

УДК 621.45.01

O.O. KOZYRIEV<sup>1</sup>, V. J. BEREZHNOY<sup>2</sup>, M.M. KUDIN<sup>3</sup><sup>1</sup> *Flight Design Ukraine, Ukraine*<sup>2</sup> *GT&PC «Zorya» - «Mashproekt», Ukraine*<sup>3</sup> *National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine***SMART VIBRATORY SENSOR FOR COMPRESSOR SURGE CONTROL**

*Fast response piezoceramic sensor with embedded microchip device development and testing is resulted. Sensor was designed for flow instability modes detection in gas-turbine engine passages by means of its outer casing vibration analysis. Main new features are analog to digital conversion by simple comparator and Haar wavelet analysis hardware implementation inside the sensor. These features in both allowed to reduce data flow without useful information lack and made possible utilization of simple, reliable 8-digit microchip. FORTH language is used for microchip programming.*

**Keywords:** *gas-turbine engine, stall, surge, piezoceramic sensor, microchip, comparator, Haar's wavelet, data flow.*

**Introduction**

Rotational stall and surge in gas-turbine engine cause vibrations, structure crash, spasmodic burning and flameout in combustion chamber. Anti-surge system in time response is impossible without proper sensor. This sensor has to allow in advance detection of surge or stall initiation. Due to practical significance of this problem many scientists involved in surge preceding signal investigations. During these investigations was established that surge and preceding rotational stall are accompanied by periodical pressure pulsations with their typical frequencies. Pressure pulsations in gas-turbine engine passages greatly contribute in outer casing vibrations. This fact allowed to some experimenters with assist of case-mounted vibration sensors not only predict stall and surge appearance, but also provide more precise monitoring of blade passage condition [1]. There were some disadvantages of this kind of diagnostic like complicated data processing methods that results in great data flow as during recording as during diagnostic signs detection. An investigation [2] was aimed to reduce data flow during recording and processing of diagnostic information. But offered method was working at constant rotor's revolution frequency only.

**1. Problem definition**

It is suitable for practical usage when sensor perform signal analysis and dangerous condition detection itself. Therefore, it has to contain microprocessor. Microprocessor should be a simple microchip to reduce sensor cost and increase its reliability. But signal recording and its spectrogram creating can't be

implemented for this kind of microchip device. So, it is necessary to reduce data flow during signal recording and processing. Applicable methods have to meet requirements for unsteady signals processing.

**2. Problem solution**

Outer casing vibrations or pressure pulsations spectrum almost is equal to its sign-function spectrum if any trend is removed. Therefore, this fact allows signal transformation in digital form with usage of comparator that reduces data flow between sensor and microprocessor in great degree. Signal spectrogram from fast response pressure sensor that was mounted on combustion chamber of UGT 10000 during its acceleration is shown at fig. 1.

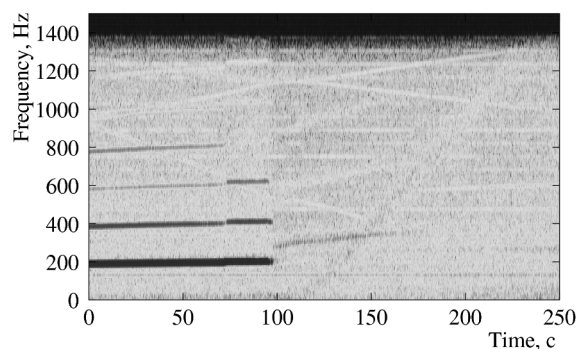


Fig. 1. Pressure spectrogram

There is intermittent burning break off after low-pressure compressor bypass valves closing. Spectrogram of signal sign-function comprises same information (fig. 2), but its implementation in simplest microchip device is still complicated.

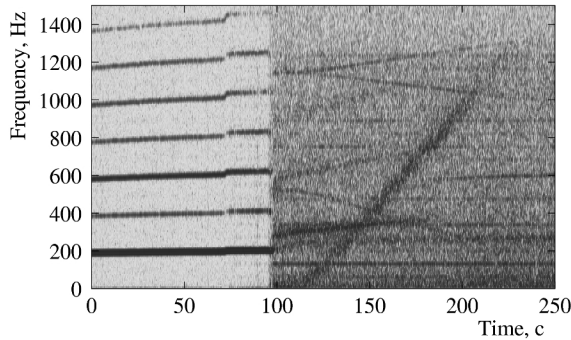


Fig. 2. Pressure sign-function spectrogram

Since noise, pressure pulsations and vibrations in characteristic frequency range could be irregular during instability flow initiation and have irregular shape during their progress, it is preferable to use wavelet-analysis. This method is insensitive to pulsation regularity. Pulsation scale is defined locally. Fragment of pressure sensor signal recording in combustion chamber during intermittent burning is shown at fig. 3, corresponding comparator signal also is shown there.

