Исследование кинетики замерзания капли воды на супергидрофобной поверхности покрытий

В.И. Логанина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС),
440028 г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28

АННОТАЦИЯ

Введение. Для предотвращения обледенения крыш зданий, опор линий электропередач применяют антиобледенительные покрытия. Одной из характеристик антиобледенительных свойств супергидрофобных поверхностей является задержка кристаллизации капель на таких поверхностях. В научно-технической литературе отмечается значительное запаздывание кристаллизации капель воды на супергидрофобных подложках. Однако в ряде работ отмечается, что время запаздывания кристаллизации на гидрофильных подложках больше соответствующих значений на супергидрофобных поверхностях. Исследование кинетики замерзания капли воды на супергидрофобной поверхности с целью оценки эффективности ее применения является актуальной научно-технической задачей.

Материалы и методы. Для оценки кинетики замерзания капли воды на супергидрофобной поверхности был проведен эксперимент: капля воды наносилась на супергидрофобную поверхность растворной подложки, которую помещали в морозильную камеру с температурой -18°C . Исследования динамики замерзания капли на поверхности проводили с помощью тепловизора Testo 875-1. Для создания супергидрофобной поверхности в качестве наполнителя применяли аэросил марки R 972 с плотностью $\rho = 2360 \text{ кг/м}^3$, размерами частиц 16 нм и удельной поверхностью $S_{\text{уд}} = 12\,000 \text{ м}^2/\text{кг}$. В качестве связующего использовали силиконовую смолу SILRES® MSE 100 10-процентной концентрации. Полученные растворы наносили на растворные подложки. Степень гидрофобности оценивали по величине краевого угла смачивания (θ°).

Результаты. Результаты исследований распределения температуры на поверхности капли воды свидетельствуют о неравномерности ее распределения. Процесс замерзания капли — многостадийный. В начальный период наблюдается перенос тепла от поверхности к капле воды. Затем следует процесс замораживания капли, который проявляется в движении фронта замерзания от подложки вверх.

Выводы. Выявлено, что распределение температуры на поверхности капли воды является неравномерным. При замерзании капля воды имеет заостренную вершину.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: супергидрофобность, краевой угол смачивания, температура замерзания, тепловой поток

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Логанина В.И. Исследование кинетики замерзания капли воды на супергидрофобной поверхности покрытий // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 4. С. 435–441. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.435-441

Research of freezing kinetics of water drop on superhydrophobic coating surfaces

Valentina I. Loganina

Penza State University of Architecture and Construction,
28 German Titov st., Penza, 440028, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Anti-icing coatings are used to prevent icing of the building roofs and power transmission line poles. One of the characteristics of anti-icing properties of superhydrophobic surfaces is the delay in the crystallization of drops on such surfaces. A significant delay in the crystallization of water drops on superhydrophobic substrates is noted in the scientific and technical literature. However, it is recorded in a number of papers that the delay time of crystallization on hydrophilic substrates is longer than the corresponding values on superhydrophobic surfaces. In connection with the foregoing, the study of the freezing kinetics of a water drop on a superhydrophobic surface in order to assess its efficiency is a relevant scientific and technical problem.

Materials and methods. To evaluate the kinetics of freezing of a water drop on a superhydrophobic surface, the following experiment is conducted. A drop of water is placed on the superhydrophobic surface of the mortar substrate, which is placed in a freezer at a temperature of -18°C . Studies of the drop freezing dynamics on the surface are performed using a Testo 875-1 thermal imager. To create a superhydrophobic surface, an aerosil R 972 with density $\rho = 2360 \text{ kg/m}^3$, particle size of 16 nm and specific surface area $S_{\text{sp}} = 12\,000 \text{ m}^2/\text{kg}$ is used as a filler. A silicone resin SILRES® MSE 100 of 10 % concentration is used as a binder. The obtained solutions are deposited on the mortar substrates. The degree of hydrophobicity is assessed by the magnitude of the wetting angle (θ°).

Results. Results of the studies of temperature distribution on the water drop surface indicate that the distribution is uneven. The process of drop freezing is multistage. In the initial period, there is a transfer of heat from the surface into the water drop. This stage is followed by the process of drop freezing which is manifested in the upward movement of the freezing front from the substrate.

