

УДК 62-251

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕРАСТВОРЕННОГО ВОЗДУХА
В РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ НА НАГРУЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
КОМБИНИРОВАННОГО НАСОСНОГО АГРЕГАТА**

© 2012 С.А. Гафуров¹, В.И. Перминов², Л.В. Родионов¹, А.Н. Крючков³, Е.В. Шахматов¹

¹Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)

²ОАО «КУЗНЕЦОВ», Россия, Самара

³Институт акустики машин при СГАУ, Самара

Поступила в редакцию 11.04.2012

В состав авиационных топливных систем, как правило, входят комбинированные насосные агрегаты. Рабочие процессы в авиационных топливных системах могут сопровождаться попаданием воздуха в питающую магистраль насосов. В данной работе изучаются вопросы влияния попадания различного количества свободного воздуха в питающую магистраль на пульсационное, вибрационное и напряженное состояние элементов топливного комбинированного насоса, состоящего из шнеко-центробежной и шестеренной ступеней.

Ключевые слова: насосные агрегаты, нерастворенный воздух, нагруженное состояние.

В данной работе исследуется нагруженность элементов топливного комбинированного насосного агрегата в случае попадания воздуха в его питающий трубопровод.

В качестве объекта исследования выбрана шнеко-центробежная ступень (ШЦС) комбинированного насосного агрегата (см. рис. 1).

Как видно из рис. 1, рассматриваемый насос состоит из ШС и ШЦС, расположенных в отдельных корпусах, но соединенных посредством прокладки в один агрегат. ШС и ШЦС установлены на один вал. Крутящий момент от ШС передается к ШЦС посредством промежуточной рессоры. Насос входит в состав топливорегулирующей системы двигателя и работает совместно с агрегатом дозирования топлива (АДТ), регулятором сопла и форсажа (РСФ) и подкачивающими баковыми центробежными насосами (ЦН). Шнек двухзаходный, крыльчатка состоит из 11 лопаток, шестерни имеют по 11 зубьев.

Объект исследования был оснащен комплексом измерительных средств (рис. 2 и 3):

Гафуров Салимжан Азатович, аспирант кафедры АСЭУ.
E-mail: sa.gafurov@gmail.com

Перминов Валерий Иванович, ведущий конструктор.
E-mail: pri2911@yandex.ru

Родионов Леонид Валерьевич, кандидат технических наук, ассистент кафедры АСЭУ. E-mail: rl63@bk.ru

Крючков Александр Николаевич, доктор технических наук, исполнительный директор . E-mail: kan@ssau.ru

Шахматов Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой АСЭУ.

E-mail: shakhm@ssau.ru

1. Датчики замера статического давления расположены:

- на питающем трубопроводе (С9);
- в полости слива рабочей жидкости из сливных магистралей (С10);
- на корпусе улитки перед шнеком. Датчик установлен по направлению течения рабочей жидкости (С11);
- на корпусе улитки перед шнеком. Датчик установлен в противоположном направлении течения рабочей жидкости (С12);
- на выходе из ШЦС (С13);
- на выходе ШС (С14);

2. Датчики пульсаций давления расположены:

- в питающем трубопроводе (С15);
- на входе в ШЦС (перед шнеком – С16);
- на выходе из ШЦС (С17);
- в полости между ШЦС и ШС (С18);
- на выходе из ШС (С19);

3. Датчики вибрации на фланце подвода топлива:

- вибрации вдоль вала насоса в горизонтальной плоскости YOX (канал С21);
- вибрации перпендикулярно валу насоса в поперечной плоскости ZOY (канал С22);
- вибрации перпендикулярно валу насоса в вертикальной плоскости XOZ (канал С23);
- вибрации на прокладке, соединяющей ШЦС и ШС, в горизонтальной плоскости YOX вдоль вала насоса (канал С24).

4. 8 тензодатчиков, наклеенных на прокладку между ШЦС и ШС (см. рис. 3).

