

СНИЖЕНИЕ ШУМА СНЕГОУБОРОЧНОЙ УСТАНОВКИ

© 2009 А. А. Иголкин¹, А. Н. Крючков², Л. В. Родионов², С. В. Ефанов³

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²Институт акустики машин

³Самарское конструкторское бюро машиностроения

В статье описывается использование авиационного двигателя, отработавшего свой ресурс «на крыле», в составе снегоуборочной машины. Исследованы акустические характеристики кабины оператора. Разработаны мероприятия по снижению шума в кабине снегоуборочной машины.

Шум, авиационный двигатель, снегоуборочная машина

В условиях переменчивого климата средней полосы России проблема обледенения взлетно-посадочных полос представляется крайне актуальной. Нет более жестких требований к состоянию покрытия, чем на взлетно-посадочных полосах аэродромов. Значит, и проблемы здесь самые острые, и решения самые перспективные. Для борьбы с обледенением рулежных дорожек и взлетно-посадочных полос требуются модернизация наземного оборудования и применение новых технологий.

Применение отработавшего ресурс авиационного двигателя в качестве аэродромной снегоуборочной установки (рис. 1) является достаточно удачным и перспективным техническим решением по ряду причин, к которым следует отнести:

- высокую производительность установки, обусловленную мощной выхлопной струей газотурбинного двигателя;
- относительно невысокую остаточную стоимость двигателя, отработавшего свой ресурс «на крыле»;
- наличие в эксплуатирующих организациях квалифицированного технического персонала, способного на требуемом уровне обеспечить обслуживание и регламент установки;
- работа установки на обычном авиационном топливе – керосине, имеющимся в наличии в аэропортах.

К числу проблем эксплуатации снегоуборочной установки с газотурбинным двигателем следует отнести чрезмерный шум,



Рис. 1. Внешний вид ОС – 12

который негативно воздействует на ее водителя и оператора. Помимо отрицательного воздействия звукового давления на самочувствие и здоровье указанных лиц, шум в кабине препятствует нормальному их аудиоконтакту, что может привести к нештатным и даже к аварийным ситуациям. Поэтому обеспечение требуемых санитарных норм по шуму в кабине снегоуборочной установки ОС-12 представляется весьма актуальной и важной задачей.

На основе проведенных в стендовых условиях измерений уровней звукового давления выполнен анализ акустического состояния кабины.

Использовалась методика определения звукоизоляции кабины [1].

Для измерения уровня звукового давления в кабине были проведены замеры в контрольных точках, расположение которых указано на рис. 2.

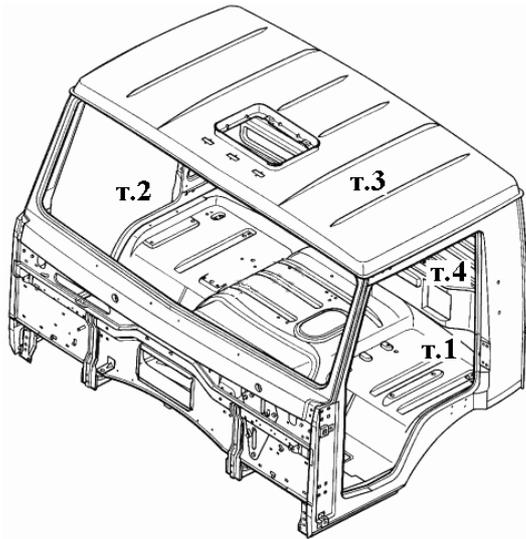


Рис. 2. Схема расположения контрольных точек в кабине на месте водителя:
 т.1 – около двери; т.2 – около лобового стекла;
 т.3 – около крыши; т.4 – около задней части кабины

Проведены измерения на пяти различных режимах газотурбинного двигателя для оценки акустической картины в кабине КАМАЗа.

Наибольший интерес с точки зрения шумовой картины представляет максимальный режим работы двигателя (8200 мин⁻¹).

На рис. 3 представлен график частотной характеристики для контрольной точки, находящейся около двери водителя, т.к. эта точка является наиболее шумной, то обеспечение требуемого уровня звукового давления в ней обеспечит выполнение норм во всех остальных точках.