Conclusions. It is revealed that the temperature distribution on the surface of a water drop is uneven. When freezing, a water drop has a pointed top.

KEYWORDS: superhydrophobicity, wetting angle, freezing temperature, heat flux

FOR CITATION: Loganina V.I. Research of freezing kinetics of water drop on superhydrophobic coating surfaces. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:4:435-441. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.4.435-441 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Для предотвращения обледенения крыш зданий, опор линий электропередач применяют антиобледенительные покрытия. Среди их преимуществ можно отметить следующие:

- малое время контакта падающей капли с поверхностью [1–3];
- малая адгезия льда к поверхности (менее 100 КПа) и антикоррозионные свойства [4–6].

В настоящее время на рынке антиобледенительных композиций представлены составы ПРОЛ, НИВАСАР-300, ULTRA GUARD СТОПЛЕД, ОС-12-03, Slider, Baltek-Antiice и др. [7–10].

Несмотря на большое количество предлагаемых композиций, проблема борьбы с обледенением остается актуальной. В ряде случаев покрытия, обладая супергидрофобным эффектом, после определенного срока эксплуатации теряют супергидрофобный эффект [11–13]. Проведенные нами исследования позволили рекомендовать состав для антиобледенительного покрытия, содержащий кремнийорганическую смолу SILRES® MSE 100 и аэросил марки R 972. Результаты исследований показали, что после смачивания в течение 72 ч покрытия на основе силиконовой смолы SILRES® MSE 100 5 и 10-процентной концентрации сохранили супергидрофобный эффект — краевой угол смачивания на растворной подложке составил более 150 град. Адгезия покрытий к подложке, оцененная методом решетчатого надреза в соответствии с ГОСТ 15140-78 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии» после увлажнения составила 1 балл.

Одной из характеристик антиобледенительных свойств сверхгидрофобных поверхностей является задержка кристаллизации капель на таких поверхностях. В работах [14–16] отмечается значительное запаздывание кристаллизации капель воды на супергидрофобных подложках, заметно превышающее запаздывание, характерное для гидрофильных и гидрофобных. По данным [17] величина снижения температуры будет зависеть как от относительной влажности, так и от площади поверхности капли, и может достигать десятков градусов. В ряде работ [18–20] выражается сомнение в том, что замедление

кристаллизации на супергидрофобных поверхностях более значительно, чем в случае гидрофильных подложек. Полученные авторами результаты позволили им сделать выводы о том, что время запаздывания кристаллизации на гидрофильных подложках больше соответствующих значений на супергидрофобных поверхностях.

В связи с вышеизложенным, исследование кинетики замерзания капли воды на супергидрофобной поверхности с целью оценки эффективности ее применения является актуальной научно-технической задачей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки кинетики замерзания капли воды на супергидрофобной поверхности был проведен следующий эксперимент. Капля воды наносилась на супергидрофобную поверхность растворной подложки, которую помещали в морозильную камеру с температурой $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Исследования динамики замерзания капли на поверхности проводили с помощью тепловизора Testo 875-1.

Для создания супергидрофобной поверхности в качестве наполнителя применяли аэросил марки R 972 с плотностью $\rho = 2360\text{ кг/м}^3$, размерами частиц 16 нм и удельной поверхностью $S_{\text{уд}} = 12\,000\text{ м}^2/\text{кг}$. В качестве связующего использовали силиконовую смолу SILRES® MSE 100 10%-ной концентрации [21]. Полученные растворы наносили на растворные подложки. Степень гидрофобности оценивали по величине краевого угла смачивания (θ°).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ экспериментальных данных, приведенных в табл. 1, свидетельствует, что на первой стадии замораживания (до 15 мин) температура поверхности покрытия выше температуры капли воды, т.е. тепло передается от поверхности покрытия к капле воды. На 18-й мин замораживания температура капли воды становится ниже температуры поверхности покрытия на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. В дальнейшем разница температур увеличивается. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что замерзание капли воды на гидрофильной поверхности (подложка из цементно-

песчаного раствора) наступает значительно раньше и составляет 21 мин, в то время как на супергидрофобной — 30 мин.

