

С. В. Пахомов¹, О. С. Мейер²

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

² Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, г. Иркутск, Российская Федерация

БОРЬБА С ВИХРЕВЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ ПОТОКА ПОД ВОЗДУХОЗАБОРНИКОМ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Аннотация. В работе предложена методика проведения эксперимента по изучению вихревых течений воздуха под воздухозаборником воздушного судна и его воздействия на первые лопатки осевого компрессора авиационного двигателя. На известной установке проведены и представлены количественные результаты эксперимента таких течений. Определены рациональные размеры и на их основе разработано защитное устройство для борьбы с вихревыми течениями на входе в воздухозаборник воздушного судна, что привело к значительному уменьшению вероятности попадания посторонних предметов внутрь воздухозаборника.

Ключевые слова: методика, вихрь, воздухозаборник, панель, защитное устройство.

S. V. Pakhomov¹, O. S. Meyer²

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

² Irkutsk branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation, Irkutsk, Russian Federation

COMBATING EDDY CURRENTS OF THE FLOW UNDER THE AIR INTAKE OF THE AIRCRAFT

Abstract. The paper proposes a method for conducting an experiment to study the vortex flows of air under the air intake of an aircraft and its effect on the first blades of the axial compressor of an aircraft engine. The quantitative results of the experiment of such flows were carried out and presented at a known installation. Rational dimensions were determined and on their basis a protective device was developed to combat eddy currents at the entrance to the air intake of the aircraft, which led to a significant reduction in the probability of foreign objects entering the air intake.

Keywords: method, vortex, air intake, panel, protective device.

Введение

Для современных воздушных судов (ВС), как гражданского, так и военного назначения, несмотря на то, что на многих из них установлены многие варианты реальных устройств защиты различного видов, доля досрочного съема авиадвигателей (ДСД) по причине попадания посторонних предметов (ПП) не снизилась по причине наличия до 80% вихревых жгутов на входе в воздухозаборники (ВЗ) [1, 2].

Условия проведения эксперимента

Для проведения экспериментов и дальнейшего анализа полученных результатов был выбран метод газогидравлической аналогии [3].

С целью проведения экспериментов была выбрана установка, схема которой представлена в работе [2].

Эксперимент проводился с использованием микропроцессорного термоанемометра ТТМ-2 [10-13].

Схема проведения эксперимента и используемые при этом линейные размеры были выражены в относительных величинах [2-4].

Для проведения экспериментов обеспечивалось соблюдение подобий, особенно при переходе от реального ВЗ к его модели [2, 3].

Результаты эксперимента

Исследования проводились на относительных высотах $\bar{H} = 0,86$, $\bar{H} = 0,98$, $\bar{H} = 1,1$ и $\bar{H} = 1,34$. В работе представлены результаты эксперимента при расположении ВЗ на высоте $\bar{H} = 1,34$, анализ которых показал следующее [4-15].

В случае, когда выдвижная панель отсутствовала ($\bar{\lambda} = 0$), можно отчетливо наблюдать на поверхности экрана два мощных вихревых шнура, направленные в противоположные направления с различной интенсивностью (рис. 1). В дальнейшем в процессе эксперимента на различные расстояния $\bar{\lambda}$ выдвигалась панель из-под ВЗ и по полученным результатам было выявлено, что при ее выдвижении поведение вихревых шнуров изменялось с постепенным уменьшением интенсивности. Об этом можно наблюдать на результатах экспериментов, показанных на рис. 2 – 7.

