

DOI: 10.15593/2224-9982/2022.69.11

УДК 62-733

**В.Я. Модорский, Д.С. Максимов, И.Е. Черепанов, А.О. Микрюков,
С.Л. Калюлин, М.А.Серегина, А.В. Бабушкина**

Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, Пермь, Россия

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «ФИЛЬТР» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ОТ СНЕГА

Непрогнозируемое нарастание ледяной корки на фильтрах, устанавливаемых в воздухоочистительные устройства на входе в каналы подачи воздуха к авиационным приводам при эксплуатации газокomppressorных станций в сильные снегопады может приводить к авариям и простоям. Для борьбы с ледяными наростами был разработан экспериментальный комплекс «ФИЛЬТР». Разработанный экспериментальный комплекс позволяет проводить междисциплинарные исследования поведения снежных и ледяных покровов на газопроницаемых и деформируемых поверхностях различных типов, обеспечивая газодинамические условия, подобные тем, что возникают вблизи воздухоочистительных устройств. К ним относятся осадки в виде снега, высокая относительная влажность, отрицательные температуры, при которых происходит образование снежного и ледяного покрова на входных фильтрах. Проведены исследования по сбросу ледяной корки, образующейся на защитных газопроницаемых и деформируемых поверхностях различных типов. Для ее разрушения использовалась энергия газодинамической струи. Представлены общая конструктивная схема экспериментального противообледенительного комплекса «ФИЛЬТР», результаты экспериментов и их анализ. Таким образом, на экспериментальном противообледенительном комплексе проведена оценка влияния на эффективность защиты модельной энергетической установки от ледяной корки следующих параметров: давления подачи воздуха в форсунку (изменялось в диапазоне 0,1–0,6 МПа), скорости потока на входе в очистительное устройство (изменялась в диапазоне от 7,75 до 13,5 м/с), диаметра газонепроницаемой площадки и материала газопроницаемой деформируемой поверхности. Определено наиболее эффективное сочетание параметров. Выявлено, что из рассмотренных газопроницаемых деформируемых поверхностей наибольшую эффективность продемонстрировал вариант с пластиковой сеткой при следующих параметрах потока: давление струи $P \geq 0,5$ МПа, скорость набегающего потока воздуха 13,5 м/с, диаметр газонепроницаемой площадки 50 мм.

Ключевые слова: обледенение, газопроницаемые деформируемые поверхности, высокопроизводительный вычислительный комплекс, физическое моделирование, вибрации, воздухоочистительные устройства, экспериментальная установка, снежный покров, сброс льда.

**V.Ya. Modorsky, D.S. Maksimov, I.E. Cherepanov,
A.O. Mikryukov, S.L. Kalyulin, M.A. Seregina, A.V. Babushkina**

Perm National Research Polytechnic university, Perm, Russian Federation

INFLUENCE OF SOME PARAMETERS OF THE EXPERIMENTAL ANTI-ICING COMPLEX "FILTER" ON THE EFFICIENCY OF PROTECTION OF POWER PLANTS FROM SNOW

Unpredictable growth of ice crust on filters installed in air cleaning devices at the inlet to air supply channels to aircraft drives during operation of gas compressor stations in heavy snowfalls can lead to accidents and downtime. To combat ice growths, an experimental complex "FILTER" was developed. The developed experimental complex makes it possible to conduct interdisciplinary studies of the behavior of snow and ice covers on gas-permeable and deformable surfaces of various types, providing gas-dynamic conditions similar to those that occur near air-cleaning devices. These include precipitation in the form of snow, high relative humidity, negative temperatures at which snow and ice cover forms on the inlet filters. Studies have been carried out on the release of an ice crust formed on protective gas-permeable and deformable surfaces of various types. For its destruction, the energy of a gas-dynamic jet was used. The general design scheme of the experimental anti-icing complex "FILTER", the results of experiments and their analysis are presented. Thus, on the experimental anti-icing complex, an assessment was made of the effect on the efficiency of protection of a model power plant from an ice crust of the following parameters: air supply pressure to the nozzle (varied in the range 0.1–0.6 MPa), (changed in the range 7.75–13.5 m/s), the diameter of the gas-tight area and the material of the gas-permeable deformable surface. The most effective combination of parameters is determined. It was found that of the considered gas-permeable deformable surfaces, the option with a plastic mesh demonstrated the highest efficiency with the following flow parameters: jet pressure $P \geq 0.5$ MPa, air flow velocity 13.5 m/s, gas-tight area diameter 50 mm.

