

УДК 519.65+534.1+004.3+004.42+004.9

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ, СВЯЗАННЫХ С ОБРАБОТКОЙ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ



П.Ю. Бранцевич

докторант, кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Республика Беларусь. Докторант БГУИР.
E-mail: branc@bsuir.edu.by

П.Ю. Бранцевич

С 1985 года работал в области разработки архитектуры, методов, алгоритмов и программного обеспечения компьютерных систем и комплексов для определения метрологических характеристик виброизмерительных преобразователей и виброустановок, решения задач вибрационного контроля, мониторинга, диагностики и автоматизации защиты многоопорных механизмов с вращательным движением. Разработал математическое и программное обеспечение систем поддержки принятия решений по оценке технического состояния сложных механизмов и агрегатов по вибрационным параметрам и характеристикам. Являлся научным руководителем и исполнителем четырех заданий Государственной научно-технической программы (ГНТП) «Энергетика», двух заданий ГНТП «Защита от чрезвычайных ситуаций», четырех заданий ГПНИ «Диагностика», более ста хозяйственных договоров.

Аннотация. С начала 90-х лабораторией вибродиагностических систем начато внедрение и промышленная эксплуатация компьютерных систем непрерывного вибрационного контроля и мониторинга сложных агрегатов роторного типа, которые формируют временные тренды для 14 вибрационных параметров с временным шагом 1-8 секунд по каждой точке (12-33) контроля на эксплуатируемом объекте. По мере накопления данных возникла потребность в создании автоматизированных и автоматических систем принятия решений, как для решения задач технической диагностики, так и для автоматизации защитных отключений при возникновении аварийно-опасных ситуаций в ходе эксплуатации энергетических турбоагрегатов. Предлагается функционал универсального модуля принятия решений на основе параметров и характеристик наблюдаемого объекта. Приведен пример реализации системы принятия решения для автоматизации защитного отключения на основе анализа вибрационного состояния в ходе эксплуатации детандер-генераторного агрегата (ДГА).

Ключевые слова: вибрация, сигнал, параметр, характеристика, решение.

Введение.

В производственных процессах расходы, направляемые на обеспечение работоспособности производственного оборудования, составляют значительную часть от эксплуатационных затрат. Считается, что наиболее изнашиваемым является оборудование с вращательным движением (турбины, генераторы, двигатели, редукторы, насосы, компрессоры, вентиляторы). Снизить затраты на его эксплуатацию можно путем внедрения современных систем технического обслуживания, которые базируются на использовании технологий мониторинга, оценки состояния, диагностики, прогнозирования развития дефектов, которые с точки зрения их организации и функционирования являются интеллектуальными системами [1].

Состояние производственного оборудования может характеризоваться многими параметрами основных и вторичных процессов, развивающихся при его работе. Для контроля целесообразно выбирать те, которые достаточно хорошо отражают функциональное состояние объектов и не требуют слишком больших затрат на их измерение. В этом плане, для механизмов с вращательным движением, такими являются параметры вибрации [1,2]. На основе анализа вибрационного состояния группы однотипных механизмов при их функционировании на различных режимах, в различном техническом состоянии и на протяжении длительного времени могут быть обоснованы и сформулированы диагностические признаки для локализации мест и причин повышения вибрации. Это создает условия для построения автоматизированных интеллектуальных систем оценки технического состояния и диагностики, значительно облегчающих работу инженерно-технического персонала [3].

Модель базового элемента системы принятия решений.

Состояние наблюдаемого технического или природного объекта описывается параметрами и характеристиками.

Параметр – это величина, значения которой служат для того, чтобы различать элементы некоторого множества между собой; величина, постоянная в пределах данного явления или задачи, но при переходе к другому явлению или задаче обладающая возможностью изменить своё значение. Иногда параметрами называют также величины, очень медленно изменяющиеся по сравнению с другими величинами (переменными). Параметр – свойство (показатель) объекта или системы, которое можно измерить. Результатом измерения параметра системы является число или величина, а саму систему можно рассматривать как множество параметров, которое требуется измерить для моделирования или оценки ее поведения. Примерами параметров вибрации являются: среднее квадратическое значение (СКЗ) виброускорения (виброскорости), размах колебаний, амплитуда колебаний на определенной частоте, вычисляемые путем обработки вибрационного сигнала, формируемого первичными преобразователями (датчиками), установленными на подшипниковой опоре механизма.

