

УДК 629.7.018.4

**А.П. КУКОВИНЕЦ***АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина*

## **ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ВИБРАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ТУРБОВИНТОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Приводятся результаты исследования влияния систем автоматического управления на вибрационное состояние турбовинтовых двигателей. В процессе исследований были проверены возможные влияния на уровень вибрации. Установлено, что происходит повышение уровней вибрации в диапазоне частот зубозацепления на стационарном режиме работы двигателя. В процессе исследований причин повышения вибрации на двигателях было установлено, что при переходе на резервную систему управления по каналу воздушного винта уровень вибрации значительно уменьшался. Обнаруженный эффект был связан с особенностями отдельных агрегатов системы автоматического управления, в частности и регулятора воздушного винта.*

**Ключевые слова:** *вибрации, турбовинтовой, частота, двигатель, диапазон, исследования, система.*

### **Введение**

Система автоматического управления (САУ) обеспечивает поддержание заданного режима работы двигателя автоматически путем изменения подачи топлива в камеру сгорания.

Разработка оптимальной САУ двигателями с удовлетворительными динамическими свойствами является актуальной задачей.

Актуальность проблемы диагностирования определяется острой необходимостью оперативной оценки технического состояния авиационной техники на всех этапах жизненного цикла как на этапах проектирования и изготовления, так и на этапах эксплуатации и ремонта.

К САУ турбовинтовыми и турбовальными двигателями, выполняющие заданные законы управления, предъявляются жесткие требования. Требования могут устанавливаться в отношении допустимых отклонений, как для установившихся режимов работы двигателя, так и в отношении динамических погрешностей при переходных режимах.

Контур управления частотой вращения свободной турбины  $n_{СТ}$  является основным на установившихся режимах работы САУ турбовального и турбовинтового двигателя. Изменение угла (общего шага) установки лопастей воздушного винта (ВВ) является наиболее интенсивным внешним воздействием на контур управления. Таким образом, динамические свойства САУ определяются тем, что изменение общего шага влияет на загрузку винта, и при этом частота вращения изменяется относительно медленно в результате большого

© А.П. Куковинец, 2015

момента инерции. Происходящие изменения воспринимаются регулятором  $n_{СТ}$ , который в свою очередь корректирует расход топлива, в результате изменения расхода топлива восстанавливается частота вращения воздушного винта, этот процесс происходит медленно вследствие ограничений на параметры работы двигателя.

В статье опубликованы результаты исследования влияния САУ на вибрационное состояние турбовинтовых двигателей.

### **Экспериментальная часть**

При диагностировании таких сложных систем как авиационная техника используется широкий спектр параметров различной физической природы. При выборе диагностического параметра для решения задач диагностики с идентификацией вида дефекта, степени его развития, а тем более, прогнозирования технического состояния, требуется большой объем информации.

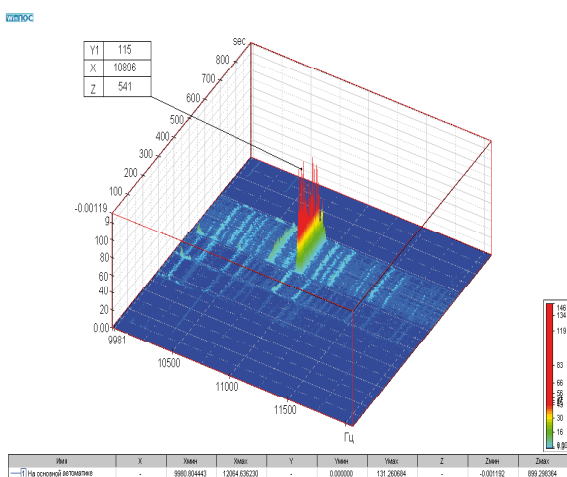
Эффективность методов вибрационной диагностики обусловлена тем, что дополнительные динамические силы, возникающие при появлении дефекта, возбуждают вибрацию непосредственно в месте его возникновения. Поскольку вибрация практически без потерь распространяется до места измерения, появляется возможность исследовать эти силы непосредственно на функционирующем изделии, без остановки и разборки.

Работы проводились на программно-аппаратном комплексе МІС-300 фирмы «НПП МЕРА». Обработка полученных данных про-

изводилась с помощью программного пакета WinPOC.

**Анализ полученных результатов**

В 2014 году при испытаниях двигателей периодически были зафиксированы повышенные уровни вибрации порядка 120g в диапазоне частот зубозацепления на стационарном режиме работы двигателя (рисунок 1).