Keywords: icing, gas-permeable deformable surfaces, high-performance computing complex, physical modeling, vibrations, air-cleaning devices, experimental setup, snow cover, ice shedding.

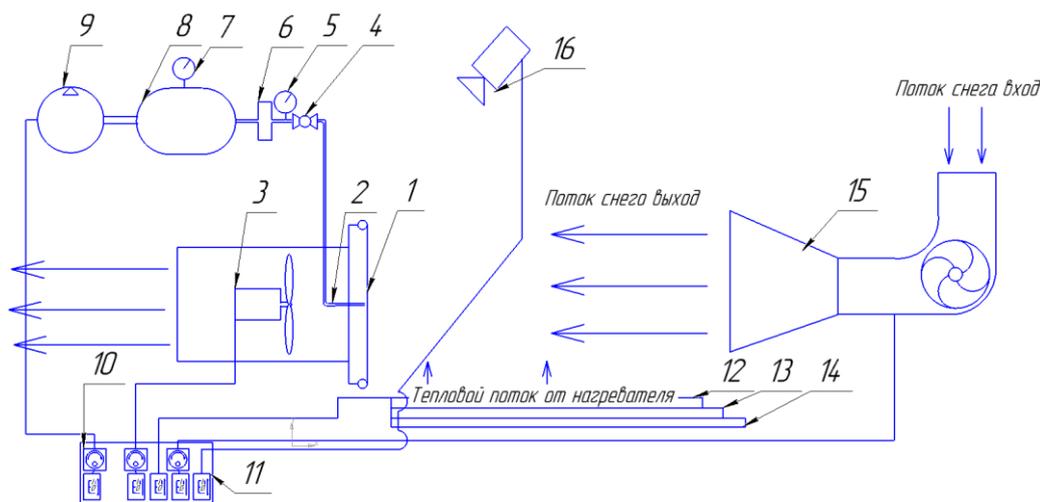


Рис. 1. Конструктивная схема экспериментального противообледенительного комплекса

Общая конструктивная схема экспериментального противообледенительного комплекса

Непрогнозируемое нарастание ледяной корки на фильтрах, устанавливаемых в воздухоочистительные устройства (ВОУ) на входе в каналы подачи воздуха к авиационным приводам при эксплуатации газодинамических станций, в сильные снегопады может привести к авариям и простоям.

Имеется ряд работ, посвященных исследованию процессов обледенения на непроницаемых поверхностях, например [1–3]. Научных публикаций по моделированию процессов обледенения на защитных газопроницаемых деформируемых поверхностях не обнаружено. Для борьбы с ледяными наростами был разработан экспериментальный комплекс «ФИЛЬТР».

Общая конструктивная схема экспериментального противообледенительного комплекса [4] представлена на рис. 1.

Экспериментальный противообледенительный комплекс, показанный на рис. 1, включает в себя газопроницаемую деформируемую поверхность (ГДП) 1; форсунку для подачи газодинамических импульсов на ГДП 2; вентилятор с электродвигателем 3; пневматический кран для подачи линейных вибраций 4; манометр на редукторе 5; пневматический редуктор 6; манометр на ресивере 7; ресивер 8; компрессор 9; блок диммеров для контроля за

оборотами электродвигателя и плавной регулировкой подогрева 10; блок аварийных выключателей 11; электрический подогрев воздуха вблизи газопроницаемой и деформируемой поверхности для моделирования подогрева, реализованного на газоперекачивающем агрегате (ГПА) 12; отражающий теплоизоляционный слой 13. Электрический подогрев смонтирован на каркасе с теплоотражателем 14; роторная машина предназначена для подачи снега в зону работы установки 15. Для контроля процессов образования, разрушения и отрывов снежного и ледяного покрова на газопроницаемой и деформируемой поверхности предназначено устройство фото- и видеофиксации 16.

Разработанный экспериментальный комплекс «ФИЛЬТР» позволяет проводить междисциплинарные исследования поведения снежных и ледяных покровов на газопроницаемых и деформируемых поверхностях различных типов, обеспечивая газодинамические условия, подобные тем, что возникают вблизи воздухоочистительных устройств. К ним относятся осадки в виде снега, высокая относительная влажность, отрицательные температуры, при которых происходит образование снежного и ледяного покрова на входных фильтрах [5].