Характеристика – это совокупность отличительных свойств кого-либо или чего-либо. Характеристика в технике – есть графическое, или табличное выражение зависимости одного параметра от другого. А также функция, выражающая или описывающая эту зависимость. Например, характеристикой объекта является амплитудный спектр вибрационного сигнала, возбуждаемого на корпусе подшипниковой опоры или отрезок временной реализации вибрационного сигнала.

Чтобы выполнять оценку состояния наблюдаемого объекта, требуется некая система принятия решений или поддержки принятия решений. Предлагается следующая модель базового решающего элемента системы принятия решений по оценке состояния наблюдаемого объекта или выработке рекомендаций по воздействию на данный объект.

Входными данными базового элемента являются:

x_i – значение параметра i , $i = 1..N$.

$\omega_j(y_{j,1}, \dots, y_{j,k})$ – характеристика j при дискретных значениях аргумента y_j , $j = 1..M$.

$\omega_j(y_j(t))$ – характеристика j при непрерывном значении аргумента y_j , $j = 1..M$.

По отношению к входным исходным параметрам и характеристикам применяются функции первичной обработки:

$f_l(x_i)$, где $l=1..B$; и $\varphi_m(\omega_j)$, где $m=1..C$.

Причем, разные функции f_l могут применяться по отношению к одному и тому же параметру x_i , а различные функции φ_m , к одному и тому же значению характеристики ω_j . Могут быть и комплексные многопараметрические-многохарактеристические функции:

$\psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p)$, где $n=1..D$; $i, j, k \in 1..N$; $l, m, p \in 1..M$.

По отношению к набору функций:

$f_l(x_i)$, $\varphi_m(\omega_j)$, $\psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p)$ применяются обобщающие функции:

$y_k = \Psi_k[f_l(x_i), l=1..B; \varphi_m(\omega_j), m=1..C; \psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p), n=1..D]$;

$k=1..L$.

И уже по отношению к y_k применяются разнообразные решающие функции:

$S_\eta(y_k)$, $\eta=1..P$.

Результат функции $S_\eta(y_k)$ определяет одно из возможных состояний анализируемого объекта, тип самого объекта, принимаемое решение. На рис.1 данная модель представлена в графическом виде.

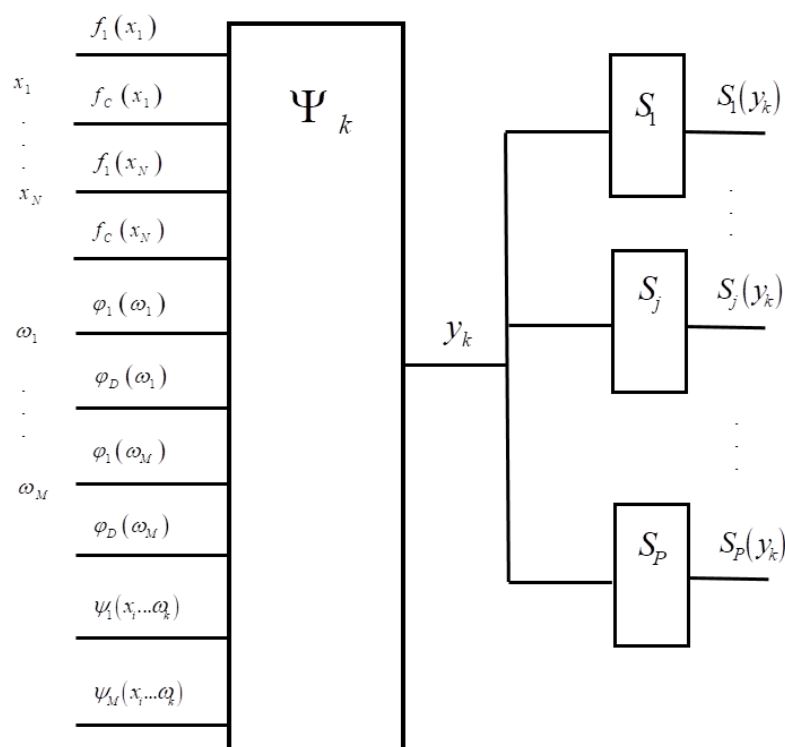


Рисунок 1. Модель базового элемента принятия решений по оценке состояния наблюдаемого объекта

