

DOI: 10.34031/article_5ce292c95984b4.27808276

^{1,*}Логанина В.И., ¹Кислицына С.Н., ¹Сергеева К.А.¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28

*E-mail: loganin@mail.ru

РАЗРАБОТКА СОСТАВА АНТИОБЛЕДЕНИТЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

Аннотация. Приведены сведения о составе антиобледенительного покрытия. Рассмотрено использование в качестве связующего акриловой смолы А-01 и DEGALAN®, высокохлорированной полиэтиленовой смолы НСРЕ и силиконовой смолы SILRES® MSE 100. Выявлены закономерности изменения вязкости состава в зависимости от объемного содержания наполнителя – аэросила марки R 972. Установлено, что при наполнении в интервале $0 < \varphi < 0,012$ увеличение вязкости незначительно. При дальнейшем наполнении ($\varphi > 0,012$) происходит значительное изменение соотношения объемной и пленочной фаз матрицы, наблюдается резкое повышение вязкости состава. Для каждого вида смолы установлено оптимальное объемное содержание наполнителя. Выявлено, что взаимодействие в системе наполнитель-наполнитель преобладает над взаимодействием в системе наполнитель-связующее. При оценке гидрофобных свойств установлено, что покрытия имеют высокий краевой угол смачивания (более 150°), и угол скатывания не превышает 10°, что подтверждает наличие супергидрофобности и предполагает антиобледенительные свойства у покрытий. Адгезия покрытия к подложке, оцененная методом решетчатого надреза, на растворной и металлической подложках составила 1 балл. При 4-кратном увеличении отмечены ровные и четкие значения надрезов без сколов и крошения.

Ключевые слова: покрытие, супергидрофобность, краевой угол смачивания, угол скатывания.

Введение. Проблема обледенения проводов ЛЭП, контактных сетей железнодорожного и городского электротранспорта, крыш жилых и общественных зданий, несмотря на предложения в научно-технической и патентной литературе, является в настоящее время актуальной. Образование льда на внешних поверхностях, таких как крыши зданий, провода приносит большие экономические потери и риски для безопасности. Применение антиобледенительной композиции позволяет снизить энергетические затраты на его удаление, продлить срок службы защищенных поверхностей и уменьшить ежегодные расходы на эксплуатацию [1–5].

Лед легко образуется в окружающей среде с температурой < 5 °С и влажностью > 50 %. Способность конденсата легко скатываться с поверхности зависит от силы взаимодействия между каплей и поверхностью подложки. Механизм антиобледенительного действия непосредственно связан с гидрофобностью поверхностного слоя, которая регулируется поверхностной энергией, и поверхностной структурой [6–8].

К антиобледенительным покрытиям определены следующие требования:

- высокая адгезия к защищаемым материалам;
- низкая адгезия льда к покрытию;
- краевой угол смачивания водой не ниже 150°;
- угол скатывания воды с покрытия не более 10°.

Методика исследования. В работе были использованы следующие виды смол: акриловая смола А-01, акриловая смола DEGALAN®, высокохлорированная полиэтиленовая смола НСРЕ и кремнийорганическая смола. В качестве наполнителя применяли аэросил марки R 972 с плотностью $\rho = 2360$ кг/м³, размерами частиц 16 нм и удельной поверхностью $S_{уд} = 12000$ м²/кг.

Степень гидрофобности оценивали по величине краевого угла смачивания (θ°) и углу скатывания капли воды с покрытия (φ_0).

Оптимальное содержание наполнителя было рассчитано двумя методами. В первом случае расход наполнителя рассчитывался по следующим формулам:

$$V_n = \frac{1}{\alpha}, \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{\rho_{нас}}{\alpha \cdot \rho_{ист}}, \quad (2)$$

где V_n – объем частиц наполнителя, ед. об.; α – коэффициент раздвижки частиц наполнителя; $\rho_{нас}$ – насыпная плотность наполнителя, кг/м³; $\rho_{ист}$ – истинная плотность наполнителя, кг/м³; φ – объемное содержание наполнителя.

Коэффициент раздвижки частиц наполнителя определялся по формуле:

$$\alpha = \left(\frac{d+h}{d} \right)^3, \quad (3)$$

где d – средний размер частиц наполнителя, м; h – средняя толщина прослойки пленкообразователя, м, принималась равной $h=(0,14\pm 0,01)D$.

У аэросила R 972 плотностью $\rho=2360$ кг/м³, размерами частиц 16 нм $h = 2,4$ нм или 0,0024 мкм.

