

УДК 625.8, 546

В. Д. АЛЕКСАНДРОВ, О. В. АЛЕКСАНДРОВА, О. В. СОБОЛЬ, А. Ю. СОБОЛЕВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОДНОФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ – ХИМИЧЕСКИХ АНТИГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ

Аннотация. Как известно, основными способами борьбы с зимней скользкостью являются: тепловой, фрикционный, механический, химический и комбинированный. В настоящее время наиболее эффективным способом ликвидации зимней скользкости считается химический, который основан на распределении антигололедных реагентов (АГР). В данной работе для определения наилучшего состава, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к антигололедным реагентам, был использован однофакторный дисперсионный анализ. Основная идея однофакторного дисперсионного анализа заключается в сравнении дисперсии исследуемого признака, вызванной действием фактора, с дисперсией ошибок измерения этого признака. На основании проведенного однофакторного дисперсионного анализа наиболее эффективным для борьбы с гололедом является эвтектический состав системы нитрат натрия – вода.

Ключевые слова: дорожное покрытие, антигололедные реагенты, солевой раствор, эвтектика, однофакторный дисперсионный анализ.

Рост автомобильного парка предъявляет все более высокие требования к содержанию автомобильных дорог. Особенно ухудшаются условия для движения автомобиля в зимнее время, когда на дорожном покрытии образуются снежно-ледяные образования или происходит обледенение покрытия, поэтому вопрос предупреждения и ликвидации зимней скользкости является основной проблемой зимнего содержания. По данным различных литературных источников количество ДТП в зимнее время возрастает в 2–3 раза по сравнению с летним периодом.

Как известно, основными способами борьбы с зимней скользкостью являются: тепловой, фрикционный, механический, химический и комбинированный. В настоящее время наиболее эффективным считается химический способ ликвидации зимней скользкости, который основан на распределении антигололедных реагентов (АГР). Было проведено значительное количество исследований, составлено множество композиций реагентов, противогололедных покрытий и т. п. Требования к АГР во многих странах стандартны: низкая температура эвтектики, высокая плавящая способность, минимальное экологическое воздействие, низкая коррозионная активность при взаимодействии с металлическими частями транспорта и дорожных сооружений, низкая стоимость и т. д. [1–11].

Для определения наилучшего состава, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к антигололедным реагентам, был использован однофакторный дисперсионный анализ. Он был проведен на основании справочных [12, 13] и экспериментальных данных, полученных методами термического анализа [14, 15], приведенных в таблице 1, в которой солевые растворы пронумерованы латинскими буквами: А – $NaCl/H_2O$, В – $CaCl_2/H_2O$, С – KCl/H_2O , D – $MgCl_2/H_2O$, E – CH_3COONa/H_2O , F – CH_3CO_2K/H_2O , G – $Mg(CH_3COO)_2/H_2O$, H – $Ca(CH_3COO)_2/H_2O$, I – $Na_2S_2O_3/H_2O$, J – $Ca(NO_3)_2/H_2O$, K – $Mg(NO_3)_2/H_2O$, L – $NaNO_3/H_2O$.

В результате была составлена сводная таблица 2 по убывающей степени полезности противогололедных реагентов, обозначенные баллами от 1 до 12.

Основная идея однофакторного дисперсионного анализа заключается в сравнении дисперсии исследуемого признака, вызванной действием фактора, с дисперсией ошибок измерения этого признака. Если различие между ними значимо, то фактор оказывает существенное влияние на исследуемый

Таблица 1 – Физические характеристики антигололедных реагентов: I – содержание соли С (вес. %); II – температура кристаллизации (плавления) T_L (°С); III – переохлаждение ΔT^- (°С); IV – энтальпия плавления ΔH_{L_s} (кДж/кг); V – теплоемкость c_p^s (Дж/г·К); VI, VII – плотности ρ_s, ρ_L (г/см³); VIII – $\Delta\rho = \rho_s - \rho_L$; IX – плавающая способность в интервале от -5 °С до -50 °С (кг льда/кг соли); X – коррозионная активность (г/м²·сутки); XI – вязкость (сП); XII – максимальный расход (г/м²); XIII – класс опасности (воздействие на человека и окружающую среду); XIV – цена (руб/тонна)

