5. Вычисление результирующего момента сил относительно центра масс ротора в системе координат $O_pX_pY_pZ_p$.

6. Вычисление угловых ускорений $\omega`_{xp}, \omega`_{yp}, \omega`_{zp}$ по выражению:

$$\begin{cases} \omega`_{xp} = \dfrac{M_{xp} - (I_{zp} - I_{yp}) \cdot \omega_{yp} \cdot \omega_{zp}}{I_{xp}} \\ \omega`_{yp} = \dfrac{M_{yp} - (I_{xp} - I_{zp}) \cdot \omega_{zp} \cdot \omega_{xp}}{I_{yp}}. \\ \omega`_{zp} = \dfrac{M_{zp} - (I_{yp} - I_{xp}) \cdot \omega_{xp} \cdot \omega_{yp}}{I_{zp}} \end{cases} \quad (7)$$

Диагностика гидроагрегата по результатам измерения биений вала является задачей, обратной расчету биений при известном наборе дефектов. Она сводится к определению дефектов, при которых биения совпадают (или практически совпадают) с измеренными.

Таким образом, по результатам работы выявлены и проанализированы основные дефекты гидроагрегата, приводящие к повышенной вибрации. Обосновано влияние вибрации на работу гидроагрегата, в качестве примера проанализировано вибросостояние гидроагрегата и составлены рекомендации для дальнейшей работы на основе результатов. Для дальнейшего развития предопределения дефектов на основных узлах гидроагрегата представлено математическое описание движения ротора,рассмотрены и выведены математические преобразования, необходимые для численного решения уравнений этого движения. Данная математическая модель может быть использована в совокупности с программно-техническим комплексом для построения цифровых двойников работы основного оборудования ГЭС.

Список литературы

1. Бондаренко Н.Е., Зенина Е.Г. Анализ дефектов гидроагрегата и разработка алгоритма моделирования движения ротора гидроагрегата. / Научно-технический журнал «Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт». – № 2 (31). – Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, 2020 г. – С. 24-28.

2. СТО 17330282.27.140.001 – 2006 «Методики оценки технического состояния основного оборудования гидроэлектростанций.»;

3. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. – Пермь, 2012 г. – 244 с.;

4. РД 34.31.303-96 «Методические указания по эксплуатационному контролю вибрационного состояния конструктивных узлов гидроагрегатов.»;

5. Глазырин Г.В. Разработка моделей и методов вибрационной диагностики агрегатов гидроэлектростанций: дис. канд. тех. наук: 05.14.02. – Новосиб. гос. тех. университет, Новосибирск, 2006 – 338 с.

УДК 681.12

ДОЗИРОВАНИЕ ПРОТИВОКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОТОК АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА РАСХОДОМЕРАМИ НА ОСНОВЕ РОЛИКО-ЛОПАСТНЫХ ГИДРОМАШИН

Думболов Д.У.
кандидат технических наук, доцент,
профессор Академии военных наук РФ
Тюнин С.В.
аспирант
Дикий П.В.
старший научный сотрудник
25 Государственный научно-исследовательский институт химмотологии
Министерства Обороны Российской Федерации,
г. Москва

FEED RATE OF ANTICRISTALLISING LIQUIDS INTO AVIATION FUEL FLOW STREAM BY WAY OF FLOW-METERS ON THE BASIS OF ROLL-BLADED HYDRAULIC MACHINE

D.U. Dumbolov
Ph.D, associate professor and
professor of the Academy of Military Sciences
S.V. Tyunin
assistant professor
P.V. Diky
senior research associate
The 25th State Research Institute of Himmotology
Ministry of Defense of Russian Federation,
Moscow

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен вопрос о системе измерения расхода маловязких топлив расходомерами на основе ролико-лопастных гидромашин, установлен состав функциональных блоков и последовательности их формирования, определён перечень показателей гидродинамических параметров. Приводится анализ недостатков имеющихся средств контроля горючего, представлен ряд преимуществ ролико-лопастных гидромашин.

ABSTRACT

The article deals with the issue of low-viscosity fuel flowmeter system by way of flow-meters on the basis of a roll-bladed hydraulic machine, the functional module composition is proved as well as the successiveness of their formation, the list of hydrodynamic parameters is determined.

Ключевые слова: ролико-лопастная гидромашина, топливо, противоводокристаллизационная жидкость, насос-дозатор.