Вторым методом расчет производился по формуле:

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{нас}}}{\rho_{\text{ист}} \left(\frac{hS_{\text{уд}}\rho_{\text{ист}}}{6} + 1 \right)^3}, \quad (4)$$

где $S_{\text{уд}}$ – удельная поверхность наполнителя.

Удельная поверхность определялась с помощью прибора ПСХ-12.

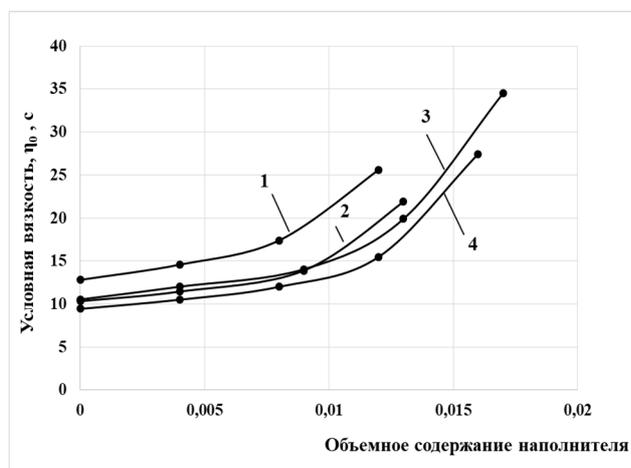


Рис. 1. Зависимость относительной вязкости от объемной концентрации наполнителя
1 – акриловая смола A01;
2 – силиконовая смола SILRES® MSE 100;
3 – высокохлорированная полиэтиленовая смола HCPE; 4 – акриловая смола DEGALAN

На рис. 2 представлена зависимость вязкости от объемной доли наполнителя в координатах $\lg \eta - C$ (где C – концентрация наполнителя в системе). Эта зависимость представляет собой две пересекающиеся прямые. Точка пересечения, спроецированная на ось абсцисс, будет представлять собой критическую объемную концентрацию наполнителя (КОКП). Наличие точки перегиба на кривой зависимости $\lg \eta = f(C)$ свидетельствует о том, что взаимодействие в системе наполнитель-наполнитель преобладает над взаимодействием в системе наполнитель-связующее.

Установлено, что оптимальное содержание наполнителя аэросила R 972 плотностью $\rho_f=2360$ кг/м³, насыпной плотностью $\rho_n=50$ кг/м³, удельной поверхностью $S_u=12000$ м²/кг для акриловой смолы A-01, высокохлорированной полиэтиленовой смолы HCPE составляет $V=0,008$, для силиконовой смолы SILRES® MSE 100–0,009,

Результаты исследований. На рис. 1 представлена зависимость относительной вязкости от объемной концентрации наполнителя. Как видно из полученных данных, при наполнении в интервале примерно $0 < \varphi < 0,012$ увеличение вязкости незначительно, полимерная матрица лишь частично переходит в пленочное состояние. При малой концентрации наполнителя граничные слои удаленных друг от друга частиц не представляют собой выделенной в объеме материала самостоятельной фазы, способной оказывать влияние на его свойства.

При дальнейшем наполнении ($\varphi > 0,012$) происходит значительное изменение соотношения объемной и пленочной фаз матрицы, наблюдается резкое повышение вязкости состава.

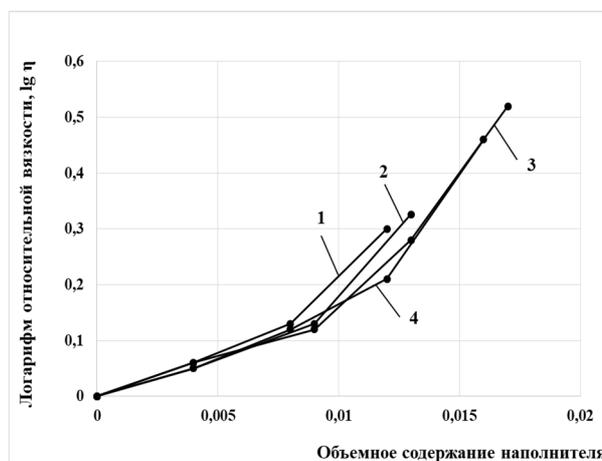


Рис. 2. Зависимость вязкости от объемной доли наполнителя в координатах $\lg \eta - C$
1 – акриловая смола A-01; 2 – силиконовая смола SILRES® MSE 100; 3 – высокохлорированная полиэтиленовая смола HCPE; 4 – акриловая смола DEGALAN

для акриловой смолы DEGALAN – 0,012, что согласуется с полученными расчетными данными

Полученные растворы были нанесены на растворные подложки. При оценке гидрофобных свойств установлено, что покрытия имеют высокий краевой угол смачивания (более 150°), и угол скатывания не превышает 10° (см. табл.1), что подтверждает наличие супергидрофобности и предполагает антиобледенительные свойства у покрытий. Результаты проведенных исследований показывают, что гидрофобные свойства покрытий на металлической подложке проявляются в большей степени, чем на растворяющей подложке.