**Рис. 1.** 3D спектр уровня вибрации на стационарном режиме работы двигателя на основной САУ

В процессе исследований были проверены возможные влияния на уровень вибрации:

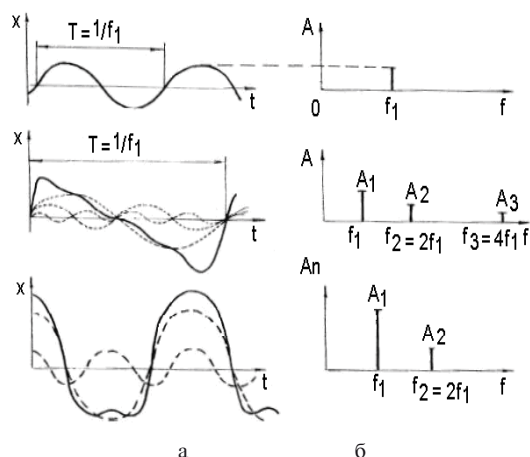
- 1) Пульсации топлива (влияние высокого порядка гармоники частоты пульсации топлива при совпадении с частотой зубозацепления);
- 2) Несоосность установки шестерен в кинематической паре;
- 3) Неравномерное распределение и пульсация подачи масла в редуктор (коробку приводов);
- 4) Износ подшипников;
- 5) Угол установки лопастей ВВ и точность его поддержания. При работе на основной САУ наблюдаются незначительные колебания лопастей в результате невозможности поддержания точного угла загрузки винта.

В поиске решения проблемы были выполнены работы по замене агрегатов САУ, но положительного эффекта это не принесло. Кроме агрегатов САУ был заменен редуктор, на котором возникали повышенные уровни вибрации в диапазоне частот зубозацепления, характер вибраций при этом не изменился. Дефектация демонтированного редуктора показала отсутствие каких-либо дефектов и износов профилей зубьев за наработку около 1000 часов.

Оценка сигнала датчиков вибраций производилась методом амплитудного спектра. Амплитудный спектр — это спектр колебаний, в котором величинами, характеризующими гармоники, являются их амплитудами. Он

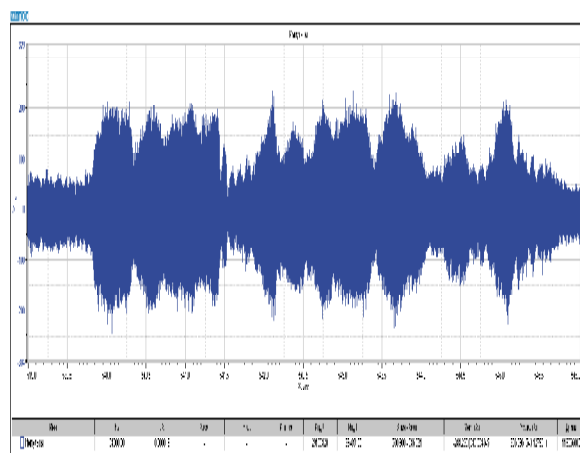
изображается графически в системе координат «амплитуда - частота» (A-f) в виде совокупности вертикальных отрезков, расположенных в соответствующих точках оси частот.

Длина отрезков равна величине соответствующей амплитуды  $A_j$ . Такой амплитудный спектр называется дискретным или линейчатым. Спектр периодической функции состоит из равностоящих спектральных линий с интервалом  $f_1$ , поскольку частоты гармоник находятся в простых кратных соотношениях. На рисунке 2 в качестве примера приведен сигнал и его спектры.



**Рис. 2.** Примеры периодических колебательных процессов и их частотные спектры а — описание во временной и б — в спектральной форме

При анализе вибросигнала в диапазоне частот зубозацепления было выявлено, что повышение среднего уровня происходит в виде неперiodических забросов разной амплитуды продолжительностью менее одной секунды (рисунок 3).



**Рис. 3.** Мгновенный спектр временного сигнала ДВ

В процессе исследования причин повышения вибрации на двигателях было установлено, что при переходе на резервную систему управления

по каналу воздушного винта уровень вибрации значительно уменьшался (рисунок 4).

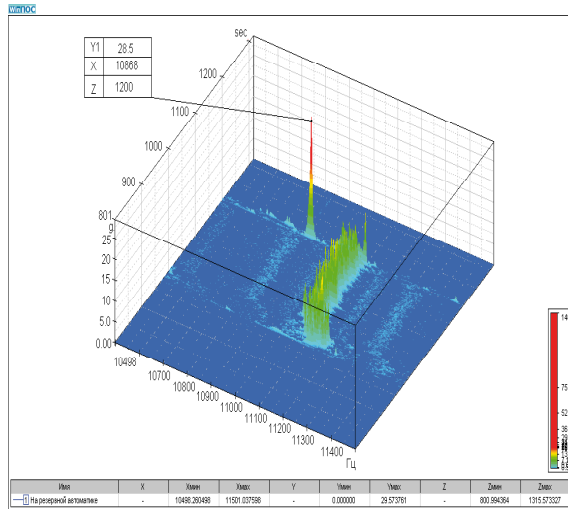


Рис. 4. 3D спектр уровня вибрации на стационарном режиме работы двигателя на резервной системе управления по воздушному винту

В процессе испытаний на резервной САУ по воздушному винту был выполнен переход на основную САУ без выключения двигателя, при этом рост вибраций начался в момент перехода и составил 146 g (рисунок 5).