Газодинамические импульсы [6] подаются навстречу снеговому потоку и передают энергию на ГДП. Взаимодействие струи воздуха с ГДП как преградой, формирует ударное нагружение ГДП, что приводит к сбросу снега и разрушению ледяной корки [6]. Это позволя-

ет очистить фильтр на входе в канал подачи воздуха к авиационному приводу газомоторной станции.

С точки зрения численного моделирования процесс обледенения весьма сложен. И требует решения нестационарных уравнений Навье – Стокса, замыкающихся уравнениями турбулентности, непрерывности и уравнениями движения капель, учитывающими коагуляцию и распад частиц [7]. Требуется верификация численных расчетов. Возможность верификации и проведение исследований процессов обледенения обеспечиваются вышеописанной экспериментальной установкой «ФИЛЬТР» [8].

Методика экспериментов

Эксперименты на установке «ФИЛЬТР» проводились согласно следующей методике.

После подачи питания на компрессор повышаем давление в ресивере до значений на 0,1 МПа выше, чем планируемое в эксперименте. Далее, при закрытом кране регулируем редуктор давления по манометру 5 на рис. 1 на необходимое значение. Устанавливается требуемое значение скорости вентилятора. Далее осуществляется запуск видеокамеры, ведется видеофиксация. Включается на 60 с роторная машина для подачи снега. Затем осуществлялась импульсная подача воздуха из компрессора через ГДП (от 10 до 20 импульсов за время проведения эксперимента). Завершается эксперимент выключением питания электродвигателя, роторной машины и окончанием видеофиксации.

Экспериментальные исследования

Исследования проводились на различных ГДП: из двухслойного, трехслойного нетканого материала или сетки из пластика с ячейкой 1×1 мм [9]. Условия проведения эксперимента для двухслойного нетканого материала представлены в табл. 1.

Таблица 1
Условия проведения эксперимента для двухслойного нетканого материала

Параметр	Свойства
Температура окружающей среды	-8 °С;
Относительная влажность	70 %
Подача снега	Рыхлый немокрый
Ветер	Северный, скорость ветра не более 2 м/с

Предварительные эксперименты показали, что газодинамическая струя слабо взаимодействует с ГДП и очищающий эффект не наблюдается. Для увеличения эффективности очистки ГДП соосно с ней разместили непроницаемую площадку, как показано на рис. 2.

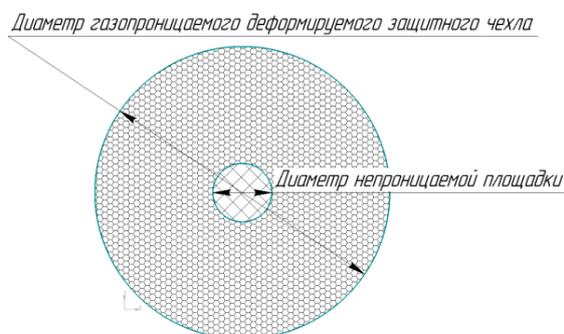


Рис. 2. Схема размещения непроницаемой площадки

Был проведен эксперимент на двухслойном нетканом материале при скорости потока воздуха 7,75 м/с [10–12]. Диаметр площадки для распределения усилия равен 50 мм. Давление составляло 0,6 МПа. В результате лед не был сброшен полностью. На рис. 2 показан внешний вид ГДП до и после проведения экспериментов.

Результаты эксперимента по сбросу наледи для двухслойного нетканого материала с непроницаемой площадкой представлены на рис. 3.

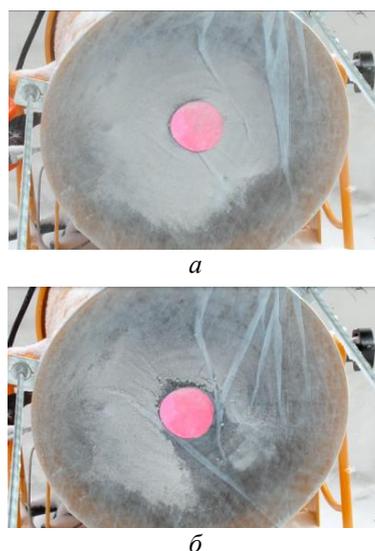


Рис. 3. Результаты эксперимента по сбросу наледи для двухслойного нетканого материала с непроницаемой площадкой: а – до сброса льда, б – после сброса льда

Видно, что наледь не очищается [4; 13]. Было принято решение о замене материала ГДП.