Табл. 1. Температура замерзания капли воды

Table 1. The temperature of water drop during freezing

Время, мин / Time, min	Температура, °C / Temperature, °C	
	капли воды / of water drop	поверхности покрытия / of substrate surface
1	20	23,5
3	18,4	22
6	16,7	19,8
9	12,7	15,0
12	10,0	11,9
15	7,3	8,1
18	6,0	5,0
21	4,7	3,0
24	1,7	0,5
27	−0,3	−1,8
30	−1,0	−2,5
33	−1,7	−3,0
36	−1,8	−3,5

Результаты исследований распределения температуры на поверхности капли воды свидетельствуют о неравномерности ее распределения (рис. 1). Так, спустя 27 мин охлаждения температура на вершине поверхности капли составляет +0,3 °C; внизу — −0,6 °C; спустя 30 мин охлаждения — 1,0 °C и −1,6 °C соответственно; спустя 33 мин — −1,4 °C и −2,0 °C, соответственно.

При действии отрицательной температуры (−18 °C) при замерзании капля воды принимает другую форму — появляется заостренная вершина (рис. 2). Очевидно, это объясняется вертикальным расширением льда в сочетании с напряжением поверхности на оставшейся жидкости.

При оценке влияния температуры на величину угла смачивания установлено, что при уменьшении температуры подложки величина угла смачивания уменьшается. Для покрытия на основе аэросила R-972 в растворе смолы SILRES® MSE 100 10%-ной концентрации снижение температуры до −15 °C приводит к уменьшению угла смачивания на 25 градусов.

Было рассчитано изменение теплового потока во времени между каплей и поверхностью покрытия по формуле:

$$W = \frac{T_k - T_n}{R}, \quad (1)$$

где T_k — средняя температура в объеме капли, К; T_n — средняя температура поверхности материала,

Рис. 1. Тепловизионное изображение статической капли на супергидрофобной поверхности: а — через 3 мин; б — через 18 мин; с — через 30 мин

Fig. 1. Thermal image of static drop on superhydrophobic surface: a — in 3 min.; b — in 18 min.; c — in 30 min.

ла, К; R — тепловое сопротивление «капля–поверхность покрытия», К/В.

Величину теплового сопротивления определяют по формуле

$$R = \frac{1}{\alpha F}, \quad (2)$$

где α — коэффициент теплоотдачи между каплей и поверхностью материала, Вт/м²К; F — площадь капли, м².

Рис. 2. Форма капли воды на супергидрофобной поверхности: *a* — до замерзания; *b* — после замерзания

Fig. 2. The shape of water drop on a superhydrophobic surface: *a* — before freezing; *b* — after freezing

Табл. 2. Мощность охлаждения капли воды на супергидрофобной поверхности

Table 2. Cooling power of water drop on superhydrophobic surface

Время охлаждения, мин / Cooling time, min	Мощность охлаждения, Вт / Cooling power, W
3	–0,0035
6	–0,00304
9	–0,00225
12	–0,00186
15	–0,000785
18	+0,000981
21	+0,00166
24	+0,001177
27	+0,00147
30	+0,00147
33	+0,00147
36	+0,00147