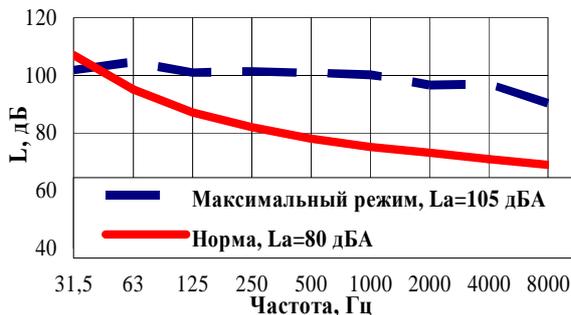


Рис. 3. Уровень звукового давления в точке 1 (около двери водителя)

Из анализа рис. 3 видно, что уровень звукового давления превышает нормируемый во всех октавных полосах, кроме $f = 31,5$ Гц. Следует также отметить, что снижение уровней звукового давления до норм в октавных полосах не гарантирует нормы по шкале А.

С увеличением режима работы двигателя увеличиваются уровни звукового давления на всех частотах, при этом рост уровней на высоких частотах более интенсивен.

Также установлены значительные превышения уровней звукового давления в кабине над санитарными нормами, достигающие 25...26 дБ.

Для оценки эффективности звукоизоляции кабины КамАЗа были проведены измерения в натуральных условиях. Результаты сравнивались с известными экспериментальными данными, полученными в разное время в Научно-исследовательском институте строительной физики (НИИСФ, г. Москва).

Результаты сравнения представлены на рис. 4 и 5.

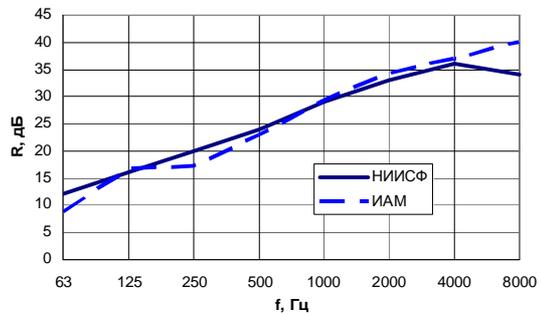


Рис. 4. Звукоизоляция стального листа толщиной 1 мм

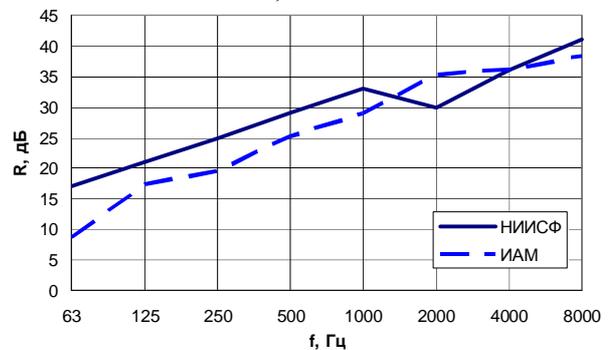


Рис. 5. Звукоизоляция стекла толщиной 5 мм

Из анализа рис. 4 и 5 можно сделать вывод о достаточной сходимости результатов для стального листа. Расхождения в данных для звукоизоляции стекла можно объяснить тем, что измеряемое стекло не обладает достаточной площадью необходимой для проведения адекватных измерений. Однако, используя имеющиеся данные можно судить о том, что звукоизоляция стального листа и стекла

соизмеримы (то есть слабые места в конструкции кабины отсутствуют).

На рис. 6 показаны измеренные частотные характеристики звукоизоляции элементов кабины и необходимая звукоизоляция для достижения санитарных норм на рабочих места водителя и оператора СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [2].

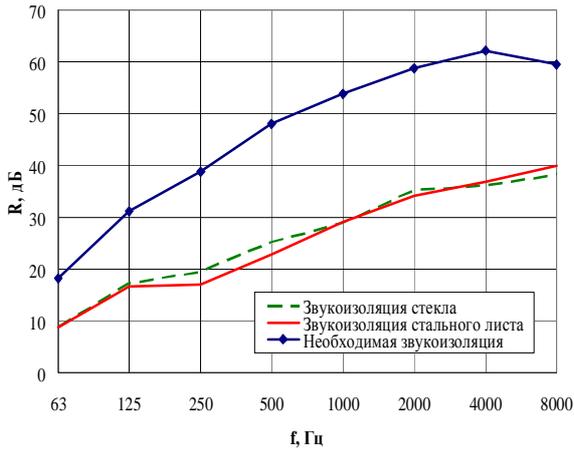


Рис. 6. Частотная характеристика звукоизоляции элементов кабины и необходимой звукоизоляции

На графике (рис. 6) нет данных на октавной частоте 31.5 Гц, так как на этой частоте не требуется достижения санитарных норм.

