

В. Н. Журавлєв, В. С. Кабак

## ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО РЕЧЕСЛУХОВОГО ПРОЦЕССА

*Рассматривается задача, суть которой состоит в раскрытии и анализе импульсного характера психофизиологического информационного управления речеслуховым процессом. Разработан метод анализа связи пространства управляющих параметров центральной нервной системы речевыми исполнительными органами и механизм снятия энтропии с ламинарного потока воздуха в процессе синтеза речевого сигнала.*

### ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Принято считать [1], что процессы синтеза и анализа речевого сигнала (РС) осуществляются центральной нервной системой (ЦНС) человека в виде импульсной последовательности двоичных сигналов нейронов. В настоящее время доказано [2], что функционирование эволюционных природных биологических объектов определяется нелинейными стохастическими пространственно-временными диссипативными процессами. Синергетическая методология синтеза и анализа РС изложена в работе [3], однако в ней не раскрыт механизм информационного управления энтропией источника и приемника речевых сообщений. Решение задачи, суть которой состоит в раскрытии и анализе импульсного характера психофизиологического информационного управления речеслуховым процессом, является целью исследований настоящей статьи. Объектом исследований являются процессы энергоинформационного обмена биологических подсистем в помещении объекта информационной деятельности (ОИД). Предмет исследований – информационные параметры и функции импульсного процесса речеслухового обмена энергией, информацией и энтропией сообщения.

### СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ РЕЧЕСЛУХОВОГО ПРОЦЕССА

Информационное и энергетическое взаимодействие исследуемых речеслуховых систем диктора и аудитора целесообразно анализировать, беря в основу методологию синергетики [2], и открытых систем [4, 5], которая позволяет сформулировать гипотезу речеслухового импульсного процесса энергоинформационного обмена открытых пространственно-времен-

ных нелинейных диссипативных психофизиологических информационных подсистем объекта исследований.

1. Психофизиологические речеслуховые подсистемы диктора и аудитора во время речеслухового процесса (РП) характеризуются импульсным обменом информацией  $I(t, \Delta t)$  и энергией  $E(t, \Delta t)$  между подсистемами в среде функционирования. Функция изменения энергии РС  $E(t, \Delta t)$  во времени  $t$  чувствительна к параметрам расстояния  $l_{da}$  между диктором и аудитором и эффективной энергии помех  $E_{eff}^{\xi}$  в канале связи. Переносчиком информации  $I_i(t, \Delta t)$   $i$ -й фонемы, на интервале времени  $Tr$  ее синтеза, являются импульсы приращений энергии  $\Delta E_i(t, \Delta t)$ . Связь между ними определяется функцией распределения плотности вероятностей (ФРПВ):

$$I_i(t, \Delta t) = w_i [\Delta E_i(t, \Delta t), \Delta t(t)] \\ t \in [\Delta t] \in [Tr], \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – информационный интервал времени активности импульса энергии;

2. Внутри выделенного помещения ОИД действует закон сохранения энергии  $E(t, \Delta t)$ , информации  $I(t, \Delta t)$  и энтропии  $H(t, \Delta t)$

$$\sum E_i(t, \Delta t) = \text{const}, \\ \sum I_i(t, \Delta t) = H_0(t) - \sum H_i(t, \Delta t), \quad (2)$$

где  $H_0(t)$  – начальная энтропия приемника речевых сообщений;

3. Результатом обмена энергией и информацией является процесс самоорганизации и уменьшения энтропии  $H_0(t, \Delta t)$  приемника сообщений – ЦНС аудитора;

4. Психофизиологические процессы речеслуховых подсистем источника и приемника сообщений определяются теорией биологических функциональных систем П. К. Анохина [6].