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|-------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| A | 22,4 | -21,2 | 2,5 | 207 | 3,30 | 1,172 | 1,16 | 0,012 | 13,3÷3,2 (низкая) | 0,8 (высокая) | 3,15÷6,71 | 100 | 3 | 3 500 |
| B | 38,0 | -50 | 1,4 | ≈300 | 2,529 | 1,304 | 1,286 | 0,018 | 9,0÷2,6 (низкая) | 1,02 (высокая) | 4,36÷14,74 | 70 | 3 | 15 000 |
| C | 19,5 | -10,6 | 2,0 | 283 | 3,24 | 1,15 | 1,13 | 0,02 | < 7,0 (низкая) | < 0,8 (низкая) | 9,2 | 130 | 3 | 18 000 |
| D | 20,6 | -33,6 | 3,0 | 218 | 2,0 | 1,56 | 1,178 | 0,382 | < 3,0 (низкая) | 1,29 (высокая) | 7,80÷25,50 | 80 | 2 | 20 000 |
| E | 23,0 | -18 | 2,3 | 310 | 2,8 | 1,7 | 1,528 | 0,172 | 7,3÷4,6 (высокая) | < 0,8 (низкая) | ≈ 14,4 | 60 | 3 | ≈ 95 000 |
| F | 50,0 | -30 | 1,5 | 220 | 3,83 | 1,571 | 1,2 | 0,371 | 11,5÷1,3 (высокая) | < 0,8 (низкая) | 7,42÷16,79 | 50 | 3 | ≈ 89 000 |
| G | 34,5 | -29 | 1,7 | 290 | 2,2 | 1,454 | 1,12 | 0,334 | 7,3÷2,3 (высокая) | < 0,8 (низкая) | 16,4 | 75 | 3 | ≈ 90 000 |
| H | 29,5 | -13 | 2,2 | 205 | 1,6 | 1,6 | 1,54 | 0,06 | 5,7÷3 (высокая) | < 0,8 (низкая) | ≈ 20,0 | 55 | 3 | ≈ 80 000 |
| I | 30,3 | -12 | 6,3 | 194 | 1,45 | 1,725 | 1,67 | 0,055 | 8,0 (высокая) | < 0,8 (низкая) | ≈ 15,4 | 125 | 3 | ≈ 19 200 |
| J | 42,9 | -28,4 | 1,3 | 132 | 2,6 | 1,896 | 1,36 | 0,536 | 2,5 (низкая) | < 0,8 (низкая) | ≈ 2,04 | 90 | 3 | ≈ 62 000 |
| K | 34,0 | -31,9 | 1,8 | ≈ 250 | 3,85 | 1,76 | 1,302 | 0,458 | 12,0 (высокая) | < 0,8 (низкая) | 13,8 | 110 | 3 | ≈ 60 000 |
| L | 36,9 | -17,4 | 2,7 | 159 | 3,32 | 1,63 | 1,29 | 0,36 | 10,5 (высокая) | < 0,8 (низкая) | ≈ 10,0 | 85 | 3 | ≈ 59 000 |

Таблица 2 – Степени полезности противогололедных реагентов

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|------------|-------------|-----------|----------|-----------|------------|-------------|------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV |
| A | 3 | 6 | 1 | 8 | 4 | 2 | 3 | 1 | 10 | 12 | 3 | 9 | 1 | 1 |
| B | 9 | 12 | 3 | 2 | 8 | 3 | 6 | 2 | 11 | 11 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| C | 1 | 1 | 7 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 12 | 9 | 2 | 12 | 3 | 3 |
| D | 2 | 11 | 11 | 7 | 10 | 5 | 4 | 10 | 7 | 10 | 12 | 6 | 12 | 4 |
| E | 4 | 5 | 9 | 1 | 6 | 9 | 11 | 6 | 2 | 6 | 6 | 3 | 9 | 12 |
| F | 12 | 9 | 4 | 6 | 2 | 6 | 5 | 9 | 1 | 7 | 9 | 1 | 8 | 11 |
| G | 8 | 8 | 5 | 3 | 9 | 4 | 1 | 7 | 3 | 8 | 10 | 5 | 10 | 10 |
| H | 5 | 3 | 8 | 9 | 11 | 7 | 8 | 5 | 4 | 5 | 11 | 2 | 11 | 9 |
| I | 6 | 2 | 12 | 10 | 12 | 10 | 12 | 4 | 8 | 1 | 8 | 11 | 4 | 5 |
| J | 11 | 7 | 2 | 12 | 7 | 12 | 10 | 12 | 9 | 2 | 1 | 8 | 5 | 8 |
| K | 7 | 10 | 6 | 5 | 1 | 11 | 9 | 11 | 5 | 3 | 7 | 10 | 6 | 7 |
| L | 10 | 4 | 10 | 11 | 3 | 8 | 7 | 8 | 6 | 4 | 5 | 7 | 7 | 6 |

решалась с помощью пакета приложения Excel, в котором имеется инструмент «Однофакторный дисперсионный анализ». Программа выдала результат, приведенный в таблице 3.