Диаметр капли воды составлял 5 мм. Значение коэффициента теплоотдачи между каплей и поверхностью материала принимали равным 50 Вт/м²К. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Результаты эксперимента и расчетов свидетельствуют, что процесс замерзания капли является многостадийным. В начальный период (до 15 мин) наблюдается перенос тепла от поверхности к капле воды. Изменение теплового потока в этот период составляет от 0,000785 до 0,0035 Вт. За этим этапом следует процесс замораживания капли, который проявляется в движении фронта замерзания от подложки вверх. Мощность охлаждения составляет от 0,00147 до 0,000981 Вт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что процесс замерзания капли воды на супергидрофобной поверхности является многостадийным. В начальный период наблюдается перенос тепла от поверхности к капле воды. Затем следует процесс замораживания капли, который проявляется в движении фронта замерзания от подложки вверх. Выявлено, что распределение температуры на поверхности капли воды является неравномерным. При замерзании капля воды имеет заостренную вершину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилова О.А., Проскурина О.И., Антипов В.Н., Хамова Т.В., Есипова Н.Е., Пугачев К.Э. и др. Золь-гель синтез и гидрофобные свойства антифрикционных покрытий для использования в высокооборотных минитурбогенераторах // Физика и химия стекла. 2014. Т. 40. № 3. С. 419–425.
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. Jung S., Dorrestijn M., Raps D., Das A., Megaridis C.M., Poulidakos D. Are superhydrophobic surfaces best for icephobicity? // Langmuir. 2011. Vol. 27. Issue 6. Pp. 3059–3066. DOI: 10.1021/la104762g
4. Tianlong Y., Shixiang L., Wenguo X., Rabah B. Preparation of superhydrophobic/superoleophilic copper coated titanium mesh with excellent ice-phobic and water-oil separation performance // Applied Surface Science. 2019. Vol. 476. Pp. 353–362. DOI: 10.1016/j.apsusc.2019.01.117
5. Suzuki S., Nakajima A., Yoshida N., Sakai M., Hashimoto A., Kameshima Y. et al. Freezing of water droplets on silicon surfaces coated with various silanes // Chemical Physics Letters. 2007. Vol. 445. Issue 1–3. Pp. 37–41. DOI: 10.1016/j.cplett.2007.07.066
6. 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. DOI: 10.1021/la034204f
7. Гринац Э.С., Миллер А.Б., Потапов Ю.Ф., Стасенко А.Л. Экспериментальные и теоретические исследования процессов обледенения наномодифицированных супергидрофобных и обычных поверхностей // Вестник МГОУ. Сер.: Физика — Математика. 2013. № 3. С. 84–92.
8. Пат. 2162872 РФ, МПК C09K3/18. Гидрофобная антиобледенительная композиция / Алесковская Е.В.; Дубинский Я.А.; Токарев В.В., заявитель и патентообладатель ООО Фирма «Северная пирамида»; Дубинский Яков Абрамович; Токарев Вячеслав Викторович. № 99114484/04, заяв. 07.07.1999; опубл. 10.02.2001.