Методология функционирования открытых биологических функциональных систем в границах объекта исследований предполагают следующую концепцию:

1. Основой процессов самоорганизации, характеризующих энергоинформационный обмен между диссипативными открытыми биологическими информационными системами в неравновесном состоянии, являются *системообразующие факторы и функции*;

2. *Системообразующим фактором* психофизиологической речеслуховой системы является факт реализации полезного результата ее работы – речеслухового процесса;

3. *Системообразующая функция* – система функциональных или операторных зависимостей энергоинформационных параметров и характеристик РП, обеспечивающих реализацию системообразующего фактора. Параметры системообразующей функции иницируются и формируются в ЦНС посредством синтеза векторов управляющих параметров  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t)$ . Данный вектор иницирует процесс управления физиологическими речеслуховыми исполнительными органами, которые синтезируют сигналы кинем  $k(t, \Delta t)$ . Последние управляют системным фазовым параметром  $q(t, \Delta t)$ , влияющим на РС фонем  $s(t, \Delta t)$ :

$$\begin{aligned} s(t, \Delta t) &= f_1[q(t, \Delta t)], \\ q(t, \Delta t) &= f_2[k(t, \Delta t)], \\ k(t, \Delta t) &= f_3[\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t)], \\ \vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) &= f_4[I(t, \Delta t)]; \end{aligned} \quad (3)$$

4. Изменение векторов управляющих параметров  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t)$  реализации РП (3) осуществляется под непрерывным контролем ЦНС параметра эффективности  $q(t, \Delta t)$  и чувствительно к объему апостериорной информации  $I_{i-1}^{\text{ПНС}}(t, \Delta t)$ , содержащейся в накопленном опыте диктора при предыдущих реализациях РП.

$$\begin{aligned} q_i(t, \Delta t) &= Q[I_i(t, \Delta t), I_{i-1}^{\text{ПНС}}(t, \Delta t)], \\ \vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) &= f_5[q_i(t, \Delta t)], \end{aligned} \quad (4)$$

где  $Q$  – системный функциональный оператор анализа информационного расстояния. Результаты контроля обладают императивными возможностями по реорганизации структуры векторов управляющих параметров физиологических исполнительных органов. Речеслуховой процесс (3) реализуется в синергетическом режиме взаимодействия, т. е. динамической взаимной адаптации речевой и слуховой подсистем по параметру влияния сигналов внешних помех  $\xi(t)$  на параметр эффективности (4) его реализации.

Обозначим через  $\vec{\mathfrak{Z}}[\mathfrak{X}_i(t, \Delta t)]$ ,  $i \in [0, n]$  пространство векторов управляющих параметров обобщенного

сигнала кинем  $i$ -й фонемы. В качестве сигнала  $k_0(t, \Delta t)$  нулевой кинемы и вектора ее управляющих параметров  $\vec{\mathfrak{R}}_0(t, \Delta t)$  примем состояние речевой подсистемы на интервале времени информационной паузы диктора (например, фаза вдоха воздуха в легкие), которое соответствует состоянию максимальной неопределенности относительно фонемы, которая будет синтезироваться в ближайшем будущем. Существует два статистических определения понятия «информация»  $I[s(t, \Delta t)]$  для импульсных сигналов  $s(t, \Delta t)$ . Первое – энтропия Больцмана:

$$\begin{aligned} I[s(t, \Delta t)] &= H[s(t, \Delta t)] = \\ &= -\sum_n w[s(t, \Delta t)] \ln w[s(t, \Delta t)], \quad n = \frac{Tp}{M\{\Delta t\}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $M\{\Delta t\}$  – первый момент информационных интервалов времени  $\Delta t$ . Однако это определение не отражает динамики изменения энтропии  $H(t, \Delta t)$  РС в процессе его синтеза и, одновременно, процесса информационной самоорганизации психофизиологической системы речевого обмена.

В классической работе К. Шеннона по теории связи [7] даны два определения информации  $I(t)$ . Первое определение фактически совпадает с определением энтропии Больцмана (5). Эта информация, как и энтропия  $H(t)$ , является мерой степени неопределенности для выбранного энергетически стационарного состояния статистического описания речеслуховой системы. Такое определение информации является недостаточным для исследования биологических открытых систем речевого обмена т. к. не учитывает максимальный уровень неопределенности  $H_0(t, \Delta t)$  РС при воздействии как внешних сигналов помех ОИД  $\xi^{\text{ОИД}}(t)$ , так и внутренних физиологических шумов  $\xi^{\text{ПНС}}(t)$  речеслуховой системы.