Для последующих экспериментов использовали ГДП из трехслойного нетканого материала. Условия проведения эксперимента при использовании трехслойного нетканого материала представлены в табл. 2.

Таблица 2

Условия проведения эксперимента при использовании трехслойного нетканого материала

Параметр	Свойства
Температура окружающей среды	- 8 °С;
Относительная влажность	70 %
Подача снега	Рыхлый немокрый
Ветер	Северный, скорость ветра не более 2 м/с

Эксперимент проводился при разных скоростях потока, как без площадки для распределения усилия, так и с площадкой диаметром 50 мм. Давление изменялось от 0,2 до 0,6 МПа. Результаты эксперимента для трехслойного нетканого материала представлены в табл. 3.

Полной очистки ГДП ото льда добиться не удалось. Но при проведении исследования наблюдалась частичная очистка ото льда.

В следующих экспериментах в роли защитной поверхности выступала сетка из пластика. Условия проводимого эксперимента представлены в табл. 4.

Были проведены эксперименты при разных скоростях потока. Эксперимент проводился как без площадки для распределения усилия, так и с площадкой диаметрами 25 и 50 мм. Давление изменялось от 0,2 до 0,6 МПа. В результате были обнаружены режимы, при которых сброс льда происходил полностью. Результаты эксперимента при использовании сетки из пластика представлены в табл. 5.

Таким образом, при $P \geq 0,5$ МПа наблюдается полный сброс льда. При $P = 0,4$ МПа результат нестабильный. При $P < 0,4$ МПа сброс льда не наблюдается. Для повышения эффективности очистки был проведен дополнительный эксперимент № 9 (см. табл. 5). При $P = 0,4$ МПа импульсы начали подавать одновременно с запуском роторной машины. Наблюдалась надежная очистка ото льда.

Таблица 3

Результаты эксперимента по сбросу наледи при использовании трехслойного нетканого материала

№ п/п	Давление, МПа	Скорость потока, м/с	Диаметр непроницаемой площадки / диаметр газопроницаемой площадки, мм	Результаты наблюдения	Результаты видеофиксации
1	0,2	13,5	- / 285	Нет сброса льда	
2	0,4	13,5	- / 285	Нет сброса льда	

№ п/п	Давление, МПа	Скорость потока, м/с	Диаметр непроницаемой площадки / диаметр газопроницаемой площадки, мм	Результаты наблюдения	Результаты видеофиксации
3	0,6	13,5	– / 285	Нет сброса льда	
4	0,6	13,5	25 / 285	Нет сброса льда	
5	0,6	13,5	50 / 285	Нет сброса льда	
6	0,2	7,75	50 / 285	Нет сброса льда	
7	0,4	7,75	50 / 285	Нет сброса льда	
8	0,6	7,75	50 / 285	Сброс льда в небольшой центральной области	

Окончание табл. 3

№ п/п	Давление, МПа	Скорость потока, м/с	Диаметр непроницаемой площадки / диаметр газопроницаемой площадки, мм	Результаты наблюдения	Результаты видеофиксации
9	0,6	7,75	50 / 285	Частичный сброс льда	

Таблица 4

Условия проведения эксперимента по сбросу наледи при использовании сетки из пластика

Параметр	Свойства
Температура окружающей среды	- 7 °С;
Относительная влажность	63 %
Подача снега	Рыхлый немокрый
Ветер	Юго-восточный, скорость ветра не более 6 м/с

Таблица 5

Результаты эксперимента при использовании сетки из пластика

№ п/п	Давление, МПа	Скорость потока, м/с	Диаметр непроницаемой площадки / диаметр газопроницаемой площадки, мм	Результаты наблюдения	Результаты видеофиксации
1	0,2	13,5	- / 285	Нет сброса льда	
2	0,4	13,5	- / 285	Нет сброса льда	
3	0,6	13,5	- / 285	Сброс льда в центральной области	