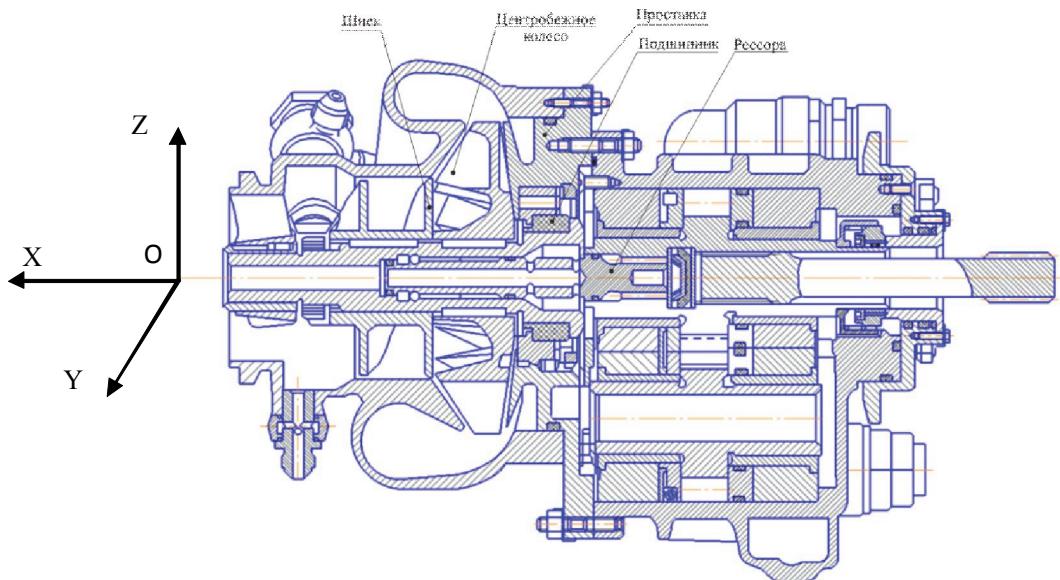


Рис. 1. 2D модель комбинированного насоса

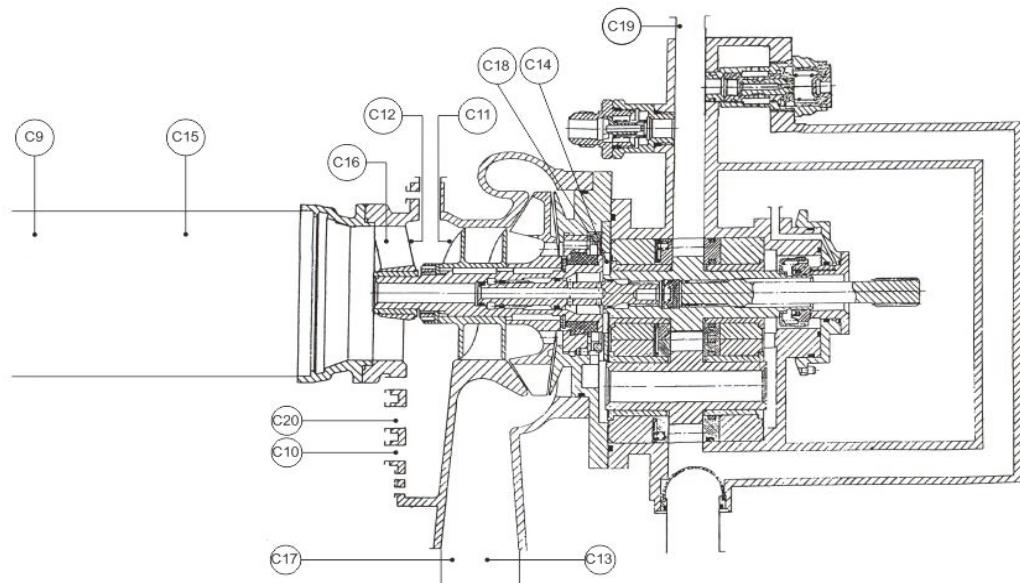


Рис. 2. Схема расположения датчиков

Статическое давление измерялось стрелочными манометрами и датчиками ДД-10. Пульсации давления регистрировались с помощью датчиков PCB HM101A. Вибрации измерялись однокомпонентным вибропреобразователем PCB M353B16 и трёхкомпонентным PCB 356B21. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью двадцати четырёх канальной измерительно-обрабатывающей аппаратуры LMS Scadas Mobile.

Тензодатчики были установлены на проставке с целью определения осевых усилий, действующих на подшипник ротора, т.к. на него через вал передаются неуравновешенные силы, действующие на шнек и рабочее колесо.

Исследование проведено при двух вариантах работы насосного агрегата:

1. Рабочее тело – керосин;
2. Рабочее тело – керосин и воздух (концентрация от 6 до 9%).