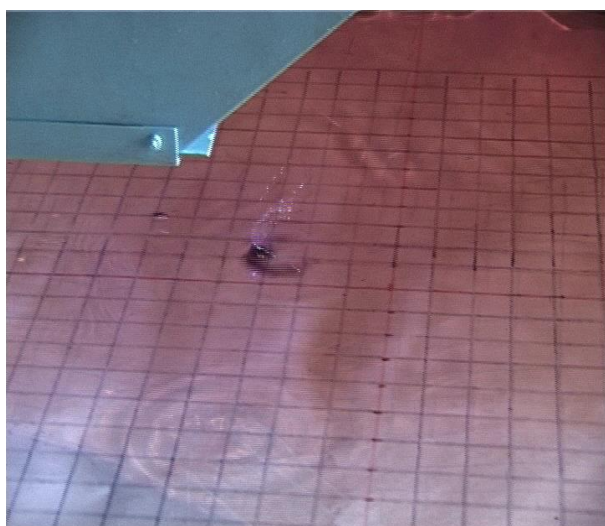


**Рис. 1. Эксперимент на ВЗ
при $\bar{H} = 1,34$, $\bar{\lambda} = 0$**

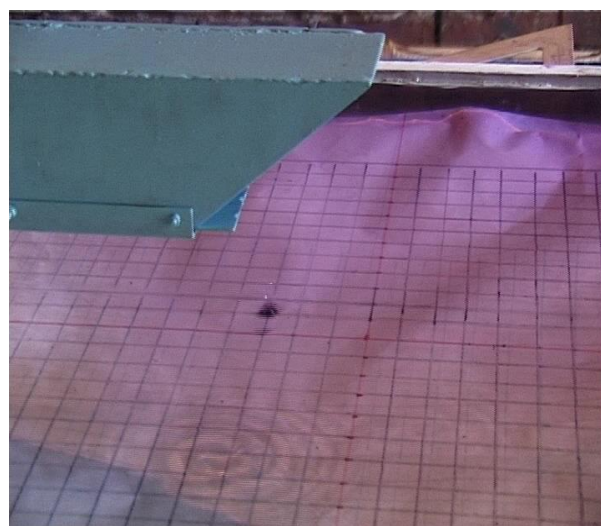
При перемещении панели на величину $\bar{\lambda} = 0,12$ все еще образуются и существуют под ВЗ два неустойчивых вихря, но их интенсивность значительно уменьшилось (рис. 2), частоты их появления по времени также уменьшаются.

Панель при дальнейшем своем выдвижении способствует еще большему постепенному снижению интенсивности вихревых шнуров.

Когда была установлена панель на величину $\bar{\lambda} = 0,24$, то можно наблюдать не очень интенсивное вихревое течение под ВЗ, ярко выраженных двух вихрей не образуется (рис. 3), в основном образуется один вихрь и видны мелкие возмущения. Он то вновь возникает, то разрушается, но все же иногда на небольшое время образуется довольно мощный вихрь.



**Рис. 2. Эксперимент на ВЗ
при $\bar{H} = 1,34$, $\bar{\lambda} = 0,12$**



**Рис. 3. Эксперимент на ВЗ
при $\bar{H} = 1,34$, $\bar{\lambda} = 0,24$**

Что-то подобное происходит и при установке панели на величину $\bar{\lambda} = 0,36$. Опять же ярко выраженного вихревого шнура нет. Он очень редко образуется и по величине интенсивности значительно ниже предыдущего случая (рис. 4).

Установка панели на величину $\bar{\lambda} = 0,48$ (рис. 5) картину вихревого течения под ВЗ в основном не меняет, все остается, как и ранее. На поверхности экрана в большей степени видны следы от редко появляющегося вихревого шнура. Возможно редкое появление второго вихря с малой интенсивностью. Выдвижение панели на данное расстояние приводит к ликвидации мощных вихревых шнуров и существенному снижению их интенсивности.