Определено также требуемое снижение уровня шума в октавных полосах частот на рабочих местах в кабине установки ОС-12. Их значения составляют 10...14 дБ для низких частот и 23...26 дБ для высоких частот. Это представляет собой достаточно сложную задачу, т.к. необходимо увеличить существующую звукоизоляцию почти в два раза.

Помимо измерений звукоизоляции кабины и уровней шума в кабине, при работе газотурбинного двигателя на режиме «малого газа» была проведена оценка неравномерности звукового поля около кабины.

Частотная характеристика неравномерности звукового поля представлена на рис. 7.

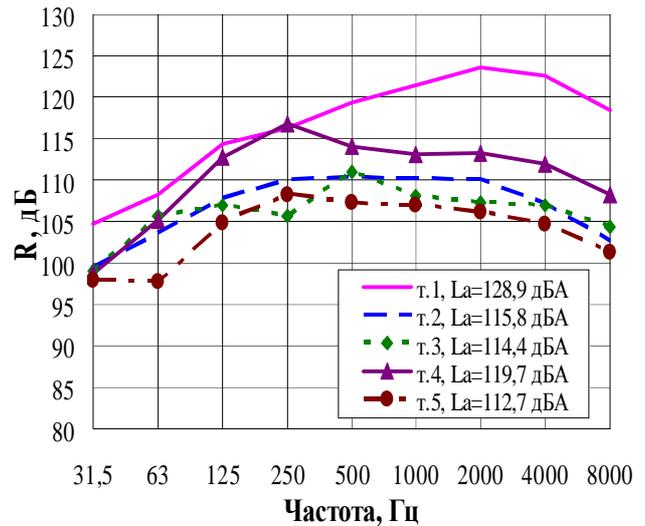


Рис. 7. Частотная характеристика неравномерности звукового поля около кабины

Из графика на рис. 7 видно, что уровень звукового давления в точке 1 $La=128,9$ дБА (у кабины водителя) значительно выше уровней звукового давления в остальных точках. Также выделяется точка 4, $La=119,7$ дБА (сзади кабины). Из этого следует, что особое внимание следует уделить звукоизоляции задней части кабины и части кабины со стороны водителя.

Снижение шума в кабине достигается за счет использования следующих мероприятий [3]:

- уменьшение передачи воздушного звука через ограждающие конструкции кабины (стенки, пол, перегородки) – ликвидация или акустическая герметизация отверстий, щелей установкой акустических экранов (АЭ) на проемы в ограждающих конструкциях;
- увеличение звукоизоляции ограждающих конструкций кабины – установка многослойных конструкций с элементами звукопоглощения и демпфирования, а также использование двухстенной звукоизоляции со стороны наиболее интенсивных источников (рис. 8);
- снижение отраженного звука облицовки звукопоглощающим материалом (рис. 8) крыши и (частично) стенок кабины;

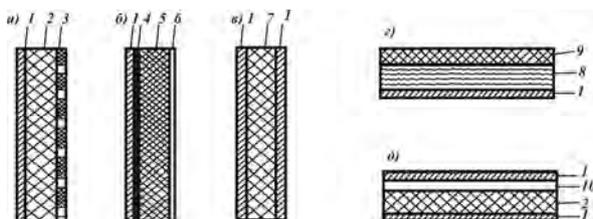


Рис. 8. Элементы ограждения звукоизолирующих кабин: 1 – стальной лист; 2 – мягкий звукопоглощающий материал (поролон); 3 – винилискожа перфорированная; 4 – демпфирующее покрытие; 5 – волокнистый звукопоглощающий материал; 6 – отделочный материал; 7 – пенопласт; 8 – войлок; 9 – резина; 10 – воздушный промежуток

– уменьшение передачи вибрации – виброизоляция двигателя кабины, а также источников повышенной вибрации, например коробки передач, переход на тросовое управление, виброизоляция трубопроводов, использование в трубопроводах гибких вставок и пр.;

– уменьшение звукоизлучающей способности элементов ограждения кабины и ее вибропередающих систем (рычагов, трубопроводов и пр.);

– уменьшение шума от внутренних источников в кабине (вентиляции, отопления, гидромоторов и др.) путем выноса их за пределы кабины или установки глушителей.