9. Кондрашов С.В., Пыхтин А.А., Соловьянич Л.В., Большаков В.А., Павлюк Б.Ф., Бадамшина Э.Р. и др. Исследование зависимости адгезии льда к полиуретановым покрытиям от их физико-механических свойств // Электронный научный журнал «ТРУДЫ ВИАМ». 2019. № 3. DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-3-87-95
10. Mingming J., Yizhou S., Xinyi L., Jie T., Yuehan X., Haifeng C. et al. A combination structure of microblock and nanohair fabricated by chemical etching for excellent water repellency and icephobicity // Applied Surface Science. 2018. Vol. 455. Pp. 883–890. DOI: 10.1016/j.apsusc.2018.06.043
11. Lin G., Zhang Q., Dikin D.A., Jie Y. Constrained droplet base in condensed water on carbon nanoparticle coating for delayed freezing // Extreme Mechanics Letters. 2018. Vol. 24. Pp. 38–46. DOI: 10.1016/j.eml.2018.09.001
12. Xiaofei Y., Weidong L., Yuan W. Freezing delay, frost accumulation and droplets condensation properties of micro- or hierarchically-structured silicon surfaces // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2018. Vol. 126. Pp. 442–451. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.165
13. Alizadeh A., Yamada M., Li R., Shang W., Otta S., Zhong S. et al. Dynamics of ice nucleation on water repellent surfaces // Langmuir. 2012. Vol. 28. Issue 6. Pp. 3180–3186. DOI: 10.1021/la2045256
14. Wang H., He G., Tian Q. Effects of nano-fluorocarbon coating on icing // Applied Surface Science. 2012. Vol. 258. Issue 18. Pp. 7219–7224. DOI: 10.1016/j.apsusc.2012.04.043
15. Fuchs N.A. Evaporation and droplet growth in gaseous media. London : Pergamon Press, 1959.
16. Madeleine S., Thomas O., Schreimb M., Marschelke C., Tee H.T., Wurm F.R. et al. Supercooled water drops do not freeze during impact on hybrid janus particle-based surfaces // Chemistry of Materials. 2019. Vol. 31. Issue 1. Pp. 112–123. DOI: 10.1021/acs.chemmater.8b03183
17. Chi J., Wei L., Maiping Y. Robust fabrication of superhydrophobic and photocatalytic self-cleaning cotton textiles for oil-water separation via thiol-ene click reaction // Journal of materials science. 2019. Vol. 54. Issue 9. Pp. 7369–7382.
18. Lakshmi R.V., Bharathidasan T., Parthasarathi Bera, Bharathibai J. Basu. Fabrication of superhydrophobic and oleophobic sol-gel nanocomposite coating // Surface & Coatings Technology. 2012. Vol. 206. Issue 19–20. Pp. 3888–3894. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2012.03.044
19. Nosonovsky M., Bhushan B. Superhydrophobic surfaces and emerging applications: Non-adhesion, energy, green engineering // Current Opinion in Colloid & Interface Science. 2009. Vol. 14. Issue 4. Pp. 270–280. DOI: 10.1016/j.cocis.2009.05.004
20. Venkateswara R.A., Lathe S.S., Nadargi D.Y., Hirashima H., Ganesan V. Preparation of MTMS based transparent superhydrophobic silica films by sol-gel method // Journal of Colloid and Interface Science. 2009. Vol. 332. No. 2. Pp. 484–490. DOI: 10.1016/j.jcis.2009.01.012
21. Логанина В.И. Выбор концентрации полимера при разработке рецептуры состава для антиобледенительного покрытия // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2019. № 1 (8). С. 19–22.