Рис. 4. Эксперимент на ВЗ
при $\bar{H} = 1,34$, $\bar{\lambda} = 0,36$

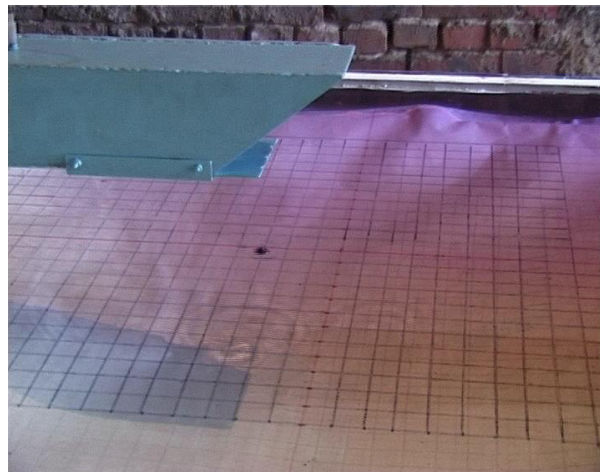


Рис. 5. Эксперимент на ВЗ
при $\bar{H} = 1,34$, $\bar{\lambda} = 0,48$

При дальнейшем выдвижении панели на величину $\bar{\lambda} = 0,60$ (рис. 6) вихря не оказывается, а на водной поверхности виден след от него в виде мелких возмущений.

То же самое течение под ВЗ в виде мелких возмущений происходит и при дальнейшем увеличении расстояния на величину $\bar{\lambda} = 0,72$ (рис. 7) Вихревые шнуры полностью отсутствуют.

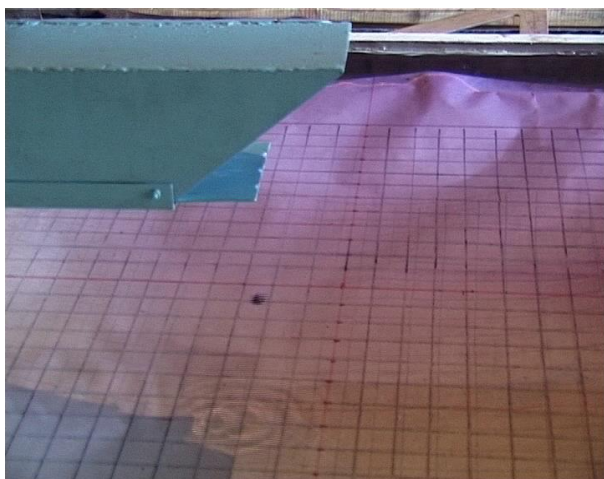


Рис. 6. Эксперимент на ВЗ
при $\bar{H} = 1,34$, $\bar{\lambda} = 0,60$

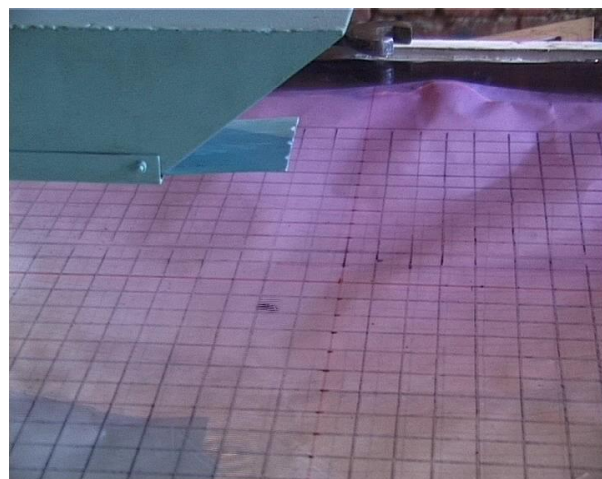


Рис. 7. Эксперимент на ВЗ
при $\bar{H} = 1,34$, $\bar{\lambda} = 0,72$

После проведенных экспериментов можно сделать определенные выводы.

1. Можно отметить, что при каждой постоянной высоте \bar{H} расстояние $\bar{\lambda}$, на которую выдвигается панель, изменяется в широком диапазоне с целью уничтожения вихрей. Для ликвидации вихревых жгутов необходимо выдвигать панель на то рациональное расстояние

$\bar{\lambda}$, которое позволит в полной мере убедиться об отсутствии вообще какого-либо вихревого течения под ВЗ.