Подача воздуха осуществлялась в подводящий трубопровод. Расход воздуха измерялся по перепаду давления на калиброванном жиклере с известной расходной характеристикой. Объем подаваемого воздуха регулировался с помощью жиклера диаметром 0,8 мм.

Результаты экспериментальных измерений пульсаций и вибраций насосного агрегата при подаче воздуха и без него представлены на рис. 4 – 7. Все динамические параметры представлены в виде их среднеквадратичных значений (СКЗ). СКЗ параметров для временного сигнала определяются по формуле:

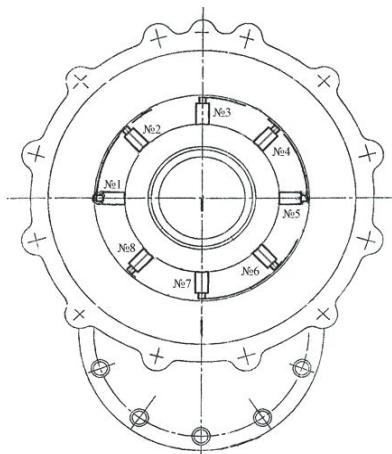


Рис. 3. Схема препарирования проставки тензодатчиками

$$СКЗ = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} (y_j)^2}, \quad (1)$$

где n – количество отсчетов времени при замере сигнала снимаемого параметра;

y_j – значение сигнала снимаемого параметра на определенном временном отрезке.

Режимы, на которых проводились исследования влияния нерастворенного воздуха в рабочей жидкости на вибрационное и пульсационное состояние комбинированного насосного агрегата представлены в табл. 1.

Проведенные испытания позволили установить, что практически на всех режимах испытаний подача незначительного объема воздуха G_B

оказывает существенное стабилизирующее воздействие на устойчивость системы «насос-трубопроводы», что подтверждает результаты полученные в [1]. Так при подаче $G_B = 0,04G_T$ на первом режиме работы насосного агрегата, СКЗ амплитуд колебаний давления в местах установки датчиков уменьшилась в среднем на 20%, СКЗ сигналов виброускорений – на 30%.

На рис. 6 и 7 представлены спектры пульсаций давления, и виброускорения для соответствующих точек насосного агрегата. Из них видно, что частоты основного рабочего процесса (перекачка рабочей жидкости) не меняются.

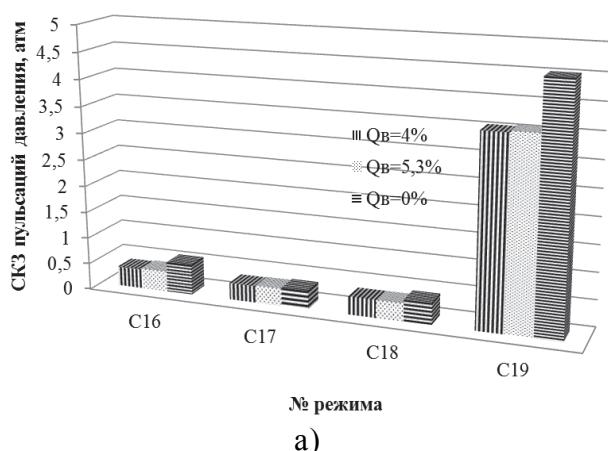
Самое значительное влияние воздуха, при всех исследованных режимах работы, на снижение пульсационной нагруженности насосного агрегата наблюдается на входе в ШПС (перед шнеком) – канал C16 (снижение амплитуд колебаний давления на 30...70%) и на выходе из ШПС – канал C19 (снижение амплитуд колебаний давления на 20...34%). Наиболее существенное влияние воздуха на снижение вибрационной нагруженности насосного агрегата наблюдается в плоскости YOX (снижение амплитуд колебаний виброускорения на 37...48%); в поперечной плоскости ZOY (снижение на 62...65%); в вертикальной плоскости XOZ (снижение на 11...38%).

На рис. 8 приведены результаты тензометрирования насосного агрегата для первого режима насоса с различными уровнями содержания воздуха.