Поступила в редакцию 4 декабря 2018 г.

Принята в доработанном виде 4 февраля 2019 г.

Одобрена для публикации 28 марта 2019 г.

О Б АВТОРЕ: **Логанина Валентина Ивановна** — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой управления качеством и технологии строительного производства, **Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)**, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, loganin@mail.ru.

REFERENCES

1. Shilova O.A., Proskurina O.I., Antipov V.N., Hamova T.V., Esipova N.E., Pugachev K.E. et al. Sol-gel synthesis and hydrophobic properties of anti-friction coatings for use in high-speed mini-turbine generators. *Physics and Chemistry of Glass*. 2014; 40(3):419-425. (rus.).
2. Bojnovich L.B., Emel'yanenko A.M. Hydrophobic materials and coatings: principles of creation, properties and application. *Chemistry Advances*. 2008; 77(7):619-638. (rus.).
3. Jung S., Dorrestijn M., Raps D., Das A., Megaridis C.M., Poulikakos D. Are superhydrophobic surfaces best for icephobicity? *Langmuir*. 2011; 27:6: 3059-3066. DOI: 10.1021/la104762g
4. Tianlong Y., Shixiang L., Wenguo X., Rabah B. Preparation of superhydrophobic/superoleophilic copper coated titanium mesh with excellent ice-phobic and water-oil separation performance. *Applied Surface Science*. 2019; 476:353-362. DOI: 10.1016/j.apsusc.2019.01.117
5. Suzuki S., Nakajima A., Yoshida N., Sakai M., Hashimoto A., Kameshima Y. et al. Freezing of water droplets on silicon surfaces coated with various silanes. *Chemical Physics Letters*. 2007; 445:1-3:37-41. DOI: 10.1016/j.cplett.2007.07.066
6. Shirtcliffe N.J., McHale G., Newton M.I., Perry C.C. Intrinsically superhydrophobic organosilica sol-gel foams. *Langmuir*. 2003; 19:14:5626-5631. DOI: 10.1021/la034204f
7. Grinats E.S., Miller A.B., Potapov Yu.F., Stasenko A.L. Experimental and theoretical studies of the icing processes of nanomodified superhydrophobic and ordinary surfaces. *Vestnik MGOU. Ser.: Physics — Mathematics*. 2013; 3:84-92. (rus.).
8. Pat. 2162872 RU, IPC C09K3/18. *Hydrophobic anti-icing composition* / Aleskovskaya E.V., Dubinsky Ya.A., Tokarev V.V., applicant and patent holder of the LLC company "Northern Pyramid"; Dubinsky Yakov Abramovich; Tokarev Vyacheslav Viktorovich. No. 99114484/04; appl. 07.07.1999; publ. 02.10.2001. (rus.).
9. Kondrashov S.V., Pykhtin A.A., Solovyan-chik L.V., Bolshakov V.A., Pavlyuk B.F., Badamshina E.R. et al. Investigation dependences of ice adhesion to polyurethane coatings on their physicomechanical properties. *Electronic scientific journal "VIAM WORKS"*. 2019; 3. DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-3-87-95 (rus.).
10. Mingming J., Yizhou S., Xinyi L., Jie T., Yuehan X., Haifeng C. et al. A combination structure of microblock and nanohair fabricated by chemical etching for excellent water repellency and icephobicity. *Applied Surface Science*. 2018; 455:883-890. DOI: 10.1016/j.apsusc.2018.06.043
11. Lin G., Zhang Q., Dikin D.A., Jie Y. Constrained droplet base in condensed water on carbon nanoparticle coating for delayed freezing. *Extreme Mechanics Letters*. 2018; 24:38-46. DOI: 10.1016/j.eml.2018.09.001
12. Xiaofei Y., Weidong L., Yuan W. Freezing delay, frost accumulation and droplets condensation properties of micro- or hierarchically-structured silicon surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2018; 126:442-451. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.165
13. Alizadeh A., Yamada M., Li R., Shang W., Otta S., Zhong S. et al. Dynamics of ice nucleation on water repellent surfaces. *Langmuir*. 2012; 28:6:3180-3186. DOI: 10.1021/la2045256
14. Wang H., He G., Tian Q. Effects of nano-fluorocarbon coating on icing. *Applied Surface Science*. 2012; 258:18:7219-7224. DOI: 10.1016/j.apsusc.2012.04.043
15. Fuchs N.A. *Evaporation and droplet growth in gaseous media*. London, Pergamon Press, 1959.
16. Madeleine S., Thomas O., Schremb M., Marschelke C., Tee H.T., Wurm F.R. et al. Supercooled water drops do not freeze during impact on hybrid janus particle-based surfaces. *Chemistry of Materials*. 2019; 31:1:112-123. DOI: 10.1021/acs.chemmater.8b03183
17. Chi J., Weiqu L., Maiping Y. Robust fabrication of superhydrophobic and photocatalytic self-cleaning cotton textiles for oil-water separation via thiol-ene click reaction. *Journal of materials science*. 2019; 54:9:7369-7382.
18. Lakshmi R.V., Bharathidasan T., Parthasarathi Bera, Bharathibai J. Basu. Fabrication of superhydrophobic and oleophobic sol-gel nanocomposite coating. *Surface & Coatings Technology*. 2012; 206:19-20:3888-3894. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2012.03.044

19. Nosonovsky M., Bhushan B. Superhydrophobic surfaces and emerging applications: Non-adhesion, energy, green engineering. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2009; 14:4:270-280. DOI: 10.1016/j.cocis.2009.05.004

20. Venkateswara R.A., Latthe S.S., Nadargi D.Y., Hirashima H., Ganesan V. Preparation of MTMS based transparent superhydrophobic silica films by sol-gel

method. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2009; 332:2:484-490. DOI: 10.1016/j.jcis.2009.01.012

21. Loganina V.I. The choice of polymer concentration in the development of a formulation for anti-icing coating. *Bulletin of Penza state University of architecture and construction: construction, science and education*. 2019; 1(8):19-22. (rus.).

Received December 4, 2018.

Adopted in a modified form on February 4, 2019.

Approved for publication March 28, 2019.

ABOUT THE AUTHOR: **Valentina I. Loganina** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of the Quality Management and Technology of Construction Production, **Penza State University of Architecture and Construction**, 28 German Titov st., Penza, 440028, Russian Federation, loganin@mail.ru.