2. Также можно выделить следующее. Когда высота \bar{H} располагается на малых высотах, то для того, чтобы понизить интенсивность вихревых шнуров, панель из-под ВЗ необходимо устанавливать на больших расстояниях $\bar{\lambda}$. В случаях, когда расположение ВЗ осуществляется на больших высотах \bar{H} , то наоборот, панель нужно устанавливать от кромки ВЗ на небольших расстояниях $\bar{\lambda}$.

Например, для высоты $\bar{H} = 0,86$ для резкого уменьшения интенсивности вихрей панель следует располагать на величину $\bar{\lambda} = 0,60$, для $\bar{H} = 0,98$ – на величину $\bar{\lambda} = 0,48$ и так далее.

Результаты показывают, что интенсивное уменьшение скоростей V_T происходит до расстояния $\bar{\lambda} = 0,36$, и дальнейшее выдвижение панели не дает существенного снижения скоростей V_T [2-4].

Разработка защитного устройства

По полученным результатам было разработано защитное устройство (ЗУ) (рис. 8), панель 7 которой, перемещается вперед на рациональную величину 540 мм от входной нижней кромки ВЗ 1 при реальном расположении на ВЗ ВС.

Основными размерами для работоспособности ЗУ также являются:

- ширина панели 7 соответствует ширине входной кромки ВЗ 1 и равна 625 мм;
- длина всей панели 7 должна соответствовать 800 мм;
- для уменьшения веса ЗУ расстояние между кронштейнами 10 внутри ВЗ должна соответствовать 865 мм;
- расстояние внутренней полости, образуемой внутренней 6 и нижней 12 стенками ВУ 1, где размещается панель 7 совместно с гидроцилиндром 9, должно соответствовать 1265 мм.

Под панелью образуются мощные вихревые жгуты, образовавшиеся на поверхности аэродрома, которые замыкаются на ее нижней поверхности и не попадают в ВЗ 1. Кроме того, по мере перемещения по нижней поверхности панели эти мощные вихревые шнуры уменьшают свою интенсивность или вообще не появляются, а значит, и ПП, засасываемые