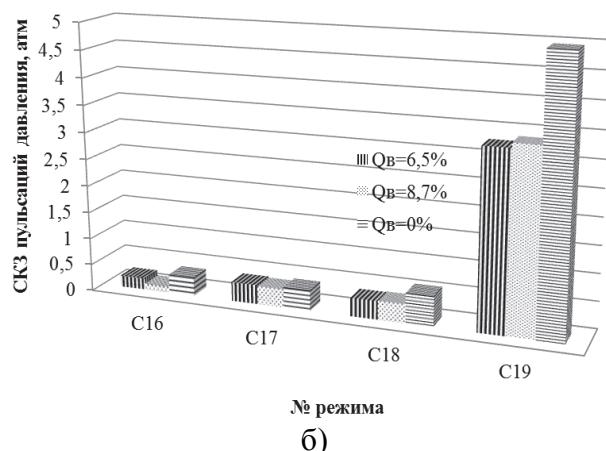
При этом для всех режимов работы наблюдается характерная картина изменения сигнала

Таблица 1. Режимы работы насосного агрегата

N режима	P _{стенд} , атм	N _{нас} , об/мин	G _{ГДН} , кг/ч	G _{ГПЕР} , кг/ч	T _{топл} , °C	% воздуха		
1	1,9	6433	14656	454	25	0	4	5,3
2	1,9	6420	17102	537	26	0	6,5	8,7



a)



б)

Рис. 4. СКЗ пульсаций давления для различных каналов измерений при разных уровнях подачи воздуха:
а – режим 1; б – режим 2

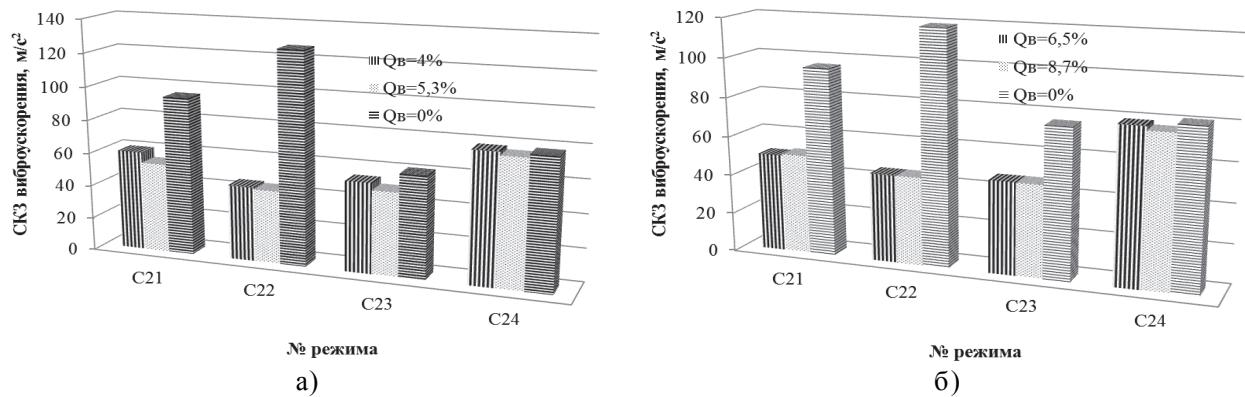


Рис. 5. Уровни виброускорений для разных каналов измерений при различных уровнях подачи воздуха:
а – режим 1; б – режим 2

