------------------	------	------	-----	------	----

Нижний слой наледи в прибордюрной зоне образуется влажным песком с долей воды  $18 \div 24$  %. Примеси соли и других веществ суммарно не превышают  $2 \div 2,2$  %.

Таблица 2

Плотность наледи в слое толщиной 20 мм от асфальта к верхнему слою

Плотность (кг/м <sup>3</sup> ) наледи в слое						Средняя в керне
1	2	3	4	5	6	
1270	556	395	364	315	313	603

Толщина отобранных кернов наледи менялась от  $50 \div 60$  мм (20 % случаев),  $70 \div 80$  мм (35 % случаев), до 100 и более мм в остальных случаях.

Плотность массы наледи меняется от  $1270 \text{ кг/м}^3$  в нижнем слое до  $313 \text{ кг/м}^3$  в слое дневной поверхности. Грунтовая масса распределена в нижнем слое высотой  $10 \div 15$  мм, а высота слоя с плотностью более плотности льда ( $910 \text{ кг/м}^3$  [1]) составляет  $25 \div 35$  мм. В более верхних слоях доля песка не превышает 0,5 %.

На рисунке 1 представлены вертикальные разрезы слоев наледи высотой  $120 \div 125$  мм (а),  $75 \div 85$  мм (б) и  $35 \div 45$  мм (в). Как видно из данного рисунка, нижний слой до  $20 \div 25$  мм высотой представлен затвердевшей темной массой смерзшейся грязи (1). Следующий по высоте слой представляет собой лед (2) с вкраплениями кусочков грязи и песка. Третий слой (3) представляет собой плотную укатанную массу снега с частично перекристаллизованными крупными кристаллами льда. Завершается наледь более рыхлым, но не удаляемым щеткой-сметкой слоем (4), представляющим собой плотный накат свежесвыпавшего снега.

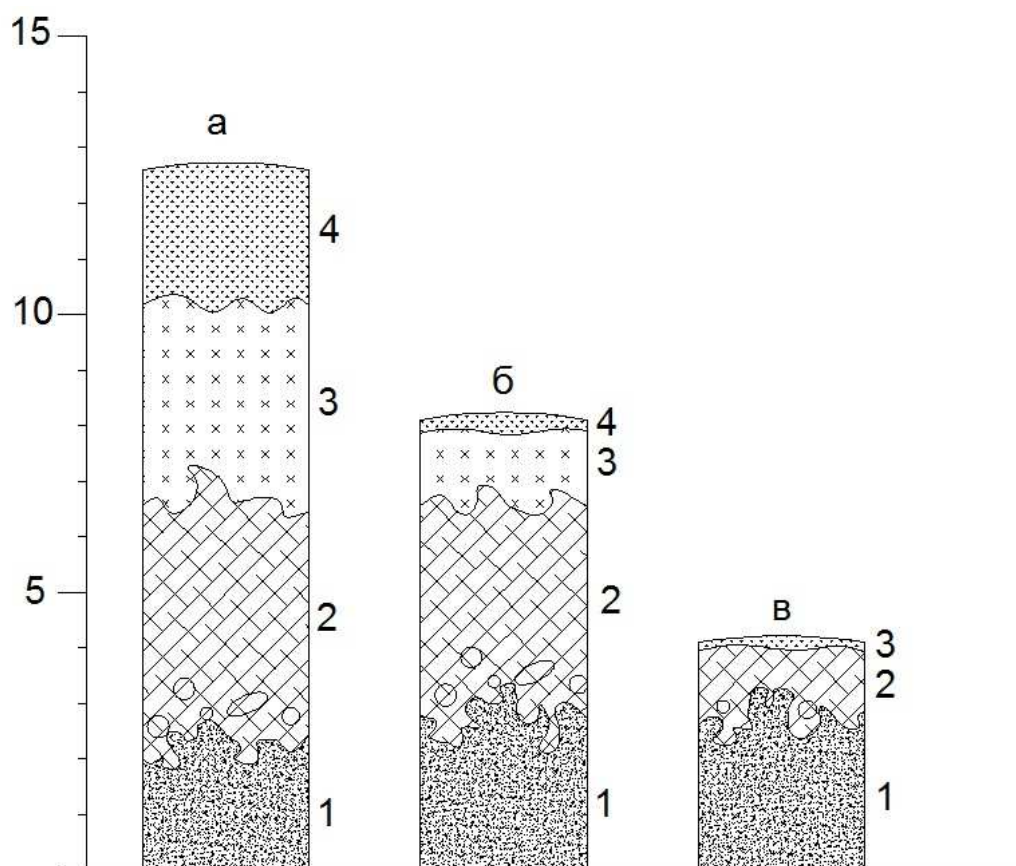
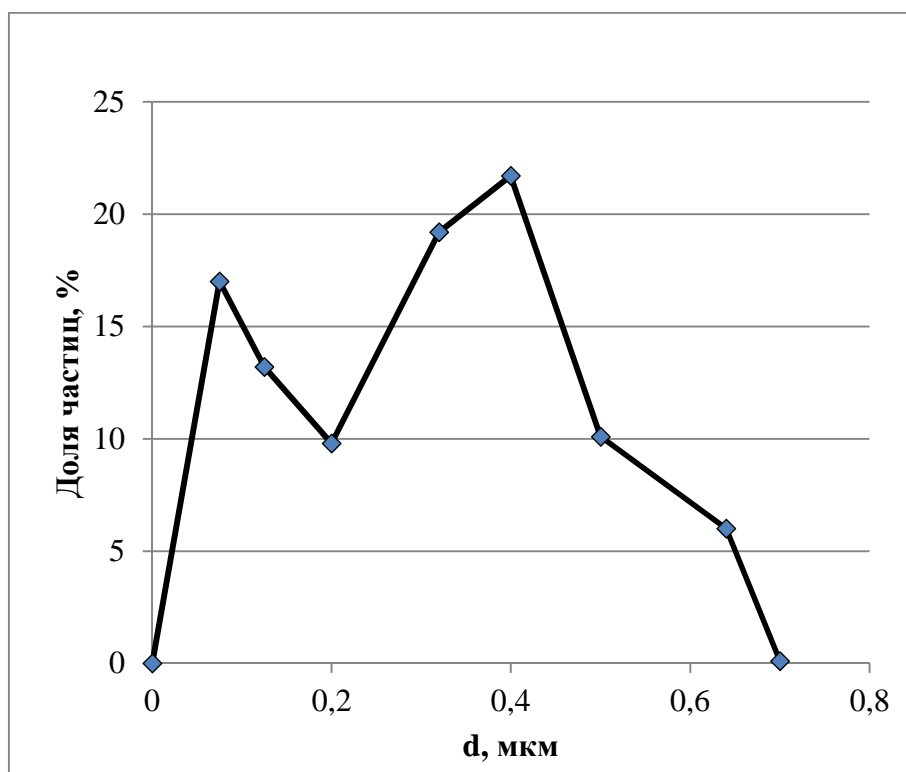