Key words: roll-bladed hydraulic machine, fuel, anti-water crystallization liquid, flow-control pump.

Обеспечение качества горюче-смазочных материалов в системе авиатопливообеспечения является одним из приоритетных направлений и предусматривает комплекс мероприятий по обеспечению приёма, хранения, внутри складских перекачек, учёта, выдачи и заправки воздушных судов (ВС) топливом для реактивных двигателей (далее – топливом) как в чистом виде, так и в смеси с противоводокристаллизационными жидкостями (ПВКЖ), а так же осуществление контроля количественных и качественных характеристик топлива и ПВКЖ.

Введение ПВКЖ в топливо для предупреждения образования кристаллов льда в топливе и забивки ими фильтрующих элементов ВС производится:

- при подготовке топлива для выдачи его на заправку – на складе горючего при заполнении расходных резервуаров с помощью переносных или стационарного типа дозаторов – в поток топлива во всасывающую линию насоса;

- в процессе заправки ВС – в поток топлива в напорный трубопровод автомобильного средства заправки и транспортирования горючего (АСЗТГ) и централизованной заправки топливом (ЦЗТ).

Точность дозирования при введении ПВК-жидкости должны обеспечивать:

- 0,1 % ПВКЖ – ±0,02 % масс.;
- 0,2 % ПВКЖ – ±0,015 % масс.;
- 0,3 % ПВКЖ – ±0,01 % масс.

В настоящее время в АСЗТГ и ЦЗТ используются счетчики и сопряженные с ними дозаторы ПВКЖ DKP 2,7 – 4,8 A1 и DKP 4,1 – 7,1 A1 немецкой компании Alfons Haar.

Исходя из физико-химических свойств топлив и ПВКЖ основные параметры (характеристики) комплекта оборудования дозированного введения ПВКЖ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры (характеристики) комплекта оборудования дозированного введения ПВКЖ

№ п/п	Наименование параметра (характеристики), единица измерения	Значение параметра (характеристики)
1	Дозируемая ПВКЖ	жидкость «И» по ГОСТ 8313
2	Авиатопливо	топлива для реактивных двигателей
3	Содержание ПВКЖ в авиатопливе для положений переключателя устройства регулирования дозирования, % (объем): «0» «0,1% (масс.)» «0,2% (масс.)» «0,3% (масс.)»	 0 0,085 ±0,015 0,175 ±0,025 0,255 ±0,020
4	Рабочее давление авиатоплива на счётчике- расходомере, МПа	не более 1,6
5	Рабочий диапазон подачи авиатоплива через счётчик-расходомер, обеспечивающий работу дозирующего устройства с заданными характеристиками, $м^3/ч$	от 4,8 до 90
6	Номинальная тонкость фильтрации ПВКЖ, мкм, при её приёме в расходно-контрольную ёмкость; при её выдаче из расходно-контрольной ёмкости	 не более 15 не более 5
7	Климатическое исполнение	УХЛ категории размещения I по ГОСТ 15150

№ п/п	Наименование параметра (характеристики), единица измерения	Значение параметра (характеристики)
8	Условный диаметр трубопровода на входе в дозирующее устройство, мм	не менее 20
9	Вместимость расходно-контрольной ёмкости для ПВКЖ, л	90, 180

Указанные в таблице 1 основные параметры (характеристики) комплекта оборудования дозированного введения ПВКЖ для летательных аппаратов авиации можно реализовать двумя способами:

1. Доработка существующих немецких механических дозаторов, путем замены поршней дозирующей системы, при этом дозатор будет работать только с топливозаправочными системами, где требуется дозирование в массовых единицах.

2. Разработка системы дозирования жидкой присадки с насосом-дозатором с приводом от шагового электродвигателя с микропроцессорным управлением – позволит работать как с системами с массовым, так и объемным дозированием.

В результате экспериментально-теоретической работы, авторами исследована система дозирования жидкой присадки в топливо с использованием насоса-дозатора с приводом от шагового электродвигателя и микропроцессорным управлением [1-3], которая в полной мере соответствует требованиям по дозированию ПВКЖ как для гражданской, так и военной авиации.

Система дозирования жидкой присадки в топливо, представленная на рисунке 1, содержит шаговый электродвигатель, подключенный к насосу-дозатору присадки, датчик расхода жидкой присадки и датчик плотности жидкой присадки, блок управления последовательностью операций дозирования, к входам которого подключены датчики плотности топлива и жидкой присадки, датчики расхода топлива и жидкой присадки.