Рельеф поверхности покрытия, сформированный с помощью аэросила R-972, который имеет поверхностные гидрофобные метильные группы, позволило увеличить значение краевого угла смачивания свыше 150° (табл. 1). Гидрофобный слой понижает поверхностное натяжение

покрытия, препятствуя растеканию капли воды (рис. 3). Созданная за счет сформированной высокоразвитой морфологии структуры шероховатость поверхности покрытия уменьшает площадь

контакта из-за присутствия воздушных зазоров между каплями воды и гидрофобизированной поверхностью и, как следствие, снижает адгезионные силы.

Таблица 1

Значение краевого угла смачивания на антиобледенительном покрытии на основе различных смол

Покрытие на основе смолы	Угол смачивания (θ°), град		Угол скатывания, (ϕ°), град	
	на растворной подложке	на металлической подложке	на растворной подложке	на металлической подложке
Высокохлорированная полиэтиленовая смола НСРЕ	151	170	16	9,6
Акриловая А-01	151	175	15	9,6
Акриловая смола DEGALAN®	152	154	16	10
Силиконовая смола SILRES® MSE 100	152	176	9,6	5



Рис. 3. Капля воды на поверхности антиобледенительного покрытия на основе акриловой смолы А-01

Адгезия покрытия к подложке оценивалась методом решетчатого надреза и составила 1 балл. При 4-кратном увеличении отмечены ровные и четкие значения надрезов без сколов и крошения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилова О.А., Проскурина О.И., Антипов В.Н., Хамова Т.В., Есипова Н.Е., Пугачев К.Э., Ладиллина Е.Ю., Кручинина И.Ю. Золь-гель синтез и гидрофобные свойства антифрикционных покрытий для использования в высокооборотных минитурбогенераторах // Физика и химия стекла. 2014. Т. 40. № 3. С. 419–425.

Информация об авторах

Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры управления качеством и технологии строительного производства. E-mail: loganin@mail.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Г.Титова, д. 28.

Кислицына Светлана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных материалов и деревообработки. E-mail: kislitsyna_sn@mail.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Г.Титова, д. 28.

2. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение // Успехи химии. 2008. Т. 77. № 7. С. 619–638.

3. Lakshmi R.V., Bharathidasan T. Fabrication of superhydrophobic and oleophobic sol-gel nanocomposite coating // Surface & Coatings Technology. 2011. Vol. 257. No. 24. P. 7.

4. Nosonovsky M., Bhushan B. Superhydrophobic Surfaces and Emerging Applications: Nonadhesion, Energy, Green Engineering // Current Opinions Coll. Interface Sci. 2009. No. 14. Pp. 270–280.

5. Shirtcliffe N.J., McHale G., Newton M.I., Perry C.C. Intrinsically Superhydrophobic Organosilica Sol-Gel Foams // Langmuir. 2003. Vol. 19. No. 14. Pp. 5626–5631.

6. Venkateswara Rao A., Latthe S.S., Nadargi D.Y., Hirashima H., Ganesan V. Preparation of MTMS based transparent superhydrophobic silica films by sol-gel method // J. Colloid Interf. Sci. 2000. Vol. 332. No 2. Pp. 484–490.

7. Thorpe A.A., Smith J.R., Peters V. Poly(methylpropenoxyfluoroalkylsiloxane)s: a class of fluoropolymers capable of inhibiting bacterial adhesion onto surfaces // J. Fluor. Chem. 2000. No. 104. P. 37–45.

8. Кожухова М.И., Флорес-Вивиан И., Рао С., Строкова В.В., Соболев К. Г. Комплексное силосановое покрытие для гидрофобизации бетонных поверхностей // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 26–30.

Сергеева Кристина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры физики и химии. E-mail: kleopatra0100@rambler.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Г.Титова, д. 28.

Поступила в январе 2019 г.