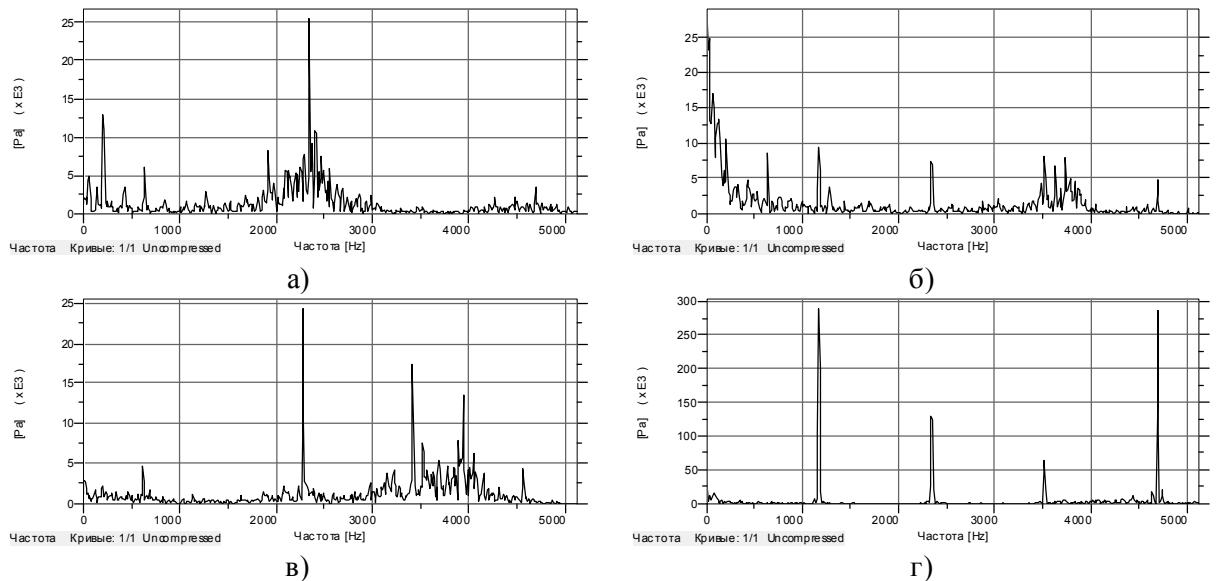


Рис. 6. Спектры виброускорений при работе на керосине:
а – на входе в ШЦС (перед шнеком – С16); в – в полости между ШЦС и ШС (С18);
б – на выходе из ШЦС (С17); г – выходе из ШС (С19)

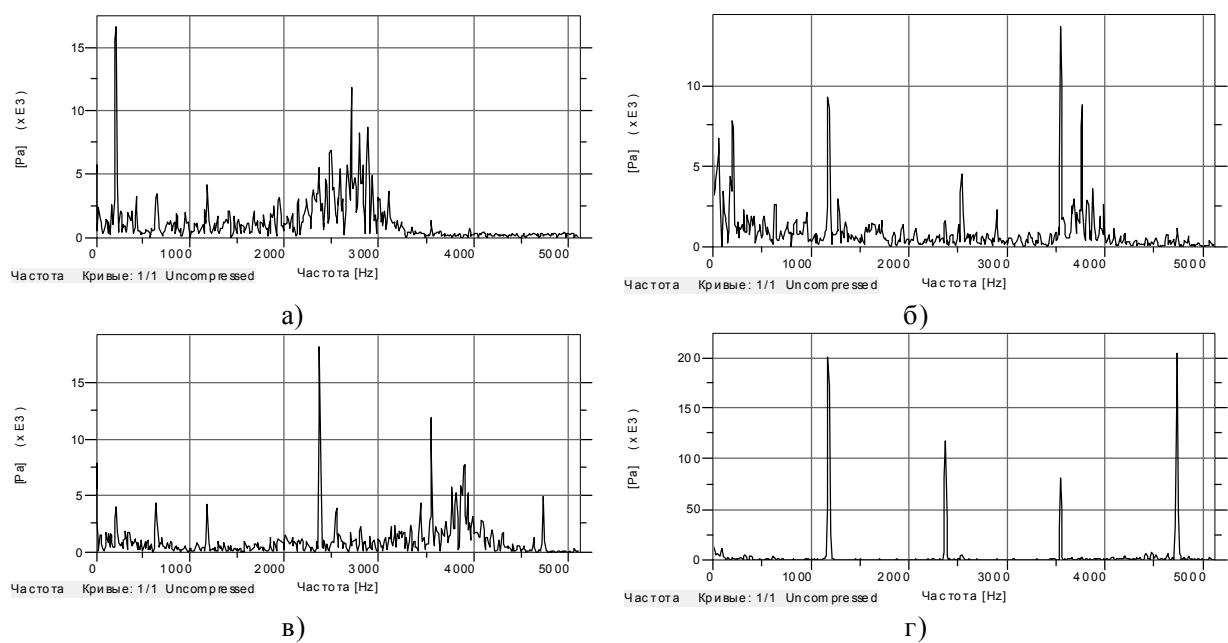


Рис. 7. Спектры пульсаций давления при работе на керосине с нерастворённым воздухом ($G_B = 0.04 G_T$):
а – на входе в ШЦС (перед шнеком – С16); б – на выходе из ШЦС (С17);
в – в полости между ШЦС и ШС (С18); г – выходе из ШС (С19)