Рис. 1. Вертикальный разрез наледи

На рисунке 2 приведена гистограмма гранулометрического распределения частиц твердой фазы наледи.



$d$  – средний медианный диаметр частиц, мкм.

Рис. 2. Гистограмма гранулометрического распределения частиц твердой фазы наледи

Гранулометрический анализ высушенного твердого остатка наледи показывает, что более 68 % частиц песка имеют размер частиц более 200 мкм, более 52 % частиц – размером 320 ÷ 500 мкм.

По данным Р.Л. Зенкова [3], речной песок содержит фракцию менее 0,25 мм – 4 %, фракцию 0,25 ÷ 0,5 мм – 9 %, фракцию 0,5 ÷ 1 мм – 33 % и фракцию 1 ÷ 3 мм – 54 %.

Однако песок местного задержания, характерный для любой местности, обычно содержит глинистые включения, и основная масса частиц песка образована фракцией 320 ÷ 640 мкм, поэтому пик содержания частиц размеров 63 ÷ 120 мкм приходится на кусок ветрового наноса с прилегающих территорий.

Исследование насыпной массы измельченного смерзшегося песка с долей воды до 24 % показало, что зависимость насыпной массы его при влажности более 10 % описывается уравнением:

$$\gamma = \gamma_0(1 + k_1W), \quad (1)$$

а от температуры:

$$\gamma_t = \gamma_1 - 0,003t, \quad (2)$$

где  $\gamma_1$  – насыпная масса влажного песка при температуре 0 °С;

$\gamma_0$  – насыпная масса сухого песка при температуре 0 °С;

$W$  – количество влаги в песке в долях от единицы;

$k_1$  – коэффициент влияния влажности для песка, равный 1,1 т/м<sup>3</sup>·град;

$t$  – температура массы, °С.

В точке замерзания воды насыпная масса песка скачкообразно понижается до минимума. При дальнейшем понижении температуры насыпная масса взрыхленного смерзшегося песка линейно возрастает. Наличие минимума при 0 °С объясняется вспучиванием массы в процессе образования кристаллов льда.