По нашему мнению, более адекватным для открытых систем является другое, также предложенное К. Шенноном, определение информации. Суть его, в приложении к РП, состоит в следующем. Пусть имеются две функции плотности вероятностей  $w_i[s(t)]$  и  $w_{i+1}[s(t + \Delta t)]$  определенные для фонемы РС  $s(t, \Delta t)$ . Они отстоят друг от друга на минимальный интервал времени  $[\Delta t]$ , определяемый быстродействием нейронов рецептора слуха ( $\Delta t \ll Tp$ ) $_{E_{\text{eff}}(t) = \text{const}}$  и находятся в пределах интервала времени  $Tp$  при условии постоянной эффективной энергии  $E_{\text{eff}}(t)$  (2). В обоих случаях информация (5) определяется разностью безусловной и условной энтропий и связана с соответствующим снятием части энтропии диктора относительно  $i$ -й фонемы

$$\begin{aligned} I[s(t + \Delta t)] &= H[s(t)] - H[s(t + \Delta t)/s(t)], \\ &(\Delta t < Tp)_{E_{\text{eff}}(t) = \text{const}}, \end{aligned} \quad (6)$$

где условная энтропия  $H[s(t+\Delta t)/s(t)]$  определяется через соответствующую условную ФПРВ:

$$H[s(t+\Delta t)/s(t)] = -\iint w[s(t+\Delta t), s(t)] \ln w[s(t+\Delta t)/s(t)] ds(t+\Delta t) ds(t), \quad (7)$$

где  $w[s(t+\Delta t), s(t)]$  – безусловная, а  $w[s(t+\Delta t)/s(t)]$  – условная ФПРВ. В приложении к системам речевого обмена, дифференциальное по времени  $\Delta t$ , выражение (7) не учитывает зависимости энтропии диктора от императивного воздействия вектора управляющего параметра кинем  $\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)$  на интервале времени  $\Delta t$ . Для положительности информации (6) требуется обеспечение условия постоянства эффективной энергии

$$E_{eff}(t) = \int_t s(t) dt = \text{const}, \quad t \in [Tp]. \quad (8)$$

С учетом того, что акцептором информации  $I[s(t, \Delta t)]$  является рецептор слуха улитки внутреннего уха, постоянство эффективной энергии (8) обеспечивается системообразующей функцией среднего уха.

Учитывая факт природной идентификации фоном на интервале времени  $Tp$ , предположим, что, функция плотности вероятности  $w[s(t, \Delta t)]$ ,  $t \in [\Delta t \ll Tp]$  полностью характеризуется соответствующим набором первых моментов сигналов кинем  $k(t, \Delta t)$ , которые, в свою очередь, характеризуются соответствующим набором первых моментов векторов управляющих информационных параметров  $M\{\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t)\}$

$$w[s(t, \Delta t)] = f[\vec{\mathfrak{R}}(t+\Delta t)]. \quad (9)$$

Подставим (9) в формулу (7) и выполним интегрирование по  $s(t)$ . В результате получим выражение для информации о совокупности  $s(t)$  при заданном значении вектора управляющего параметра сигнала кинем  $\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)$ :

$$\begin{aligned} I[s(t+\Delta t)/\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)] &= H[s(t)] - H[s(t+\Delta t)/\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)] = \\ &= H[s(t)] + \int_{s(t+\Delta t)} w[s(t+\Delta t)/\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)] \times \\ &\times \ln w[s(t+\Delta t)/\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)] ds(t+\Delta t). \end{aligned} \quad (10)$$

Необходимо учесть, что определение информации сигнала фонемы по формуле (10) не может быть использовано во всех случаях, т. к. может принимать отрицательные значения. Для выполнения условия  $I[s(t+\Delta t)/\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)] \geq 0$  необходимо ввести дополнительное условие, которое можно сформулировать на основании функционала Ляпунова  $\Lambda_s(t+\Delta t)$ . С уче-