Ориентировочные значения эффективности мер шумозащиты на тракторах приведены в табл. 1 [1].

Для достижения санитарных необходимо поэтапное внедрение следующих мероприятий:

– установка спальника с частичным заполнением звукопоглощающим материалом (ЗПМ);

– установка крыши с частичным заполнением ЗПМ;

– покупка инкассаторской двери (2 шт.) и их монтаж или модернизация существующей двери;

– установка арок;

– замена лобовых стекол;

– проклейка кабины;

– возведение дополнительной стены за спиной водителя и заполнение промежутка базальтом;

– обшивка салона декоративным ЗПМ;

– установка рёбер жесткости.

Таблица 1 - Ориентировочная эффективность мер шумозащиты на тракторах

Мероприятие	Снижение УЗ, дБА	
	в кабине	во внешнем пространстве
Установка АЭ между двигателем и перегородкой	3-6	-
Акустическая герметизация элементов кабины	2-8	-
Использование двойного пола кабины	3-5	-
Облицовка кабины звукопоглощающим материалом	2-4	-
Виброизоляция кабины	4-7	1-2
Использование вибропоглощающих элементов в ограждениях кабины	2-5	1
Увеличение звукоизоляции элементов кабины	4-6	-

Для реализации первых двух мероприятий фактически требуется преобразовать кабину КаМАЗа из одной модели в другую (рис. 9).



Рис. 9. Варианты кабин КаМАЗа

Для реализации этих мероприятий проще всего отсоединить спальник и крышу со старых кабин.

Для увеличения звукоизоляции задней стенки и крыши необходимо заполнение воздушного промежутка ЗПМ. В качестве ЗПМ могут применяться стекловолокно (негорючий материал), базальтовая (каменная) вата (негорючий материал), вспененный каучук (класс горючести Г1), пористый полиэтилен (класс горючести Г2). Применение того или иного материала

зависит от требований по пожарной безопасности, финансовых возможностей и требований к акустике.

Для иллюстрации эффективности предлагаемых мероприятий по увеличению звукоизоляции задней части кабины и крыши был проведен расчет по методике СНИП 23-03-2003 [4] частотной характеристики звукоизоляции многослойной конструкции, состоящей из двух стальных листов, толщиной 1 мм, и помещенного между ними ЗПМ. Расчетные характеристики звукоизоляции сэндвич конструкции представлены на рис.10.

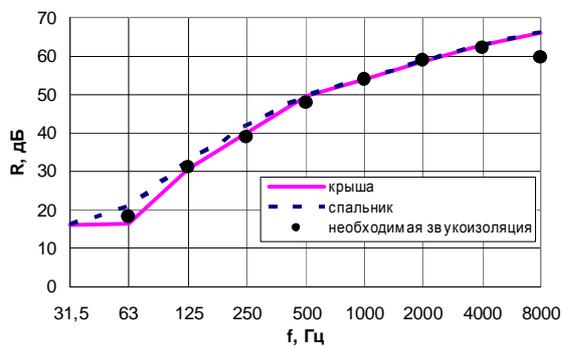


Рис.10. Частотная характеристика звукоизоляции спальника, заполненного базальтом $\rho=115 \text{ кг/м}^3$, толщиной 440 мм и крыши заполненной базальтом $\rho=115 \text{ кг/м}^3$, толщиной 260 мм

Таким образом, из рассмотрения рис. 10 видно, что установка спальника и крыши повысит звукоизоляцию последних до требуемой.

Следует отметить, что нанесение на стальные листы вибродемпфирующего материала повысит звукоизоляцию.