Таблица 3 – Однофакторный дисперсионный анализ

| <i>Группы</i> | <i>Счет</i> | <i>Сумма</i> | <i>Среднее</i> | <i>Дисперсия</i> |
|---------------|-------------|--------------|----------------|------------------|
| Строка 1 | 14 | 64 | 4,571428571 | 14,10989011 |
| Строка 2 | 14 | 79 | 5,642857143 | 14,4010989 |
| Строка 3 | 14 | 65 | 4,642857143 | 15,01648352 |
| Строка 4 | 14 | 111 | 7,928571429 | 11,14835165 |
| Строка 5 | 14 | 89 | 6,357142857 | 10,86263736 |
| Строка 6 | 14 | 90 | 6,428571429 | 12,41758242 |
| Строка 7 | 14 | 91 | 6,5 | 8,884615385 |
| Строка 8 | 14 | 98 | 7 | 9,230769231 |
| Строка 9 | 14 | 105 | 7,5 | 14,73076923 |
| Строка 10 | 14 | 106 | 7,571428571 | 14,72527473 |
| Строка 11 | 14 | 98 | 7 | 8,923076923 |
| Строка 12 | 14 | 96 | 6,857142857 | 5,824175824 |

Из таблицы 3 видно, что наименьшую дисперсию имеет фактор под номером 12 (в нашем случае это $NaNO_3/H_2O$ – дисперсия равна 5,82). Из таблицы 4 следует, что расчетное значение $F = 0,04$ меньше табличного значения $F_{кр} = 1,78$, что позволяет сделать вывод о равенстве дисперсий исследуемых факторов.

Таблица 4 – Дисперсионный анализ

| <i>Источник вариации</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-Значение</i> | <i>F критическое</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------------------|----------------------|
| Между группами | 8,125 | 13 | 0,625 | 0,0495 | 0,9999 | 1,7841 |
| Внутри групп | 1 943,583 | 154 | 12,62067 | | | |
| Итого | 1 951,708 | 167 | | | | |

Построим график физических характеристик (рисунок) $NaNO_3/H_2O$ (график строился по данным таблицы 2).

Т. о., на основании проведенного однофакторного дисперсионного анализа из представленного списка веществ наиболее эффективным для борьбы с гололедом является эвтектический состав системы нитрат натрия – вода.



Рисунок – График физических характеристик раствора $NaNO_3/H_2O$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах [Текст] : отраслевой дорожный методический документ ; утв. распоряжением Минтранса России от 16.06.2003 № ОС-548-р. – М. : Транспорт, 2003. – 43 с.
2. Справочная энциклопедия дорожника [Текст] / А. П. Васильев, В. К. Апестин, В. И. Баловнев [и др.] ; Федеральное дорожное агентство «Росавтодор». – М. : Информавтодор, 2004. – 507 с.
3. Бялобжеский, Г. В. Зимнее содержание автомобильных дорог [Текст] / Г. В. Бялобжеский, А. К. Дюнин, Л. Н. Пласка и др. ; 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1983. – 197 с.
4. Методика испытаний противогололедных материалов [Текст] : отраслевой дорожный методический документ / М-во трансп. Российской Федерации, Гос. служба дор. хоз-ва. – М. : Росавтодор, 2003. – 23 с.
5. ОДН 218.2.027-2003 Требования к противогололедным материалам [Текст] : отраслевые дорожные нормы / М-во трансп. Российской Федерации, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор.). – М. [б. и.], 2003. – 20 с.
6. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах [Текст] / М-во трансп. Российской Федерации, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор.). – М. : Росавтодор, 2003. – 72 с.
7. Меренцова, Г. С. Экологическая оценка воздействия противогололедных материалов на окружающую среду в придорожной полосе [Электронный ресурс] / Г. С. Меренцова, Е. В. Строганов // Сборник 4-й Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь». Секция Строительство, подсекция Строительство автомобильных дорог и аэродромов. – АлтГТУ. – 2007. – Режим доступа : <http://edu.secna.ru/main/review>.
8. Меренцова, Г. С. Разработка эффективных антигололедных веществ для борьбы с зимней скользкостью покрытий автомобильных дорог в условиях Западной Сибири [Текст] / Г. С. Меренцова, Е. В. Строганов // Сборник материалов Всероссийского семинара заведующих кафедрами экологии и охраны окружающей среды. – Пермь : Изд-во РИО ПГТУ, 2006. – С. 94–99.
9. Поиск низкотемпературных противогололедных композиций в водно-солевой системе $Ca(NO_3)_2-Mg(NO_3)_2-SO(NH_2)_2-H_2O$ и исследование их свойств [Текст] / В. П. Данилов, Е. А. Фролова, Д. Ф. Кондаков, Л. И. Авдюшкина [и др.] // Химическая технология. – 2010. – Т. 11. – № 4. – С. 193–198.
10. Низкотемпературные противогололедные композиции в водно-солевых системах, включающих ацетаты и формиаты [Текст] / В. П. Данилов, Е. А. Фролова, Д. Ф. Кондаков, Л. И. Авдюшкина [и др.] // Химическая технология. – 2011. – Т. 12. – № 3. – С. 134–141.
11. Разработка противогололедных реагентов на основе формиатов, ацетатов и нитратов щелочных и щелочноземельных металлов и аммония [Текст] / В. П. Данилов, Е. А. Фролова, Д. Ф. Кондаков, Л. И. Авдюшкина [и др.] // Химическая технология. – 2012. – Т. 13. – № 5. – С. 31–42.
12. Киргинцев, А. Н. Растворимость неорганических веществ в воде [Текст] / А. Н. Киргинцев, Л. Н. Трушников, В. Г. Лаврентьев. – Л. : Химия, 1972. – 248 с.
13. Справочник экспериментальных данных по растворимости солевых систем [Текст] : в 3 т, т. 3 / под ред. В. В. Вязового, А. Д. Пельша. – Л. : ГХИ, 1961. – 1477 с.
14. Александров, В. Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных жидкостей и аморфных сред [Текст] : в 2 т, т. I. / В. Д. Александров. – Донецк : Издательство «Донбасс», 2011. – 590 с.