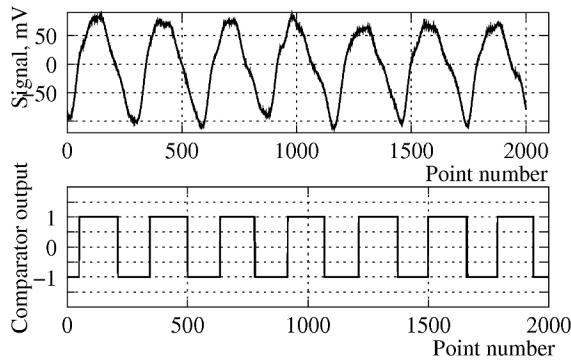


Fig. 3. Sensor output for intermittent burning

Same sensor signal for normal burning is shown at fig. 4.

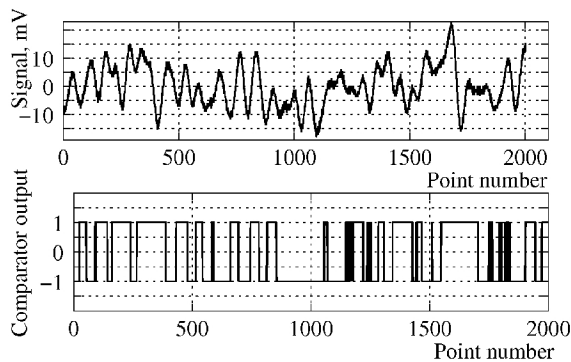


Fig. 4. Sensor output for normal burning

Obviously, that Haar wavelet is more preferable for unsteady analysis of comparator signal, (fig. 5), because it has the same shape.

Continuous wavelet transformation (CWT) applied at the stage of sensor “training” (fig. 6). This one allows

finding characteristic scale range for specific unsteady signal.

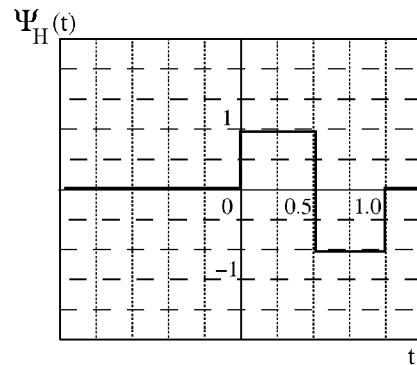


Fig. 5. Haar's wavelet

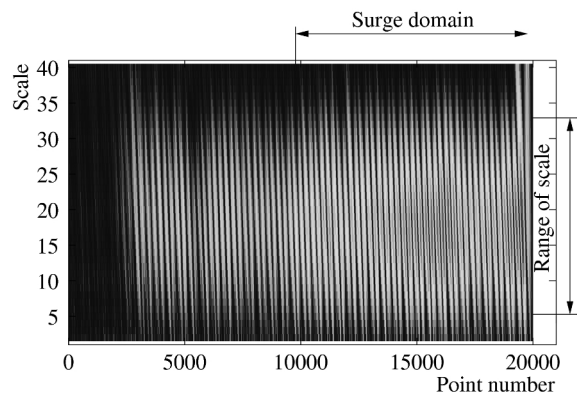


Fig. 6. Centrifugal compressor noise CWT

Within sensor Haar wavelet analysis was hardware implemented as binary counter, which determine pulsations scale.

Sensor test results on centrifugal compressor installation are shown at fig. 7. When compressor is coming down into the surge signal scale significantly increases.

Sensor program software is written in FORTH programming language. Its application allowed obtaining compact, effective and crossing platform software for microchip device programming.