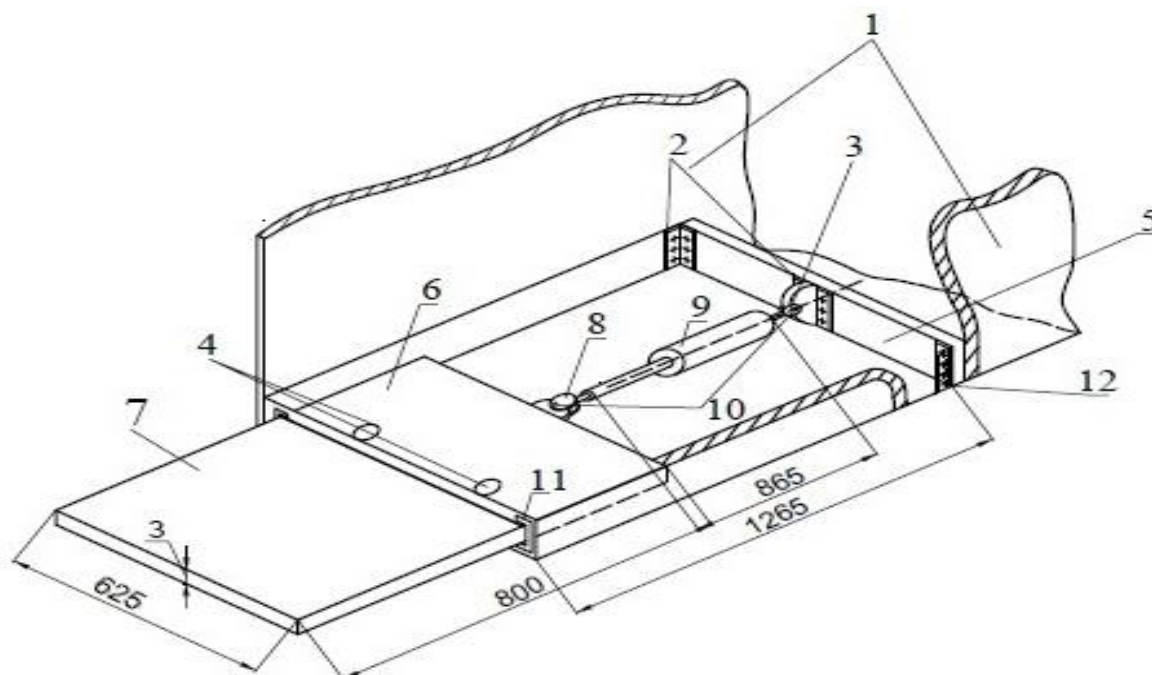


Рис. 8. Схема защитного устройства для установки на ВЗ ВС

этими вихрями, не попадают в тракт ВЗ 1.

Заключение

При размещении на ВЗ ВС Су-27 разработанных ЗУ позволит убрать из их трактов сетки защитные, перекрывающие входы в ВЗ. По результатам экспериментов и практического их применения, выявлено, что они снижают расход воздуха в ВЗ и также являются инициаторами образования льда в мелких ячейках сетки, которые отрываясь от нее, попадают на лопадки компрессора, и это приводит к повреждению авиадвигателей и их досрочное снятие с эксплуатации.

Кроме того, результаты предварительных расчетов показывают об увеличении эффективности применения этих ЗУ по всем характеристикам ВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория вихрей перед воздухозаборниками самолетов при работе газотурбинных двигателей на аэродроме / Н.В. Даниленко, П.М. Кривель, С.В. Пахомов, А.М. Сафарбаков, М.М. Федотов. Монография. Иркутск: МГТУ ГА, 2011. – 348 с.

2. Пахомов С.В., Сафарбаков А.М. Методы и средства защиты газотурбинных двигателей воздушных судов от попадания посторонних предметов. Монография. – Ч. 2 – Иркутск: ИрГУПС, 2011. – 156 с.

3. Чжен П. Отрывные течения. Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 356 с.

4. Пахомов С.В. Численные результаты исследования пространственных течений воздушного потока у поверхности опоры. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск: ИрГУПС. 2015, № 2 (46), с. 34-40.

5. Пахомов С.В. Универсальное защитное устройство для борьбы с вихревыми шнурами на входе в воздухозаборник воздушного судна / Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы шестой Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию со дня образования ИрГУПС, 30 сентября-03 октября 2015 г. Иркутск: в 2 т., Т. 2. – Иркутск: ИрГУПС, 2015. – с. 384-390.

6. Пахомов С.В. Методика исследования вихревых течений потока у поверхности раздела сред при отработке на земле воздушного судна / Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Седьмой международной научно-практической конференции, посвященной 355-летию со дня основания города Иркутска, 29 марта–01 апреля 2016 г. Иркутск: в 2 т., Т.2. – Иркутск : ИрГУПС, 2016. – с. 669-673.

7. Пахомов С.В. Результаты исследования пространственных потенциальных течений воздушного потока у опорной поверхности на входе в воздухозаборник воздушного судна / Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск: ИрГУПС. 2016, № 3 (51), с. 237-246.

8. Пахомов С.В. Метод борьбы с вихревыми течениями потока у опорной поверхности при отработке воздушного судна на земле / Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Восьмой Международной научно-практической конференции, 28 марта–01 апреля 2017 г. Иркутск: в 2 т. – Иркутск: ИрГУПС, 2017, Т. 2. – с. 572-576.