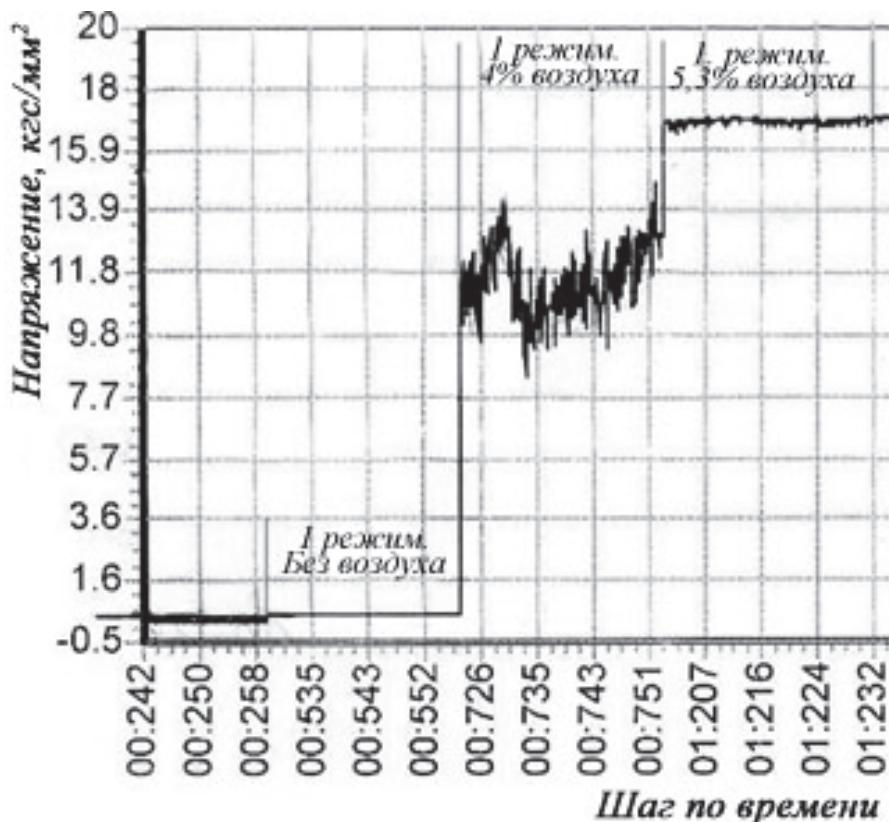


Рис. 8. Изменение напряжений на проставке насоса в зависимости от подачи воздуха (канал №1)