том условия (8) выражение (10) можно переформулировать на языке функционала Ляпунова, который определяет разность энтропий для равновесного и неравновесного состояний потока воздуха в области действия управляющего параметра  $\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)$

$$\begin{aligned} \Lambda_s(t+\Delta t) &= H[s(t)] - H[s(t+\Delta t)/\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)] = \\ &= k \iint \left\{ \ln \frac{w[s(t)]}{w[s(t+\Delta t)]} \right\} w[s(t)] ds(t) ds(t+\Delta t) \geq 0, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\frac{\Delta \Lambda_s(t+\Delta t)}{\Delta t} - \frac{\Delta \{H[s(t)] - H[s(t+\Delta t)/\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)]\}}{\Delta t} \leq 0. \quad (12)$$

При установлении неравенства (11) используется условие  $E_{eff}(t) = \text{const}$ , при установлении (12)

$$\frac{\Delta \{H[s(t)] - H[s(t+\Delta t)/\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)]\}}{\Delta t} > 0.$$

Вернемся к выражению (10). Пусть вектор управляющих параметров сигналов кинем  $\vec{\mathfrak{R}}(\Delta t)$  может принимать лишь положительные значения, что обеспечивается физиологической архитектоникой речевой подсистемы, а безусловная энтропия  $H[s(t, \Delta t)]$  отвечает его нулевому значению  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) = 0$  при синтезе нулевой фонемы  $H[s(t, \Delta t)] = H[s_0(t, \Delta t)]$ :

$$\begin{aligned} \vec{\mathfrak{R}}(\Delta t) = 0, H[s_0(t, \Delta t)] &= \\ = H[s_0(t, \Delta t)/\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) = 0]. \end{aligned} \quad (13)$$

При этих условиях информация равновесного состояния равна нулю:

$$I[s_0(t)/\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t)] \Big|_{\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) = 0} = 0, \quad (14)$$

а безусловная энтропия  $H[s(t, \Delta t)]$  совпадает с энтропией равновесного состояния.

При синтезе фонемы в процессе изменения вектора управляющего параметра  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t)$  речевая система переходит из одного равновесного состояния к другому в течение информационных интервалов времени  $\Delta t \in [Tp]$  движения потока воздуха в физиологической области действия управляющего параметра  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t)$ , при этом сумма информации и энтропии остается постоянной и равной энтропии фонемы  $H_p$ :

$$I[s(t, \Delta t)] + H[s(t, \Delta t)] = \text{const} = H_p, \quad t \in [Tp]. \quad (15)$$

При этом константа  $k$  выражения (11) определяется энтропией равновесного состояния. Информация равновесного состояния равна нулю в соответствии с выражением (12). Для формулировки критерия поло-

жительности выражения (10) необходимо перенормировать энтропию более хаотического состояния так, чтобы сопоставление информационных состояний речевой системы производилось при одинаковых значениях средней эффективной энергии  $E_{eff}(t)$ .

Проведем анализ двух реализаций РС, отвечающих следующим состояниям управляющего параметра:  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) = 0$  – синтез нулевой фонемы и  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) = \vec{\mathfrak{R}}_i(t, \Delta t)$  – некоторое стационарное, но неравновесное состояние. Будем применять соответствующие функции плотности распределения вероятностей  $w_0, w_i$  и энтропии  $H_0, H_i$ . Ренормализация к заданному значению средней энергии  $\vec{E}(t)$  сводится к замене энергии шумов неравновесного состояния ее эффективным значением  $E_{eff}(t)$ , что выполняется средним ухом на интервале времени адаптации  $\Delta t^{su}$ . Она определяется путем решения уравнения:

$$k1\vec{E}(t, \Delta t) = \int \vec{E}(t)w_0(E(t, \Delta t), \vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) = 0)dE = \int E_{eff(t)}w_i(E(t, \Delta t), \vec{\mathfrak{R}} = \vec{\mathfrak{R}}_i(t, \Delta t))dE, \quad (16)$$

где  $k1$  – субъективный психофизиологический коэффициент, учитывающий чувствительность слуха аудитора. Выражение (16) служит дополнительным условием, обеспечивающим положительность информации уравнения (10). Решение этого уравнения удовлетворяет неравенству

$$E[\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t)] \geq \vec{E}(t). \quad (17)$$