№ п/п	Давление, МПа	Скорость потока, м/с	Диаметр непроницаемой площадки / диаметр газопроницаемой площадки, мм	Результаты наблюдения	Результаты видеofиксации
4	0,6	13,5	25 / 285	Сброс льда в центральной области и в радиальном направлении	
5	0,2	13,5	50 / 285	Нет сброса льда	
6	0,4	13,5	50 / 285	1-й эксперимент – сброса льда не произошло; 2-й эксперимент – сброс льда начался с третьего импульса	
7	0,5	13,5	50 / 285	Полный сброс льда	
8	0,6	13,5	50 / 285	Полный сброс льда	
9	0,4, постоянные пульсации с начала эксперимента	13,5	50 / 285	Лед практически не образуется в течение всего эксперимента, за счет пульсаций происходит сброс	

Выводы

Подтверждена гипотеза, что ГДП позволяет защитить воздухозаборник от наледи и налипания снега.

ГДП влияет на загромождение основного потока незначительно и не влияет на работоспособность воздухозаборника.

Для обеспечения работоспособности воздухозаборника необходима постоянная работа импульсной газодинамической противообледенительной системы или при давлении в форсунке более 0,5 МПа.

Таким образом, на экспериментальном противообледенительном комплексе «ФИЛЬТР» проведена оценка влияния на эффективность защиты модельной энергетической установки от ледяной корки следующих параметров: давления подачи воздуха в форсунку (изменялось в диапазоне от 0,1–0,6 МПа), скорости потока на входе в очистительное устройство (изменялась в диапазоне от 7,75 до 13,5 м/с), диаметра газонепроницаемой площадки и материала газопроницаемой деформируемой поверхности.

Определено наиболее эффективное сочетание параметров. Выявлено, что из рассмотренных ГДП наибольшую эффективность продемонстрировал вариант с пластиковой сеткой при следующих параметрах потока: давление струи $P \geq 0,5$, скорость набегающего потока воздуха 13,5 м/с, диаметр газонепроницаемой площадки 50 мм.

Библиографический список

1. Developing cyber infrastructure and a model climatic wind tunnel based on the PNRPU high-performance computational complex / D.S. Maksimov, V.Ya. Modorskii, G.F. Masich, S.L. Kalyulin, A.O. Mikryukov, I.E. Cherepanov, M. I. Sokolovskii // Communications in Computer and Information Science. – 2020. – CCIS Vol. 2163. – P. 336–350.
2. Computational and experimental modeling of icing processes by means of PNRPU high-performance computational complex / S.L. Kalyulin, V.Ya. Modorskii, V.Y. Petrov, G.F. Masich // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1096, Iss. 1. – Art. № 012081. – WOS, Scopus. DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012081
3. Kalyulin S.L., Modorskii V.Ya., Maksimiv D.S. Physical modeling of the influence of the gas-hydrodynamic flow parameters on the streamlined surface icing with vibrations // International Conference on the Methods of Aerophysical Research. – 2018. – Vol. 2027, iss. 1. – P. 040090. DOI: 10.1063/1.5065364
4. Шорина Н.С., Смогунов В.В. Проблема обледенения и краткий обзор современных методов борьбы с ним // НиКа. – 2010 [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-obledeneniya-i-kratkiy-obzor-sovremennyh-metodov-borby-s-nim> (дата обращения: 01.08.2022).
5. Тимофеева М.В. Влияние коагуляции капель воды на их распределение по размерам в рабочей части аэроохладительной установки // Журнал технической физики. – 2019. – Т. 89, №. 4. – С. 491–496.
6. Guffond D., Hedde T., Henry R. Overview of icing research at ONERA, Advisory Group for Aerospace Research and Development. Fluid Dynamics Panel (AGARD/FDP). Joint International Conference on Aircraft Flight Safety – Actual Problems of Aircraft Development, Zhukovsky, Russia. – 1993. – 7 p.
7. Амелюшкин И.А. Исследование двухфазных потоков в приложении к проблемам обледенения и аэрофизического эксперимента: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Жуковский, 2014. – 144 с.
8. Modelling of aircraft icing processes in aeroclimatic tubes / G.P. Klemenkov, Y.M. Prihodko, L.N. Puzyrev, A.M. Naritonov // Thermophys. Aeromech. – 2008. – № 15(4). – P. 563–572.
9. Применение антиобледенительного покрытия для радиотехнических устройств / Н.С. Корноухова, В.А. Кротиков, Л.Н. Красильникова, С.В. Чуппина, Н.В. Шнурков // Экономика и производство. – 1999. – № 7 июль. – Приложение «Технологии оборудование материалы».
10. Модели процессов, сопровождающих кристаллизацию переохлажденных капель / И.А. Амелюшкин, М.А. Кудров, А.О. Морозов, А.Л. Стасенко, А.С. Щеглов // Труды ИСП РАН, 2020. – Т. 32, вып. 4. – С. 235–244. DOI: 10.15514/ISPRAS–2020–32(4)–17
11. Amelyushkin I.A. Mathematical models of two-phase flows' interaction with a solid body // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1129. – Article № 012003.
12. Горшенин Д. Методы и задачи практической аэродинамики. – М.: Машиностроение, 1977.
13. Шорина Н.С., Смогунов В.В. Проблема обледенения и краткий обзор современных методов борьбы с ним // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза: Пензенский государственный университет. – 2020. – 2 с.
14. Котляков В. В мире снега и льда. – М.: Наука, 1994.