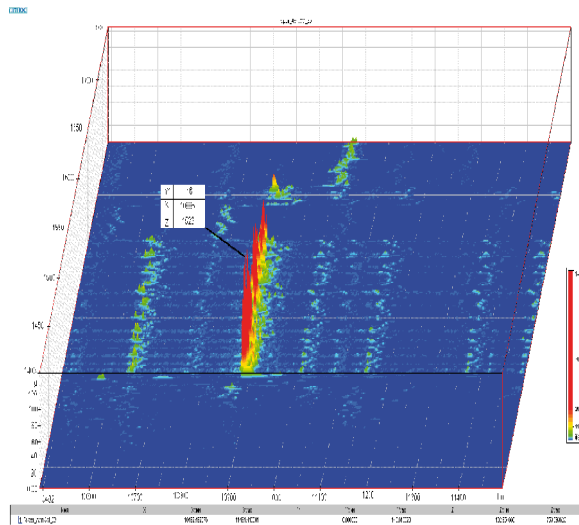


Рис. 5. 3D спектр уровня вибрации при переходе на основную САУ

Со временем работы на режиме амплитуда забросов постепенно уменьшалась.

Как видно из рисунка 4, при работе двигателя на резервной системе управления по воздушному винту уровень вибрации снизился.

В качестве наглядного примера приведен рисунок 6, на котором наглядно видна зависимость уровня вибрации от изменения частоты вращения роторов, в процессе исследования двигателя на основной и резервной САУ.

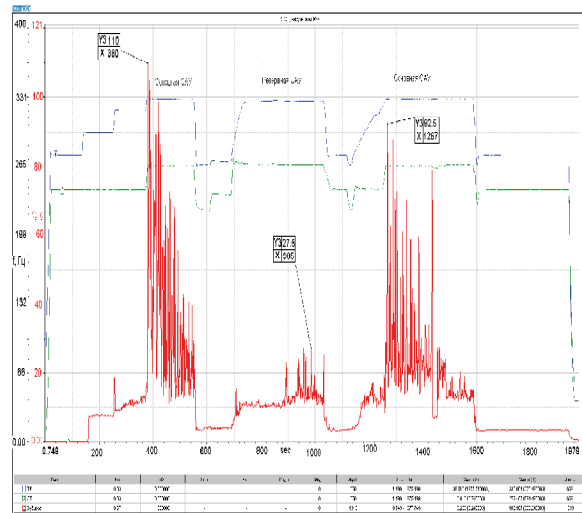


Рис. 6. Зависимость уровня вибрации от частоты вращения роторов

Обнаруженный эффект был связан с особенностями отдельных агрегатов САУ, в частности и регулятора воздушного винта.

### Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, как отдельные агрегаты САУ могут влиять на работу двигателя. В результате неблагоприятных колебательных процессов в агрегатах САУ фиксируемых ДВ, которые приводят к неперриодическим импульсам и кратковременным повышениям вибрации.

### Литература

1. Епифанов С.В. Влияние быстросчетной математической модели турбовального двигателя на этапе запуска для решения задач синтеза систем автоматического управления [Текст] / С.В. Епифанов, Ф.Ф. Сиренко, С. И. Суховой, Р. Л. Зеленский // *Авиационно-космическая техника и технология*. Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2012. - № 9 (96).- С.234.

2. Безуглый С.В. Контроль управления частотой вращения свободной турбины турбовального ГТД [Текст] / С.В. Безуглый, С.В. Епифанов, С. И. Суховой // *Авиационно-космическая техника и технология*. Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2008. - № 10 (57).- С.162.

3. Киселев Ю. В. Вибрационная диагностика систем и конструкций авиационной техники [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Киселев. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, 2010. – 103 с.

Поступила в редакцию 11.06.2015

**О.П. Куковинець. Вплив систем автоматичного керування на вібраційний стан турбогвинтових двигунів**

*Наводяться результати дослідження впливу систем автоматичного керування на вібраційний стан турбогвинтових двигунів. У процесі досліджень було перевірено можливі впливи на рівень вібрації. Встановлено, що відбувається підвищення рівнів вібрації в діапазоні частот зубозцеплення на стаціонарному режимі роботи двигуна. В процесі досліджень причин підвищення вібрації на двигунах було встановлено, що при переході на резервну систему управління за допомогою повітряного гвинта рівень вібрації значно зменшувався. Виявлений ефект був пов'язаний з особливостями окремих агрегатів системи автоматичного управління, зокрема і регулятора повітряного гвинта.*

**Ключові слова:** вібрації, турбогвинтовий, частота, двигун, діапазон, дослідження, система.

**A.P. Kukovinets. The impact of automatic control on the vibrational state of the turbo-propeller engines**

*The results of research on the impact of automatic control on the vibrational state of the turbo-propeller engines. In the course of researches it was checked possible influences on vibration level. It is established that there is an increase in vibration levels in the frequency range of subsatellite on the steady-state operation of the engine. To research the causes of increased vibration on the engine it was found that when switching to a backup management system according to the channel propeller vibration levels significantly odensala. The observed effects was associated with the peculiarities of the automatic control system, in particular control and propeller.*

**Keywords:** vibration, turbo-propeller, frequency, engine, range, research, system.