9. Пахомов С.В. Методика исследования течений под воздухозаборниками воздушного судна и способ борьбы с вихревыми шнурами / Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Девятой Международной научно-практической конференции, 10–13 апреля 2018 г. Иркутск: в 2 т. – Иркутск : ИрГУПС, 2018, Т. 2. – с. 427-431.

10. Пахомов С.В., Мейер О.С. Бортовое защитное устройство разрушения вихрей на входе в воздухозаборники воздушных судов / Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Девятой Международной научно-практической конференции, 10–13 апреля 2018 г. Иркутск: в 2 т. – Иркутск : ИрГУПС, 2018, Т. 2. – с. 432-436.

11. Пахомов С.В., Коткина Е.А. Методика исследования вихреобразования под воздухозаборниками воздушного судна и способ борьбы с вихревыми шнурами / Вопросы естествознания, №1(15) 2018, с. 29-36.

12. Пахомов С.В., Минеев Р.А. Влияние выдвижной панели, выдвигаемой из-под нижней части воздухозаборника воздушного судна, на интенсивность вихреобразования / Вопросы естествознания, №1(15) 2018, с. 37-44.

13. Пахомов С.В., Аверина К.А. Определение магнитных характеристик ферромагнитных материалов по результатам петли гистерезиса [Электронный ресурс] / Молодая наука Сибири. Иркутск: ИрГУПС, №1(3), 2019.

14. Пахомов С.В., Андреев Р.А. Методика выбора канала воздухозаборника воздушного судна для снижения интенсивности вихревых шнуров / Инфраструктура и эксплуатация наземного транспорта: материалы международной студенческой научно-практической конференции. 10 апреля 2019 г. В 2 ч. Ч. 1. – Н.Новгород: Научно-издательский центр «XXI» век. 2019, с. 26-31.

15. Пахомов С.В. Универсальные способы борьбы с вихревыми течениями на входе в воздухозаборник воздушного судна на газовой стоянке / Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Десятой Международной научно-практической конференции, 21–24 мая 2019 г. Иркутск: в 2 т. – Иркутск : ИрГУПС, 2019, Т. 2. – с. 293-298.

REFERENCES

1. The theory of vortices in front of aircraft air intakes when working gas turbine engines at the airfield / N. V. Danilenko, P. M. Krivel, S. V. Pakhomov, a.m. Safarbakov, M. M. Fedotov. Monograph. Irkutsk: MSTU GA, 2011. - 348 p.

2. Pakhomov S. V., Safarbakov A. M. Methods and means of protection of gas turbine aircraft engines from ingress of foreign objects. Monograph. – Part 2 – Irkutsk: The Irkutsk State University Of Communications, 2011. – 156 p.

3. Zheng P. Breakaway currents. Per. from English-M.: Mir, 1972. - 356 p.

4. Pakhomov S. V. Numerical results of the study of spatial air flow flows at the support surface. Modern technology. System analysis. Modeling. Irkutsk, Irkutsk State University Of Communications. 2015, № 2 (46), pp. 34-40.

5. Pakhomov S. V. Universal protective device for suppression of vortex cords on the entrance to the intake aircraft / Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the sixth International scientific-practical conference dedicated to 40-anniversary of the founding of the Irkutsk state University of communications, 30 Sep-03 October 2015 Irkutsk: in 2 vols., Vol. 2. - Irkutsk: Irgups, 2015. - pp. 384-390.

6. Pakhomov S. V. Methods for studying vortex flows of the flow at the surface of the media section when working on the ground of an aircraft / Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Seventh international scientific and practical conference dedicated to the 355th anniversary of the founding of the city of Irkutsk, March 29-April 01, 2016. Irkutsk: in 2 vols., Vol. 2. - Irkutsk: Irgups, 2016. - pp. 669-673.

7. Pakhomov S. V. Results of the study of spatial potential air flow flows at the reference surface at the entrance to the air intake of an aircraft / Modern technologies. System analysis. Modeling. Irkutsk: Irgups. 2016, no. 3 (51), pp. 237-246.