Альтернативой использования инкассаторской двери может быть доработка существующей двери следующим образом:

- установка уплотнителей;
- установка стеклопакета (рис.11);
- замена декоративной пластиковой обшивки на стальную;
- укладка базальта ($\rho > 100 \text{ кг/м}^3$);

При доработке кабины со стороны крыши, задней части и двери слабым местом остаются арки, так как шум от выхлопной струи проникает в кабину и через них. Поэтому необходимо установить дополнительные арки и заполнить промежутки ЗПМ.

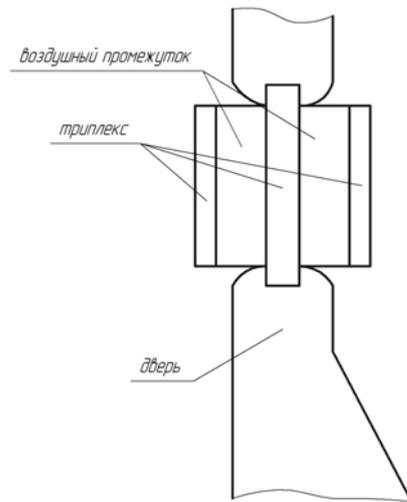


Рис.11. Схема установки стеклопакета в дверь

После доработки кабины с задней стороны потребуется замена лобовых стекол (рис. 12).

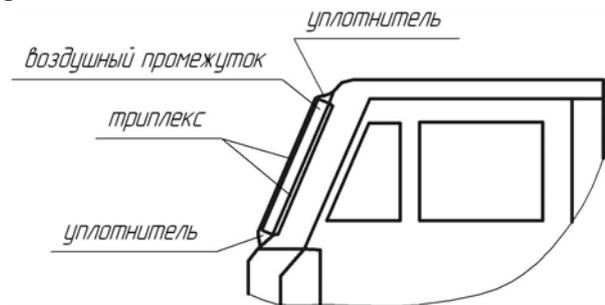


Рис.12. Схема установки стеклопакета в лобовое стекло

При излучении звука возникает воздушный шум, который воздействует на стеклопакет. Излучаемый звук достигает ограждения, преграды (первого стекла в стеклопакете) и вызывает его колебания. Колеблющееся наружное стекло излучает звук в межстекольное пространство, где воздух играет роль амортизатора, т.е. на второе стекло приходит уже ослабленное звуковое воздействие, которое, в свою очередь, вызывает колебание второго стекла, а оно излучает звук в кабину и, таким образом, шум «настигает» человека.

Каждое стекло рассматривается как тонкая пластина, которая изгибается (колеблется) под внешним воздействием звуковой волны. Звукоизоляция конструкции имеет провал на так называемой резонансной частоте. (Экспериментально установлена зависимость, определяющая наличие двух частотных диапазонов звукоизоляции, разделенных граничной частотой.) На этой

частоте скорость изгибных волн в стеклопакете совпадает со скоростью звука в воздухе. При волновом совпадении распределение давления на поверхности стеклопакета точно соответствует распределению амплитуды его собственных колебаний, что приводит к резкому увеличению интенсивности колебаний и снижению звукоизоляции. После этого провала звукоизоляция интенсивно растет. У стеклопакета резонансная частота находится в области 200...250 Гц. Основной целью звукоизоляционного проектирования стеклопакета является сглаживание резких падений звукоизоляции или максимально возможное выведение граничной частоты стеклопакета в сторону от диапазона нормируемых частот.

Если толщина воздушных прослоек в двухкамерном стеклопакете одинакова, то такой стеклопакет, практически, не имеет преимуществ перед однокамерным, потому что в таком стеклопакете происходит повышение граничной частоты и приближение ее к области наилучшей слышимости. Так же, при одинаковых стеклах, их граничные частоты (резонансы) совпадают и преимущества, полученные за счет увеличения общей суммарной толщины стекол, пропадают, т.к. граничная частота смещается в зону средних частот, которые наиболее восприимчивы человеческим ухом.

Таким образом, оптимальными характеристиками обладают двухкамерные стеклопакеты, у которых различны толщина и воздушных камер, и самих стекол. Звукоизоляция таких стеклопакетов составляет около 40 дБ и более.

На рис. 13 показаны характеристики звукоизоляции стеклопакетов.