Знак равенства относится к случаю  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) = \vec{\mathfrak{R}}_0 = 0$ . Отсюда следует, что для выравнивания значений средних энергий состояния  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t) = 0$  ЦНС «подогревает» слуховой рецептор энергией внутренних шумов  $\xi^{IHC}(t)$ :

$$E_{вн}[\xi^{IHC}(t)] = \text{const} \neq 0, \quad (18)$$

и выражение (11) для разности энтропий двух соседних состояний можно записать в виде:

$$H_i(t, \Delta t) = -k \int \left\{ \ln \frac{w_1[E_1(t, \Delta t)]}{w_2[E_2(t, \Delta t)]} \right\} w_1[E_1(t, \Delta t)]dE - H_0 \geq 0, \quad (19)$$

где  $H_0$  соответствует психофизиологической постоянной концентрации информационного внимания ЦНС на РС. Выражение (19) отображает факт улучшения разборчивости РС при его суммировании с шумовым сигналом [8], также соответствует экспериментальной формуле психофизиологического закона Вебера – Фех-

нера [1], определяющей реакцию биологической функциональной системы (энтропия  $H_i$ ) на раздражитель (энергия  $E$ ) пропорциональной его логарифму.

Относительная упорядоченность информационных состояний РС на интервалах времени адаптации слуха  $\Delta t^{su}$  определяется двумя формулами. Формула (16) подтверждает выбор равновесного состояния при значении управляющего параметра кинем  $\vec{\mathfrak{R}} = 0$  и суммы энергии внутренних и внешних шумов, т. е. системообразующей функции адаптации ЦНС к внешним помехам. Формула (19) дает количественную меру их относительной упорядоченности.

Исследуя общую формулу (10), мы можем определить информацию  $\vec{I}[E(t, \Delta t)]$  стационарного состояния речевой системы при всех значениях вектора управляющего параметра:

$$\vec{I}[E(t, \Delta t)] = H_0 - H_i(t, \Delta t) = \int \left[ \ln \frac{w_1[E_1(t, \Delta t)]}{w_0[E_0(t, \Delta t)]} \right] w_1[E_1(t, \Delta t)]dE \geq 0. \quad (20)$$

Отсюда следует, что при нулевом значении вектора управляющего параметра кинем  $\vec{\mathfrak{R}} = 0$  сообщение совпадает с равновесным и информация равна нулю. На этом же основании можно определить информацию временной реализации последовательности стационарных состояний  $\Delta t$  течения воздуха в физиологических зонах действия векторов управляющих параметров.

## ВЫВОДЫ

1. Впервые проведен информационно-энергетический анализ изменения энтропии речевого сигнала при воздействии вектора управляющих параметров ЦНС на сигналы кинем.

2. Получены выражения (10)–(12), (19), (20), анализ которых показывает, что информационная функция фонемы РС чувствительна к разнице между энтропией энергии  $i$ -го и условной энтропии  $(i+1)$ -го сигнала фонемы по воздействию вектора управляющих параметров  $\vec{\mathfrak{R}}(t, \Delta t)$  на приращение энергии  $\Delta E(t, \Delta t)$  сигнала в течение интервала времени  $\Delta t$ .

3. Получено аналитическое выражение (16), отображающее системообразующую функцию среднего уха, которая определяет процесс адаптации коэффициента передачи энергии РС по ФРПВ энергии нулевой фонемы.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Чистович Л. А. Физиология речи. Восприятие речи человеком / [Чистович Л. А., Венцов А. В., Гранстрем М. П. и др.]. – Л. : «Наука», 1976. – 388 с. – (В серии «Руководство по физиологии»).

2. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Николис Г., Пригожин И. – М. : Мир, 1979. – 512 с.
3. Журавлёв В. Н. Синергетическая концепция энергоинформационного обмена речеслуховой системы / В. Н. Журавлёв // Адаптивные системы автоматического управления. – 2007. – № 11. – С. 128–135.
4. Климонтович Ю. Л. Статистическая теория открытых систем / Климонтович Ю. Л. – М. : Янус, 1995. – 624 с.
5. Климонтович Ю. Л. Турбулентное движение и структура хаоса / Климонтович Ю. Л. – М. : Ком. книга, 2007. – 328 с.
6. Анохин П. К. Кибернетика функциональных систем / Анохин П. К. – М. : Медицина, 1998. – 400 с.
7. Шеннон К. Современные достижения теории связи. / К. Шеннон // Работы по теории информации и кибернетике. – М. : Издательство иностранной литературы, 1963. – С. 403–414.
8. Цвикер Э. Ухо как приемник информации. / Цвикер Э., Фельдкеллер Р. ; пер. с нем. под ред. Б. Г. Белкина. – М. : Связь, 1971. – 225 с.