В простейшем случае параметры предлагаемой модели принятия решений будут иметь следующий вид:

$f_l(x_i) = a_l x_i$, где $l = 1..B$; $\varphi_m(\omega_j) = b_m \omega_j$, где $m = 1..C$; a_l, b_m – действительные числа.

$$\Psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p) = c_n \left(\sum_{i=1}^N r_i x_i + \sum_{j=1}^N s_j \omega_j \right),$$

где $n = 1..D$; $i, j, k \in 1..N$; $l, m, p \in 1..M$; r_i, s_j – действительные числа.

$$y_k = \sum_{l=1}^B u_{l,k} f_l(x_i) + \sum_{m=1}^C v_{m,k} \varphi_m(\omega_j) + \sum_{n=1}^D w_{n,k} \Psi_n(x_i, \dots, x_j, \dots, x_k, \omega_l, \dots, \omega_m, \dots, \omega_p),$$

где $k = 1..L$; $u_{l,k}, v_{m,k}, w_{n,k}$ – действительные числа.

$$S_\eta(y_k) = \rho_\eta y_k, \quad \eta = 1..P.$$

Принятие решения о защитном отключении ДГА по параметрам вибрации.

Наиболее важной задачей современных систем вибрационного контроля и диагностики является предотвращение аварийного повреждения защищаемого объекта при внезапном возникновении неисправностей или механических повреждений в его узлах или при существенном отклонении каких-либо технологических параметров от номинальных. Однако факт возникновения ситуации, требующей останова технического объекта, во многих случаях имеет неоднозначное отображение в параметры вибрации. Стандартизованные критерии защиты [4] отражают наиболее общие взаимосвязи, полученные на основе длительного опыта эксплуатации и исследования механизмов с вращательным движением, и далеко не всегда в полной мере могут удовлетворить эксплуатирующий и управляющий персонал.

Системы вибрационного контроля и защиты, построенные на базе компьютерной техники, позволяют реализовать разнообразные и сложные алгоритмы защиты, ориентированные на конкретные типы дефектов и аварийных ситуаций. Это, в свою очередь, позволяет избежать необоснованных («ложная тревога») срабатываний защитного отключения и не допустить «пропуска дефекта» [5,6].

Такой подход реализован в системе виброконтроля ДГА мощностью 5 МВт. ДГА состоит из генератора, редуктора, турбодетандера (турбина, функционирующая на основе использования энергии перепада давления природного газа).

Вибрационное состояние генератора оценивается в соответствии со стандартом 25364 [7], редуктора – в соответствии со стандартом 8579-2 [8], турбодетандера – в соответствии со стандартом 10816-4 [9].

При выработке критериев защитного отключения по вибрации представляется целесообразным учитывать:

- стандартизованные критерии, основанные на оценке величины среднего квадратического значения (СКЗ) виброскорости в частотной полосе 10–1000 Гц;
- особенности отражения определенных типов дефектов, например, дисбаланса, в вибрационный сигнал;
- общее вибрационное состояние составных элементов ДГА.

Это позволяет избежать необоснованных («ложная тревога») срабатываний защитного отключения и не допустить «пропуска дефекта».

Предложено несколько вариантов выработки сигнала защитного отключения по вибрации для генератора (две подшипниковые опоры), редуктора (до 5 точек контроля) и турбодетандера (три точки контроля).

1. Генератор

1.1. Критерий СКЗ виброскорости в нормированной частотной полосе 10–1000 Гц для каждой точки контроля генератора.