Углы естественного откоса влажного смерзшегося песка после дробления смерзшегося блока приведены в таблице 3.

Таблица 3

Углы естественного откоса смерзшегося измельченного песка

Влажность песка, %	Температура, °С			
	0	-5	-10	-20
0	30	30	29	29
5,5	38	37	35	33
11	48	46	42	35

18	53	49	43	37
24	57	53	46	40

С понижением температуры от 0 до  $-20^{\circ}\text{C}$  угол естественного откоса сухого песка остается постоянным  $29 \div 30$  градусов. При влажности 5,5 % он понижается на  $3 \div 5$  градусов, при влажности 11 % на  $11 \div 13$  градусов, а при предельной влажности 24 % снижается на  $15 \div 17$  градусов. В отличие от насыпной массы скачкообразное изменение угла естественного откоса в точке плавления льда не наблюдается.

Коэффициент внутреннего трения при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$  с увеличением влажности песка от 0 до 12 % возрастает с 0,56 до 0,64.

Совместное влияние температуры и влажности песка на величину коэффициента трения по бетону описывается уравнением:

$$\mu_B = \mu_B^0(1 + 0,0045t - 0,4W), \quad (3)$$

где  $\mu_B^0$  – коэффициент трения по бетону сухого песка, равный 0,56;

$t$  – температура массы песка,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  – влажность в долях от единицы.

Сопротивление одноосному сжатию смерзшегося песка определяют уравнением:

$$\sigma_{сж} = \sigma_{сж}^0(1 - 0,01 \cdot t \cdot W), \quad (4)$$

где  $\sigma_{сж}^0$  – сопротивление одноосному сжатию смерзшегося песка при  $0^{\circ}\text{C}$  с определенной влажностью;

$t$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  – содержание влаги в песке, %.

Модуль уплотняемости песка определяется уравнением:

$$\Psi = \Psi_0(1 - 0,0005t + 0,013W), \quad (5)$$

где  $\Psi_0$  – модуль уплотняемости сухого песка при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , равный 0,003 [7];

$t$  – температура песка,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  – влажность песка в долях от единицы.

Коэффициент бокового давления песка может быть определен уравнением:

$$\xi = \xi_0(1 - 0,005t + 0,31W), \quad (6)$$

где  $\xi_0$  – коэффициент бокового давления сухого песка при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , равный 0,47;

$t$  – температура песка,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  – влажность песка в долях от единицы.

### Заключение

При очистке поверхности дороги от наледи резанию подвергается нижний слой, в котором находится основная часть примеси минеральных веществ. Плотность массы данного слоя в среднем равна  $1270 \text{ кг/м}^3$ .

Сопротивление одноосному сжатию смерзшейся наледи этого слоя для температур от 0 до  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$  и влажности от 0 до 24 % меняется в пределах от 0,2 до 4,8 МПа.

После измельчения смерзшейся массы материал имеет углы естественного откоса  $40 \div 57$  градусов, коэффициент внутреннего трения  $0,56 \div 0,64$ , коэффициенты трения по стали  $0,43 \div 0,57$ , по бетону  $0,005 \div 0,013$  и коэффициенты бокового давления  $0,52 \div 0,66$ .

### Список литературы

1. Богородский, В.В. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии / В.В. Богородский, В.П. Таврило. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 384 с.
2. Васильева, З.Г., Грановская А. А., Таперова А.А. Лабораторные работы по общей и неорганической химии. – М.: Химия, 1979. – 336 с., ил.
3. Зенков Р.Л. Машины непрерывного транспорта: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» / Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.: ил.
4. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – С. 216.
5. Рачинский, Ф.Ю., Рачинская М.Ф. Техника лабораторных работ. – Л.: Химия, 1982. – 432 с., ил.
6. Руководство к практическим занятиям по технологии неорганических веществ: Учебное пособие для вузов / Под ред. проф. М. Е. Позина. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1980. – 368 с., ил.
7. Севастьянов, В.А. Методика комплексного исследования физико-механических и реологических свойств сыпучих грузов / Конструирование и эксплуатация подъемно-транспортных машин: Сб. науч. тр. – Тула, 1985. – 103 с. – Библиогр.: с. 105 (3 назв.).

### Рецензенты:

Сажин С.Г., д.т.н., профессор, генеральный директор ООО НТЦ «АСТ», г. Дзержинск.

Луконин В.П., д.т.н., профессор, генеральный директор НИИ Полимеров им. А.А. Каргина, г. Дзержинск.