Надійшла 16.02.2009

УДК 004.032.26

Т. В. Кіпріч, В. М. Харитонов, В. І. Дубровін, А. В. Притула

## ПОБУДОВА МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПОМПАЖНИХ ЯВИЩ У ГАЗОТУРБІННОМУ ДВИГУНІ

Метою існуючих систем захисту газотурбінного двигуна від зривних процесів є автоматичне відновлення режиму роботи двигуна після усунення помпажу, а не запобігання виникненню газодинамічної нестійкості у турбомашинах. Запропонована модель модуля попередження помпажу ґрунтується на основі вейвлет-аналізу та карт Кохонена SOM. Приводиться порівняльний аналіз результатів виявлення зривних процесів за допомогою даного підходу та спрощених моделей.

### ВСТУП

Існує два види зривних режимів, що призводять до аварійного стану газотурбінного двигуна (ГТД) та характеризуються значними коливаннями: обертовий зрив та явища типу помпажних. Обертовий зрив у більшості випадків пов'язаний із зривом потоку з лопаток компенсатора та розповсюдженням збурення по колу проточної частини компресора. Внаслідок цього явища може бути розвиненим помпаж ГТД, який супроводжується коливанням тиску, швидкостей та витрат газу по тракту двигуна; зменшенням частот обертання роторів; зростанням температури газів перед і за турбіною чи загасанням камери згорання [1].

Серед наведених параметрів найбільш характерним для помпажних явищ є різке падіння тиску повітря за компресором ( $P_{\text{квт}}$ ) чи по тракту двигуна, що повторюється при кожному імпульсі помпажних коливань. Тому робота більшості сигналізаторів побудова-

*Розглянута задача, суттю якої є розкриття та аналіз імпульсного процесу психофізіологічного інформаційного керування мовним та слуховим процесами. Розроблено метод аналізу зв'язку керуючих параметрів центральної нервової системи з фізіологічними органами мови та механізмом зняття ентропії з ламінарного потоку повітря у процесі синтезу сигналів мови.*

*The task, the main point of which is the expansion and analysis of impulse character of speech-hearing process psycho-physiological informational control is under review. The method of analysis of connection between the control parameters of central nervous system under speech executive organs and the mechanism of taking down of entropy from the laminar air flow in the process of speech signal synthesis was developed.*

на саме на обробці сигналу  $P_{\text{квт}}$ , за допомогою якого при помпажі здійснюється виробка відповідного сигналу до протипомпажного та протизривного блоку (ППБ) (або системи захисту від помпажу за обертового зриву) для впливу на виконавчий орган системи автоматичного керування двигуном (САКД). Однак, метою сучасних САКД є відновлення режиму роботи двигуна після помпажу, а не попередження розвитку газодинамічної нестійкості у турбомашинах. Тому необхідна відповідна розробка нових та модифікація існуючих методів для попередження виникнення зривних процесів у турбокомпресорі та реалізація модуля попередження помпажу (МПП) у САКД.

### 1 ОГЛЯД ПОПЕРЕДЕНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У сучасних САКД реалізовано наступні сигналізатори коливань із логарифмічними датчиками [1]:

- 1) штатний датчик логарифмічний типу ДОЛ із електронним перетворювачем ЕП-В;
- 2) сигналізатори помпажу ПС та ПС-2-7.

Датчик тиску ДОЛ призначений для виміру надлишкового тиску повітря із видачею сигналу змінного току пропорційного логарифму вимірювального тиску на електронний перетворювач ЕП-В [2, 3]. При втраті стійкості компресора ЕП-В замикає ланцюг керування ППБ САКД. Принцип роботи перетворювача побудований на виділенні сигналу із зада-

© Кіпріч Т. В., Харитонов В. М., Дубровін В. І., 2009