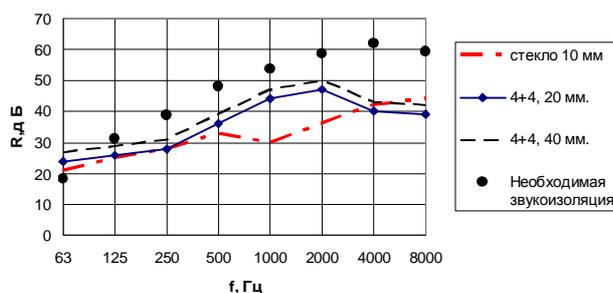


Рис.13. Частотная характеристика звукоизоляции стеклопакетов

В статье изложены результаты анализа акустического состояния кабины снегоочистительной установки ОС-12.

Разработаны поэтапные мероприятия для снижения уровня шума в кабине.

Библиографический список

- ГОСТ 23426-79 Шум. Методы измерения звукоизоляции кабин наблюдения и дистанционного управления в производственных зданиях – Введ. 1978-12-29. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 8с.
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» – Введ. 1996-10-31. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 8 с.
- Техническая акустика транспортных машин [Текст]: Справочник/ Л.Г. Балишанская, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др.; Под ред. Н.И. Иванова. – СПб.: Политехника, 1992. – 365 с.
- СНиП 23-03-2003 Защита от шума [Текст] – Введ. 2003-06-30. – М.: Издательство стандартов, 2003. - 39с.

References

- GOST 23426-79 Noise. Methods of measurement of sound insulation by operators shelters or remote control cabins in industrial buildings – Entered 1978-12-29. – М.: Standards Publishing House, 1978. – 8 p. [In Russian]
- SN 2.2.4/2.1.8.562-96 «Noise on workplaces, in premises of inhabited, public buildings and in housing estate territory» – Entered 1996-10-31. – М.: Standards Publishing House, 1996. – 8 p. [In Russian]
- Technical acoustics of transport cars: Directory / L.G.Balishansky, L.F.Drozдова, N.I.Ivanov, etc.; Under the editorship of N.I.Ivanov – SPb.: Politehnika, 1992. – 365 p. [In Russian]
- SNiP 23-03-2003 Sound Protection – Entered 2003-06-30. – М.: Standards Publishing House, 2003. – 39 p.

NOISE REDUCTION OF SNOW-PLOUGH

© 2009 A. A. Igolkin¹, A. N. Kruchkov², L. V. Rodionov², S. V. Efanov³

¹Samara state aerospace university

²Institute of acoustic of machine

³JSC Samara design mechanical engineering bureau

The report deal with possibility of installation of the aviation engine on the snow-plough. Acoustic characteristics of a cabin of the operator are investigated. Developed constructions to noise reduction of snow-plough.

Noise, aviation engine, snow-plough

Информация об авторах

Иголкин Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматические системы энергетических установок» Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: igolkin@pochta.ru. Область научных интересов: пневматика и виброакустика.

Крючков Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматические системы энергетических установок» Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: kan@ssau.ru. Область научных интересов: расчёт и проектирование корректирующих устройств для пневмо- и гидросистем, виброакустика.

Родионов Леонид Валерьевич, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автоматические системы энергетических установок» Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: rl63@bk.ru. Область научных интересов: гидродинамика и виброакустика.

Ефанов Сергей Владимирович, ведущий конструктор Самарского конструкторского бюро машиностроения. E-mail: scbm@saminfo.ru. Область научных интересов: авиационные двигатели.

Igolkin Alexander Alexseevich, Candidate of Engineering Science, senior lecturer of Department “Automatic systems of power plant” of Samara State Aerospace University. E-mail: igolkin@pochta.ru. Area of research: pneumatic systems and vibroacoustic.

Kruchkov Alexander Nikolaevich, doctor of the technical science, professor of Department “Automatic systems of power plant” of Samara State Aerospace University. E-mail: kan@ssau.ru. Area of research: calculation and designing of correcting devices for pneumo- and hydrosystems, vibroacoustic.

Rodionov Leonid Valeryevich, Candidate of Engineering Science, senior lecturer of Department “Automatic systems of power plant” of Samara State Aerospace University. E-mail: rl63@bk.ru. Area of research: hydrodynamics and vibroacoustic.

Efanov Sergey Vladimirovich, the leading designer of Samara design mechanical engineering bureau. E-mail: scbm@saminfo.ru. Area of research: aviation engines.