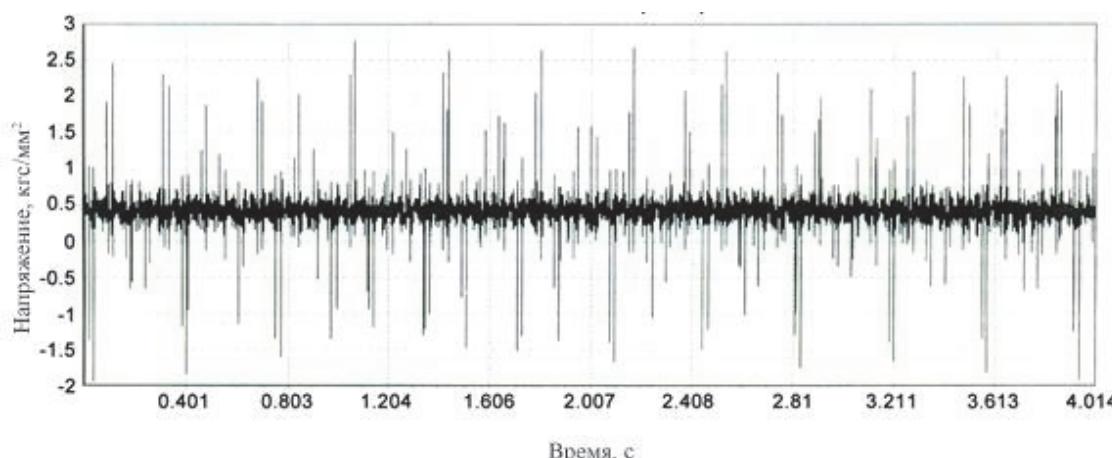


Рис. 9. Сигнал с тензодатчика на 1 режиме работы без воздуха по каналу №1

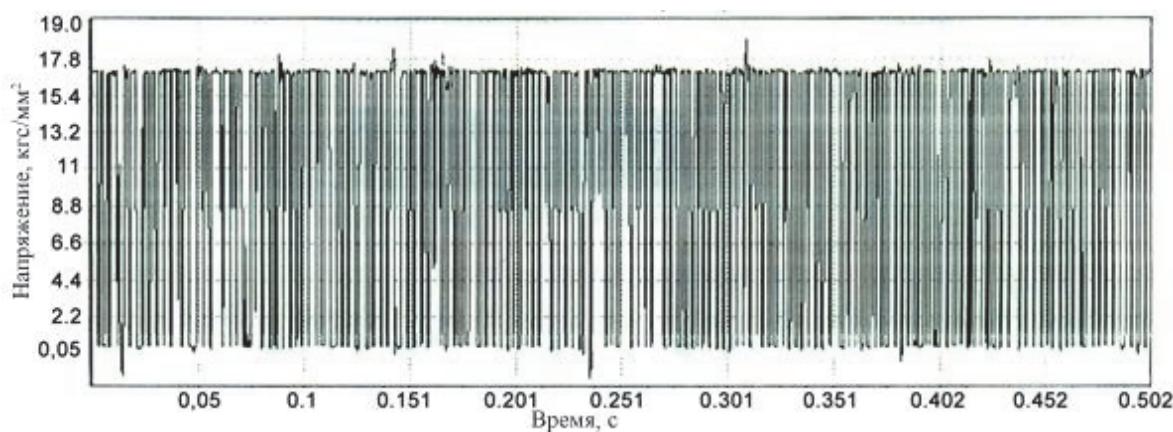


Рис. 10. Сигнал с тензодатчика на 1 режиме работы при 4% воздуха по каналу №1

с тензодатчиков при работе без воздуха и с воздухом (см. рис. 9, 10)

Результаты тензометрирования простоянки насоса, являющейся одновременно корпусом подшипника, на который передаётся осевое усилие, свидетельствуют (см. рис. 12, 13, 14), о значительном возрастании напряжений при подаче воздуха на вход в насос. Возникающие при этом переменные усилия могут являться причиной ускоренного износа подшипника. Из рисунка хорошо видно, что при подаче воздуха возникают резкие провалы напряжений на 17 ... 18 кгс/см², в то время как без подачи воздуха наблюдаются редкие одиночные провалы, не превышающие 3...5 кгс/см². Однако, одновременно с этим подача воздуха оказывает серьезное стабилизирующее воздействие на пульсационное и вибрационное состояние насосного агрегата. Таким образом, необходимо более детальное изучение

природы повышенной напряженности корпуса подшипника.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки), на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куракулин Е.А. Влияние вдува воздуха в питающий трубопровод на кавитационные автоколебания в системе «шнеко-центробежный насос - трубопроводы». Киев: Наукова думка. 1978. С. 82 -85
2. Исследование влияния подачи воздуха во всасывающую магистраль центробежного насоса на его виброакустические характеристики / А.А. Иголкин, А.Н. Крючков, А.Б. Прокофьев [и др.] // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. 2002. №1. С. 78-83.

RESEARCH OF INFLUENCE OF AIR SOLVENT IN THE FLUID TO THE LADEN CONDITION COMBINED PUMP UNIT

© 2012 S.A. Gafurov¹, V.I. Perminov², L.V. Rodionov¹, A.N. Kruchkov³, E.V. Shahmatov¹

¹Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

²Public Corporation «KUZNETSOV», Samara

³Institute for Machine Acoustics SGAU, Samara

The aircraft fuel system often includes combined pumps. Work process in aviation fuel systems can be accompanied air hit in the supply line pumps. In this paper we study the effects of getting different amounts of free air in the supply line to the pulsation, vibration and stress state of the elements of the combined fuel pump, consisting of a centrifugal-auger and gear stages.

Key words: pump unit, air solvent, laden condition.

*Salimzhan Gafurov, Graduate Student at the Automatic Systems of Power Plants Department. E-mail:sagafurov@gmail.com
Valery Perminov, Lead Designer. E-mail:pvi2911@yandex.ru
Leonid Rodionov, Candidate of Technics, Assistant Lecturer at the Automatic Systems of Power Plants Department.
E-mail: rl63@bk.ru*

*Alexander Kruchkov, Doctor of Technics, Executive Director.
E-mail: kan@ssau.ru*

*Evgeny Shahmatov, Doctor of Technics, Professor, Head at the Automatic Systems of Power Plants Department.
E-mail: shakhm@ssau.ru*