15. Александров, В. Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных жидкостей и аморфных сред [Текст] : в 2 т, т. 2 / В. Д. Александров, С. А. Фролова, В. А. Постников [и др.]. – Донецк : Издательство «Донбасс», 2018. – 412 с.

Получена 23.12.2019

**В. Д. АЛЕКСАНДРОВ, О. В. АЛЕКСАНДРОВА, О. В. СОБОЛЬ, О. Ю. СОБОЛЕВ
ОДНОФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ
СОЛЬОВИХ РОЗЧИНІВ – ХІМІЧНИХ ПРОТИОЖЕЛЕДНИХ РЕАГЕНТІВ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»**

Анотація. Як відомо, основними способами боротьби із зимовою слизькістю є: тепловий, фрикційний, механічний, хімічний і комбінований. На цей час найбільш ефективним способом ліквідації зимової слизькості вважається хімічний, який заснований на розподілі протиожеледних реагентів (ПОР). У даній роботі для визначення найкращого складу, що задовольняє всім вимогам, що пред'являються до протиожеледних реагентів, був використаний однофакторний дисперсійний аналіз. Основна ідея однофакторного дисперсійного аналізу полягає в порівнянні дисперсії досліджуваної ознаки, викликаній дією фактора, з дисперсією помилок виміру цієї ознаки. На підставі проведеного однофакторного дисперсійного аналізу найбільш ефективним для боротьби з ожеледдю є евтектичний склад системи нітрат натрію – вода.

Ключові слова: дорожнє покриття, протиожеледні реагенти, сольовий розчин, евтектика, однофакторний дисперсійний аналіз.

**VALERY ALEKSANDROV, OLGA ALEKSANDROVA, OKSANA SOBOLOV,
ALEKSANDR SOBOLEV
SINGLE-FACTOR DISPERSION ANALYSIS OF SALT SOLUTIONS – CHEMICAL
ANTI-ICE REAGENTS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture**

Abstract. As is known, the main ways to combat winter slippery are heat, friction, mechanical, chemical and combined. Currently, the most effective way to eliminate winter slippery is the chemical, which is based on the distribution of anti-ice reagents (AIR). In this work, a single-factor dispersion assay was used to determine the best composition to meet all the requirements for anti-ice reagents. The basic idea of single-factor dispersion analysis is to compare the variance of the test feature caused by the action of the factor with the variance of errors of measurement of that feature. Based on the single-factor dispersion analysis carried out, the most effective for ice control is the eutectic composition of the sodium nitrate-water system.

Key words: road surface, anti-ice reagents, saline, eutectic, single-factor dispersion analysis.

Александров Валерий Дмитриевич – доктор химических наук, профессор; заведующий кафедрой физики и физического материаловедения ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

Александрова Ольга Валерьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики и информатики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение методов математической статистики для описания физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

Соболь Оксана Викторовна – кандидат химических наук, доцент кафедры физики и физического материаловедения ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

Соболев Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры физики и физического материаловедения ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

Александров Валерий Дмитриевич – доктор хімічних наук, професор; завідувач кафедри фізики та фізичного матеріалознавства ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

Александрова Ольга Валеріївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої математики та інформатики ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: методи математичної статистики при аналізі фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

Соболев Оксана Вікторівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри фізики та фізичного матеріалознавства ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

Соболев Олександр Юрієвич – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики та фізичного матеріалознавства ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

Aleksandrov Valery – D. Sc. (Chemistry), Professor; Head of Physics and Physical Materials Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

Aleksandrova Olga – Ph. D. (Physics and Mathematic Science), Associate Professor, Higher Mathematics and Computer Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

Sobol Oksana – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor, Physics and Physical Materials Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

Sobolev Aleksandr – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Physics and Physical Materials Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.