References

1. D.S. Maksimov, V. Ya. Modorskii, G. F. Masich, S. L. Kalyulin, A. O. Mikryukov, I. E. Cherepanov, M. I. Sokolovskii Developing cyber infra-structure and a model climatic wind tunnel based on the PNRPU high-performance computational complex // Communications in Computer and Information Science. Switzerland AG: Spring Nature, 2020, CCIS, Vol. 2163, pp. 336-350.
2. S. L. Kalyulin, V. Ya. Modorskii, V. Y. Petrov, G. F. Masich, Computational and experimental modeling of icing processes by means of PNRPU high-performance computational complex // Journal of Physics: Conference Series, 2018, Vol. 1096, Is. 1, Art. №012081, DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012081 (Accessed: 08/01/22)
3. Kalyulin S.L., Modorskii V.Ya., Maksimiv D.S. Physical modeling of the influence of the gas-hydrodynamic flow parameters on the stream-lined surface icing with vibrations // International Conference on

the Methods of Aerophysical Research (ICMAR 2018), vol. 2027, Is. 1, P. 040090. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5065364> (Accessed: 08/01/22)

4. Shorina N.S., Smogunov V.V. Problema obledeneniya i kratkiy obzor sovremennykh metodov borby s nim [The problem of icing and a brief overview of modern methods of dealing with it]. Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality", *NiKa*, 2010, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-obledeneniya-i-kratkiy-obzor-sovremennykh-metodov-borby-s-nim> (Accessed: 08/01/22).

5. Timofeyeva M. V. Vliyaniye koagulyatsii kapel vody na ikh raspredeleniye po razmeram v rabochey chasti aerokholo-dilnoy ustanovki [Influence of coagulation of water drops on their size distribution in the working part of an aero-cooling unit]. Technical Physics (Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki), 2019, vol. 89, no. 4, pp. 491-496.

6. Guffond, D., Hedde, T., Henry, R.: Overview of icing research at ONERA, Advisory Group for Aerospace Research and Development. Fluid Dynamics Panel (AGARD/FDP) Joint International Conference on Aircraft Flight Safety – Actual Problems of Aircraft Development, Zhukovsky, Russia, 1993, p. 7

7. Amelyushkin I.A. Issledovaniye dvukhfaznykh potokov v prilozhenii k problemam obledeneniya i aerofizicheskogo eksperimenta [Investigation of two-phase flows in application to the problems of icing and aerophysical experiment]. Dissertation of Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Zhukovsky, 2014, 144 p.

8. Klemenkov, G.P., Prihodko, Y.M., Puzyrev, L.N., Haritonov, A.M.: Modeling of aircraft icing processes in aeroclimatic tubes. Thermophysics and Aeromechanics, no. 15(4), pp. 563-572, 2008.

9. Kornoukhova N.S., Krotikov V.A., Krasil'nikova L.N., Chuppina S.V., Shnurkov N.V. Primeneniye antiobledenitel'nogo pokrytiya dlya ra-diotekhnicheskikh ustroystv [Application of anti-icing coating for radio engineering devices]. Appendix "TEKHNOLOGII OBORU-DOVANIYE MATERIALY" to the journal "Ekonomika i proizvodstvo", no. 7, July 1999.