8. Pakhomov S. V. Method of combating vortex flows of the flow at the reference surface when testing an aircraft on the ground / Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Eighth International scientific and practical conference, March 28-April 01, 2017. Irkutsk: in 2 vols. - Irkutsk: Irgups, 2017, Vol. 2. - pp. 572-576.

9. Pakhomov S. V. Methodology for studying currents under air intakes of an aircraft and a method for dealing with vortex cords / Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Ninth International scientific and practical conference, April 10-13, 2018. Irkutsk: in 2 vols. - Irkutsk: Irgups, 2018, Vol. 2. - pp. 427-431.

10. Pakhomov S. V., Meyer O. S. on-Board protective device for destruction of vortices at the entrance to air intakes of aircraft / Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Ninth International scientific and practical conference, April 10-13, 2018. Irkutsk: in 2 vols. - Irkutsk: Irgups, 2018, Vol. 2. - p. 432-436.

11. Pakhomov S. V., Kotkina E. A. Methodology for studying vortex formation under the air intakes of an aircraft and a method for dealing with vortex cords / Questions of natural science, No. 1(15) 2018, pp. 29-36.

12. Pakhomov S. V., Mineev R. A. Influence of a sliding panel that is extended from under the lower part of the air intake of an aircraft on the intensity of vortex formation / Questions of natural science, No. 1 (15) 2018, pp. 37-44.

13. Pakhomov S. V., Averina K. A. Determination of magnetic characteristics of ferromagnetic materials based on the results of a hysteresis loop [Electronic resource] / Young science of Siberia. Irkutsk, Irkutsk State University Of Communications, №1(3), 2019.

14. Pakhomov S. V., Andreev R. A. Method of selecting the air intake channel of an aircraft to reduce the intensity of vortex cords / Infrastructure and operation of ground transport: materials of the international student scientific and practical conference. April 10, 2019 In 2 hours Part 1. – N. Novgorod: Scientific and publishing center "XXI" century. 2019, pp. 26-31.

15. Pakhomov S. V. Universal ways to combat vortex flows at the entrance to the air intake of an aircraft at a gas Parking lot / Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Tenth International scientific and practical conference, may 21-24, 2019. Irkutsk: in 2 vols. - Irkutsk: Irgups, 2019, Vol. 2. - pp. 293-298.

Информация об авторах

Пахомов Сергей Васильевич – к. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Физика, механика и приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pahomov_sv@irgups.ru

Мейер Оксана Сергеевна – начальник отделения среднего профессионального образования, факультет «Сервис на транспорте», Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, г. Иркутск, e-mail: meyerok@mail.ru

Authors

Pakhomov Sergey Vasilyevich – Ph. D., associate Professor, head of the Department of Physics, mechanics and instrument engineering, Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: pahomov_sv@irgups.ru

Meyer Oksana Sergeevna – head of the Department of secondary professional education, faculty «Of transport Services», Irkutsk branch of the Moscow state technical University of civil aviation, Irkutsk, e-mail: meyerok@mail.ru

Для цитирования

Пахомов С.В., Мейер О.С. Борьба с вихревыми течениями потока под воздухозаборником воздушного судна посредством плоской панели [Электронный ресурс] / С. В. Пахомов, О. С. Мейер // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. - 2020. - № 4(10). - Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/>, свободный. - Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 10.11.2020)

For citation

Pakhomov S. V., Meyer O. S. Fight against vortex flows of the flow under the air intake of an aircraft by means of a flat panel [Electronic resource] / S. V. Pakhomov, O. S. Meyer // Young science of Siberia: electron. scientific journal-2020. – no 4(10). - access Mode: <http://mnv.irgups.ru/toma/>, free. - Stub from the screen. - Yaz. Rus., eng. (accessed: 10.11.2020)