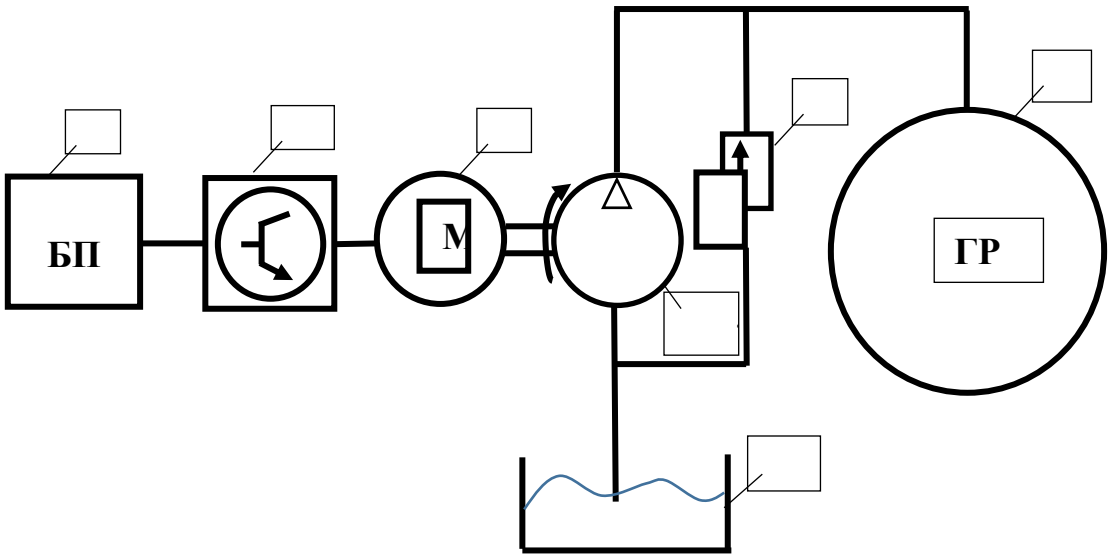


Рисунок 1 – Система дозирования жидкой присадки в топливо
1 – блок питания; 2 – блок управления;3 – безколлекторный двигатель; 4 – дозирующий насос жидкой присадки «И» с датчиками давления и частоты вращения ротора; 5 – предохранительный клапан; 6 – главный расходомер (ролико-лопастной) с датчиками плотности, давления и частоты вращения ротора; 7 – ёмкость с жидкой присадкой «И».

Устройство работает следующим образом. Перед началом заправки летательного аппарата в блок управления вводится расчётное количество необходимого топлива либо в объёмных величинах, либо в массовых величинах, и вводится на это количество топлива расчётное значение количества жидкой присадки в диапазоне от 0,1 до 0,3 % также в объёмных или в массовых величинах. Жидкая присадка находится в баке. С датчика плотности присадки сигнал поступает в блок управления. По сигналу блока управления открывается подача топлива и оно начинает поступать к летательному аппарату. При этом происходит измерение текущих значений расхода топлива и плотности топлива и сигналы с датчиков поступают в блок управления. Блок управления включает электродвигатель насоса-дозатора, установленного на трубопроводе подачи жидкой присадки. Жидкая присадка из бака по трубопроводу через фильтр, насос-дозатор и датчик расхода попадает в поток топлива, проходящий по трубопроводу. При этом датчик расхода непрерывно считывает количество присадки и передает информацию в блок управления. В процессе заправки датчик плотности топлива и датчик плотности присадки постоянно передают

информацию в блок управления. Блок управления вычисляет на основании полученных данных массовый объём жидкой присадки и определяет количество жидкости, вводимое в топливо.

Полученные результаты измерения и вычислений блок управления сравнивает с заданными значениями, введёнными в блок, и по сигналу рассогласования подает сигнал на управляющий вход электродвигателя насоса-дозатора, который соответственно либо снижает, либо повышает подачу жидкой присадки в поток топлива в пределах от 0,1 до 0,3 % от количества подаваемого топлива.

В случае если значения параметров, полученных от датчика расхода топлива и датчика расхода жидкой присадки, датчиков уровня, выходят за пределы допустимых значений, блок управления подаёт сигналы на механизм, который перекрывает подачу топлива и на управляющий вход электродвигателя, который останавливает насос-дозатор.