10. Amelyushkin I.A., Kudrov M.A., Morozov A.O., Stasenko A.L., Shcheglov A.S. Modeli protsessov, soprovozhdayushchikh kristallizatsiyu pereokhlazhdennykh kapel [Models of processes accompanying the crystallization of supercooled drops]. Proceedings of ISP RAS, vol. 32, no. 4, 2020, pp. 235-244.

11. Amelyushkin I.A. Mathematical models of two-phase flows' interaction with a solid body. Journal of Physics: Conference Series, vol. 1129, 2018, article no. 012003, 6 p.

12. Gorshenin D. Metody i zadachi prakticheskoy aerodinamiki [Methods and problems of practical aerodynamics]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1977, 240 p.

13. Shorina N.S., Smogunov V.V. Problema obledeneniya i kratkiy obzor sovremennykh metodov borby s nim [The problem of icing and a brief review of modern methods of dealing with it]. Proceedings of the international symposium "Nadezhnost i kachestvo" [Reliability and quality], Penza: Penza State University, 2020, 2p.

14. Kotlyakov V. V mire snega i lda [In the world of snow and ice]. Moscow: Nauka, 1994, 288 p.

Об авторах

Модорский Владимир Яковлевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций», директор Центра высокопроизводительных вычислительных систем Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614900, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29), e-mail: modorsky@pstu.ru.

Максимов Данила Сергеевич (Пермь, Россия) – инженер Центра высокопроизводительных вычислительных систем Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614900, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29), e-mail: DSM-996@mail.ru.

Черепанов Иван Евгеньевич (Пермь, Россия) – инженер Центра высокопроизводительных вычислительных систем Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614900, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29), e-mail: cherepanovie@sbiw.ru.

Микрюков Антон Олегович (Пермь, Россия) – инженер Центра высокопроизводительных вычислительных систем Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614900, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29), e-mail: anto-mikryuko@yandex.ru.

Калюлин Станислав Львович (Пермь, Россия) – инженер Центра высокопроизводительных вычислительных систем Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614900, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29), e-mail: kslperm91@gmail.com.

Серегина Маргарита Андреевна (Пермь, Россия) – инженер Центра высокопроизводительных вычислительных систем Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614900, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29), e-mail: sereginarita@gmail.com.

About the authors

Vladimir Ya. Modorskii (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Science, Professor of “Mechanics of composite materials and constructions” department, director of the High-Performance Computing Systems PNRPU center, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Av., Perm, 614990), e-mail: modorsky@pstu.ru.

Danila S. Maksimov (Perm, Russian Federation) – engineer of High-Performance Computing Systems PNRPU center, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Av., Perm, 614990), e-mail: cherepanovie@sbiw.ru.

Ivan E. Cherepanov (Perm, Russian Federation) – engineer of High-Performance Computing Systems PNRPU center, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Av., Perm, 614990), e-mail: cherepanovie@sbiw.ru.

Anton O. Mikryukov (Perm, Russian Federation) – engineer of High-Performance Computing Systems PNRPU center, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Av., Perm, 614990), e-mail: anto-mikryuko@yandex.ru.

Stanislav L. Kalulin (Perm, Russian Federation) – engineer of High-Performance Computing Systems PNRPU center, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Av., Perm, 614990), e-mail: kslperm91@gmail.com.

Margarita A. Seregina (Perm, Russian Federation) – engineer of High-Performance Computing Systems PNRPU center, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Av., Perm, 614990), e-mail: sereginarita@gmail.com.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-47-596003.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Поступила: 23.12.2020

Одобрена: 19.01.2022

Принята к публикации: 04.08.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Влияние некоторых параметров экспериментального противообледенительного комплекса «ФИЛЬТР» на эффективность защиты энергетических установок от снега / В.Я. Модорский, Д.С. Максимов, И.Е. Черепанов, А.О. Микрюков, С.Л. Калюлин, М.А. Серегина, А.В. Бабушкина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 69. – С. 100–109. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.69.11

Please cite this article in English as: Modorsky V.Ya., Maksimov D.S., Cherepanov I.E., Mikryukov A.O., Kalyulin S.L., Seregina M.A., Babushkina A.V. Influence of some parameters of the experimental anti-icing complex "FILTER" on the efficiency of protection of power plants from snow. *PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*, 2022, no. 69, pp. 100-109. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.69.11