© Логанина В.И., Кислицына С.Н., Сергеева К.А., 2019

^{1,*}**Loganina V.I., ¹Kislitsyna S.N., ¹Sergeev K.A.**
¹*Penza State University of Architecture and Construction*
 Russia, 440028, Penza, st. G. Titova, d. 28
 *E-mail: loganin@mail.ru

DEVELOPMENT OF ANTI-ICING COATING

Abstract. The information about the composition of the anti-icing coating is provided. The use of acrylic resin A-01 and DEGALAN®, highly chlorinated polyethylene resin HCPE and silicone resin SILRES® MSE 100 as a binder is considered. The regularities of changes in viscosity of the composition depending on volume content of the filler – Aerosil brand R 972 are revealed. It is found that the viscosity increase is insignificant when filling in the range $0 < \varphi < 0.012$. With further filling ($\varphi > 0.012$) there is a significant change in the ratio of the volume and membranous phases of the matrix, there is a sharp increase in the viscosity of the composition. The optimal volumetric composition of the filler is established for each type of the resin. It is revealed that the interaction in the filler-filler system prevails over the interaction in the filler-binder system. In assessing the hydrophobic properties, it is found that the coatings have a high contact angle (more than 150°), and the roll-off angle does not exceed 10° , which confirms the presence of superhydrophobicity and assumes anti-icing properties of the coatings. The adhesion of the coating to the substrate estimated by the lattice incision method on the mortar and metal substrates is 1 point. Smooth and clear cuts without chipping and cracking are marked at 4x magnification.

Keywords: coating, superhydrophobicity, edge of contact angle, roll-off angle.

REFERENCES

1. Shilova O.A., Proskurina O.I., Antipov V.N., Khamova T.V., Esipova N.E., Pugachev K.E., Ladilina E.Yu., Kruchinina I.Yu. Sol-gel synthesis and hydrophobic properties of anti-friction coatings for use in high-speed mini-turbine generators [Zol'-gel' sintez i gidrofobnye svoystva antifrikcionnykh pokrytij dlya ispol'zovaniya v vysokooborotnykh mini-turbogeneratorah]. Physics and Chemistry of Glass. 2014. Vol. 40. No. 3. Pp. 419–425. (rus)
2. Boynovich L.B., Emelianenko A.M. Hydrophobic materials and coatings: principles of creation, properties and application [Gidrofobnye materialy i pokrytiya: principy sozdaniya, svoystva i primeneniye]. Chemistry Advances. 2008. Vol. 77. № 7. Pp. 619–638. (rus)
3. Lakshmi R.V., Bharathidasan T. Fabrication of superhydrophobic and oleophobic sol – gel nanocomposite coating. Surface & Coatings Technology. 2011. No. 24. Vol. 257. P. 7.
4. Nosonovsky M., Bhushan B. Superhydrophobic Surfaces and Emerging Applications: Nonadhesion, Energy, Green Engineering. Current Opinions Coll. Interface Sci. 2009. No. 14. Pp. 270–280.
5. Shirtcliffe N.J., McHale G., Newton M.I., Perry C.C. Intrinsically Superhydrophobic Organosilica Sol-Gel Foams. Langmuir. 2003. Vol. 19. No. 14. Pp. 5626–5631.
6. Venkateswara Rao A., Latthe S.S., Na-dargi D.Y., Hirashima H., Ganesan V. Preparation of the MTMS-based superhydrophobic silica films by sol-gel method. J. Colloid Interf. Sci. 2000. Vol. 332. No. 2. Pp. 484–490.
7. Thorpe A.A., Smith J.R., Peters V. Poly (methylpropenoxyfuoroalkylsiloxane)s: a class of fluoropolymers capable of inhibiting bacterial adhesion on surfaces. J. Fluor. Chem, 2000. No. 104. Pp. 37–45.
8. Kozhukhova M.I., Flores-Vivian I., Rao S., Strokova V.V., Sobolev K.G. Complex siloxane coating for hydrophobization of concrete surfaces [Kompleksnoe siloksanovoe pokrytie dlya gidrofobizacii betonnykh poverhnostej]. Construction materials. 2014. No. 3. Pp. 26–30. (rus)

Information about the authors

Loganina, Valentina I. DSc, Professor. E-mail: loganin@mail.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. G. Titova, d. 28.

Kislitsyna, Svetlana N. PhD, Associate Professor. E-mail: kislitsyna_sn@mail.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. G. Titova, d. 28.

Sergeeva, Kristina A. PhD, Associate Professor. E-mail: kleopatra0100@rambler.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. G. Titova, d. 28.

Received in January 2019

Для цитирования:

Логанина В.И., Кислицына С.Н., Сергеева К.А. Разработка состава антиобледенительного покрытия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 23–27. DOI: 10.34031/article_5ce292c95984b4.27808276

For citation:

Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Sergeeva K.A. Development of anti-icing coating. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 5. Pp. 23–27. DOI: 10.34031/article_5ce292c95984b4.27808276