Одним из вариантов приборного контроля расхода ПВКЖ в системе дозирования жидкой присадки является использование насоса-дозатора на основе ролико-лопастной гидромашины [4-6].

В ролико-лопастной гидромашине ротор и ролики-разделители вращаются в герметичном корпусе потоком измеряемой среды. Синхронность вращения ротора и роликов обеспечивается зубчатым механизмом синхронизации. Цилиндрической уплотняющей поверхностью ролики-разделители катятся по цилиндрической поверхности ротора. Вращающиеся детали установлены на подшипники скольжения или на шариковых подшипниках качения. Рабочая среда (жидкость или газ) подводится через канал и давит на лопасть ротора. Попасть в выходной канал рабочая среда может только через кольцевое рабочее пространство, расположенное напротив роликов-разделителей. Из подводящего в отводящий канал через межроликовое пространство рабочая среда не проникает, т.к. в любой момент времени положение роликов-разделителей таково, что полость между ними и каналами заперта рисунок 2.

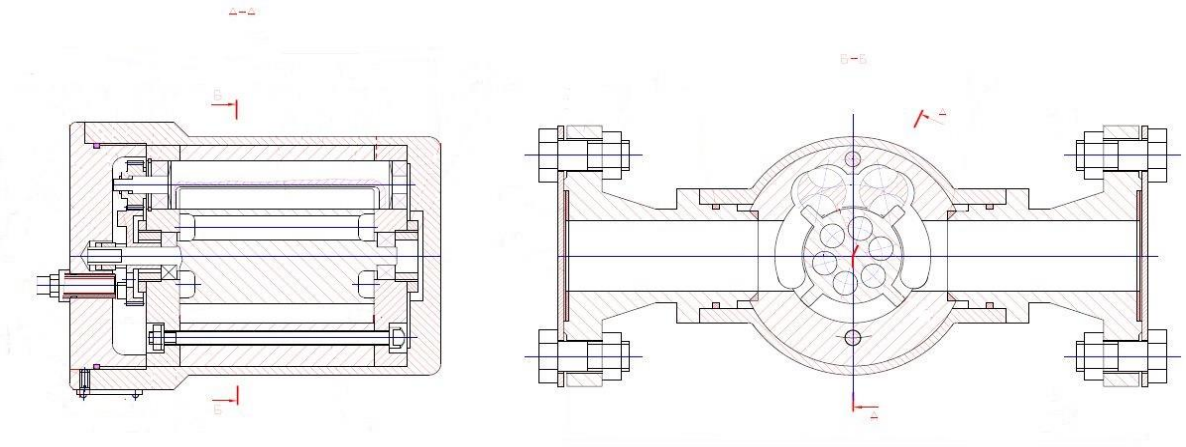


Рисунок 2 – Схема ролико-лопастной гидромашины

Насос-дозатор оснащается показывающим электронным прибором и имеет выход на вторичный электронный прибор или компьютер, управляющий механизмами дозирования. Для метрологического применения или при необходимости проведения высокоточных измерений в технологических процессах, насос-дозатор оснащен датчиком с высокой разрешающей способностью (до капли в 1 секунду).

Исследованиями гидродинамических процессов в рассматриваемой системе при дозировании жидкой присадки в топлива установлено:

– интенсивность гомогенизации компонентов смеси возрастает с повышением температуры топливной смеси и снижается с возрастанием кислотности, вязкости, плотности смеси и её компонентов.

– увеличение времени перемешивания и происходящая при этом диффузия приводит к улучшению процесса качества гомогенизации. Однако в некоторых случаях диффузия может вредно влиять на гомогенизацию поскольку может происходить доизмельчение составляющих или происходить нежелательные реакции между составляющими;

– при смешивании большого количества одного компонента с малым количеством других компонентов вероятность равномерного распределения компонентов в объеме сети уменьшается. В этом случае рационально проводить многоступенчатое перемешивание;

– степень смешения и гомогенизации уменьшается при увеличении разности диаметров частиц смешиваемых компонентов;

– физико-химические показатели компонентов топливной смеси должны рассчитываться по показателям, обеспечивающим заданную интенсивность гомогенизации;

– гомогенизация должна рассматриваться как технологический процесс, производимый над многофазной системой, в ходе которого уменьшается степень неоднородности

распределения химических веществ и фаз по объёму гетерофазной системы. Гомогенизацию инициируют смешивание, диспергирование и диффузия компонентов смеси. Гомогенизация должна происходить одновременно с этими процессами.