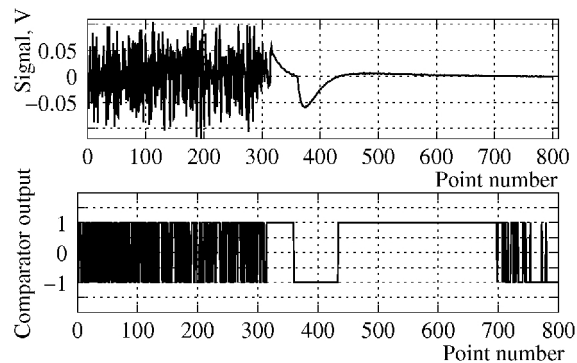


Fig. 7. Sensor output for centrifugal compressor outer casing vibrations

## Conclusion

Fast response piezoceramic vibration sensor with integrated microprocessor was designed and tested.

Program inside sensor utilize Haar wavelet to recognize various unsteady flows (like rotating stall or surge) in gas turbine engine passage. Wavelet analysis applicable at transition modes of engine operating and allow in time response due to its insensitivity to signal periodicity. Haar wavelet hardware implementation as controlled binary counter, witch determine local scale of comparators output made response more rapid and reduce information flow. Comparator as analog-to-digit convertor was used for significant data flow reducing during diagnostic information registering and processing. Sensor could be "trained" to detect characteristic dangerous situations. At this stage continuous wavelet analysis performs for investigation of diagnostic signal properties (range of flow pulsation scales).

## References

1. Малоинерционные измерения на стенке – средство идентификации дефектов газовых турбин / Мафиудакис, Папафанасиу, Лукис, Папайлиу // Современное машиностроение. Сер.А. Энергетические машины и установки. – 1991. – №7. – С. 90-97.
2. Савельев О.П. Микропроцессорное устройство с ограниченным информационным потоком для диагностики рабочего колеса турбомшины / О.П. Савельев, О.Д. Дегтярёв, М.М. Кудин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – №8(24). – С. 209-211.
3. Применение современных методов анализа нестационарных сигналов для исследования вибрации ГТД на переходных режимах / В.Ю. Бережной, О.Д. Дегтярёв, М.М. Кудин, О.П. Савельев // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – №10(57). – С.184-187.

Поступила в редакцию 25.05.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры В.П. Герасименко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ» ВИБРОДАТЧИК ДЛЯ ПРОТИВОПОМПАЖНЫХ УСТРОЙСТВ КОМПРЕССОРА

*А.А. Козырев, В.Ю. Бережной, М.М. Кудин*

Приведены результаты разработки и испытания прототипа пьезодатчика вибрации со встроенным микрочипом. Датчик разработан для выявления неустойчивых режимов течения в проточной части газотурбинного двигателя путём анализа вибрации его корпуса. Основными особенностями датчика являются использование компаратора для аналого-цифрового преобразования и аппаратная реализация анализа с использованием вейвлета Хаара в датчике. Эти особенности в совокупности позволили снизить информационный поток без потери полезной информации в такой степени, что стало возможным применение простого и надёжного 8-ми разрядного микрочипа. Для программирования датчика используется язык FORTH.

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, срыв, помпаж, пьезодатчик, микрочип, компаратор, вейвлет Хаара, информационный поток.

### «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНИЙ» ВІБРОДАТЧИК ДЛЯ ПРОТИПОМПАЖНИХ ПРИБРОЇВ КОМПРЕСОРА

*О.О. Козирев, В.Ю. Бережной, М.М. Кудин*

Наведено результати розробки та випробування прототипа пьезодатчика вібрації з убудованим мікрочіпом. Датчик розроблено для виявлення нестійких режимів течії у проточній частині газотурбінного двигуна за аналізом вібрації його корпусу. Головні особливості датчика це застосування компаратора для аналого-цифрового перетворення та апаратна реалізація вейвлета Хаара в датчику. Ці особливості у сукупності дозволили знизити інформаційний потік без втрати корисної інформації настільки, що стало можливим застосування простого та надійного 8-ми розрядного мікрочіпа. Для програмування датчика використано мову FORTH.

**Ключові слова:** газотурбінний двигун, зрив, помпаж, пьезодатчик, мікрочип, компаратор, вейвлет Хаара, інформаційний потік.

**Козырев Александр Александрович** – инженер дочернего предприятия «Флайт Дизайн Украина», Херсон, Украина, e-mail: enemy431@gmail.com.

**Бережной Валерий Юрьевич** — ведущий инженер, начальник группы динамики и прочности ГП НПКГ «Зоря» - «Машпроект», Николаев, Украина, e-mail: vub@mashproekt.nikolaev.ua.

**Кудин Михаил Михайлович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теории авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: shel@3g.ua.