Вместе с тем, на гидродинамические процессы в системе дозирования жидкой присадки в топливо насосом-дозатором на основе ролико-лопастной гидромашины существенное влияние оказывают такие факторы, как конструктивные особенности насоса-дозатора указанного типа, а также режимы его работы.

Изучение влияния указанных факторов позволит обосновать оптимальные технические параметры насосов-дозаторов на основе ролико-лопастной гидромашины и применить их для системы дозирования ПВКЖ при эксплуатации летательных аппаратов военной и гражданской авиации, использование которых даст ощутимый экономический эффект и обеспечит безопасную эксплуатацию летательных аппаратов.

Литература:

1. Домогацкий В.В. Создание гидропередачи на базе роликолопастных машин // Строительные и дорожные машины. – 2009, – № 5, – С. 30-34.

2. Зарецер Е.Я., Зарецер Я.М., Думболов Д.У., Севрюков И.Т., Лысенко М.Ю., Кирилов А.В. Система дозирования жидкой присадки в поток топлива // Патент РФ на изобретение № 2640664, Опубл. 11.01.2018

3. Литвиненко А.Н., Думболов Д.У., Галиахметов Р.Ф. Технологии и установки для очистки и продления срока службы смазочно-охлаждающих жидкостей // Химическая техника. – 2007. – №8. – С.37

4. Коваленко В.П., Думболов Д.У, Сыромятников В.И. Способ измерения расход углеводородного горючего в потоке // Международный технико-экономический журнал. – 2010. – № 4. – С.6.

5. Зарецер Я.М., Думболов Д.У., Еремин В.Н., Асметков И.Д. Влияние гидростатической разгрузки на трение в цапфах роликов-разделителей ролико-лопастных гидромашин //В книге: Трибология-машиностроению. Труды XI международной научно-технической конференции Институт машиноведения им. А.А. Благонравова. – 201. – С. 88-90.

6. Думболов Д.У., Тюнин С.В. Измерение расхода топлива при эксплуатации военной техники расходомерами на основе ролико-лопастных машин // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. – 2018. – № 58. – С.570-576.

Literature:

1. Domogatskiy V.V. Hydraulic transmission based on roll-bladed machines // SDM Journal. – 2009, - No.5, - pp.30-34.

2. Zaretser E.Ya., Zaretser Ya.M., Dumbolov D.U., Sevryukov I.T., Lysenko M.Yu., Kirillov A.V. System of liquid additive dispensing into fuel flow stream // RF Utility Patent No.2640664, publ.on 11.01.2018.

3. Litvinenko A.N., Dumbolov D.U., Galiakhmetov R.F. Process and equipment engineering for purification and service life prolongation of lubricating and cooling liquids // Chemical Engineering Journal. – 2007. – No.8. – p.37.

4. Kovalenko V.P., Dumbolov D.U., Syiromyatnikov V.I. Method of measurement of HC fuel in flow stream // The International Technical-Economic Journal. – 2010. – No.4. – p.6.

5. Zaretser Ya.M., Dumbolov D.U., Yeryomin V.N., Asmetkov I.D. Hydrostatic unloading impact on friction in stubs of roll-dividers in roll-bladed fluid machines // From the book: Tribology for Machine Engineering. Transactions of the XI International Scientific and Technical Conference, A.A. Blagonravov Institute of Machine Science. – 201. – pp. 88-90.

6. Dumbolov D.U., Tyunin S.V. Fuel flow rate measurement by way of flow meters based on roll-bladed machines when operating military equipment // Transactions of “the 25th State Research Institute of Himmotology, Ministry of Defence of Russian Federation”. – 2018. – No.58. – pp. 570-576.

Думболов Джамиль Умярович*, кандидат технических наук, доцент, профессор Академии военных наук РФ, ведущий научный сотрудник управления технических средств и технологий нефтепродуктообеспечения*

Тел. 8(926) 610-15-60

Тюнин Сергей Владимирович, *аспирант, начальник научно-исследовательской лаборатории метрологии, стандартизации и каталогизации*

Тел. 8(977) 952-51-88

Дикий Павел Васильевич, *старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории метрологии, стандартизации и каталогизации*

Тел. 8(926) 087-13-07