Сигнал защитного отключения вырабатывается, если хотя бы для одного виброизмерительного канала генератора выполнится условие:

$$(A_{изм,k,i} \text{ больше } A_{np,k}) \text{ и } (A_{изм,k,i-1} \text{ больше } A_{np,k}) \text{ и } (A_{изм,k,i-2} \text{ больше } A_{np,k}),$$

где

$A_{изм,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала генератора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм,k,i-1}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала генератора, вычисленное на предыдущем цикле измерений (цикл измерений для одного канала на ДГА – 2 секунды);

$A_{изм,k,i-2}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала, вычисленное на пред-
предыдущем цикле измерений.

$A_{np,k}$ – предельный уровень вибрации (СКЗ виброскорости), который задается для каждого виброизмерительного канала. Стандартизованное значение по ГОСТ 25364 – 11.2 мм/с.

Данный алгоритм является самым простым, соответствует стандартам, но не учитывает особенностей вибрационного состояния генератора и недостаточно устойчив к недостоверным данным измерений.

1.2. Критерий СКЗ виброскорости в нормированной частотной полосе по всем точкам контроля генератора.

Сигнал защитного отключения вырабатывается, если хотя бы для одного виброизмерительного канала генератора выполнится условие:

$$(A_{изм,k,i} \text{ больше } A_{np,k}), \text{ а для остальных виброизмерительных каналов (или еще одного}$$

из виброизмерительных каналов) генератора выполнится условие:

$$(A_{изм,m,i} \text{ больше } A_{2KV,k}),$$

где

$A_{изм,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала генератора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм,m,i}$ – значение СКЗ виброскорости для m -го канала генератора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{2KV,k}$ – второй контрольный уровень вибрации (СКЗ виброскорости), который задается для каждого виброизмерительного канала. Стандартизованное значение по ГОСТ 25364 – 7.1 мм/с.

Данный алгоритм позволяет, в определенной степени, оценить общий уровень вибрационного состояния генератора, более устойчив к недостоверным данным измерений, но также носит достаточно общий характер и не учитывает специфических проявлений дефектов.

1.3. Критерий СКЗ виброскорости в нормированной частотной полосе по всем точкам контроля генератора и с учетом вибрационной составляющей на частоте 50 Гц.

Сигнал защитного отключения вырабатывается, если хотя бы для одного виброизмерительного канала генератора выполнится условие:

$$(A_{изм,k,i} \text{ больше } A_{np,k}) \text{ и } (A_{изм1Об,k,i} \text{ больше } A_{1KV,k}),$$

а для остальных виброизмерительных каналов (или еще одного из виброизмерительных каналов) генератора выполнится условие:

$$(A_{изм,m,i} \text{ больше } A_{2KV,m}) \text{ и } (A_{изм1Об,m,i} \text{ больше } A_{1KV,m}),$$

где

$A_{изм,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала генератора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм10б,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости спектральной составляющей 50 Гц для k -го канала генератора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм,m,i}$ – значение СКЗ виброскорости для m -го канала генератора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{1KV,k}$ – первый контрольный уровень вибрации (СКЗ виброскорости), который задается для каждого виброизмерительного канала. Стандартизованное значение по ГОСТ 25364 – 4.5 мм/с.

Данный алгоритм позволяет, в определенной степени, оценить общий уровень вибрационного состояния турбоагрегата и наличие дисбалансов, более устойчив к недостоверным данным измерений, но не учитывает изменений вектора оборотной составляющей.

Генератор имеет две подшипниковые опоры, для каждой опоры вибрация контролируется в горизонтальном и вертикальном направлениях. Таким образом, для генератора вибрация контролируется в четырех точках.

2. Редуктор

2.1. Критерий СКЗ виброскорости в частотной полосе 20 – 2000 Гц для каждой точки контроля редуктора.

Сигнал защитного отключения вырабатывается, если хотя бы для одного виброизмерительного канала редуктора выполнится условие:

$$(A_{изм,k,i} \text{ больше } A_{пр,k}) \text{ и } (A_{изм,k,i-1} \text{ больше } A_{пр,k}) \text{ и } (A_{изм,k,i-2} \text{ больше } A_{пр,k}),$$

где

$A_{изм,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала редуктора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм,k,i-1}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала редуктора, вычисленное на предыдущем цикле измерений;

$A_{изм,k,i-2}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала, вычисленное на пред предыдущем цикле измерений.

$A_{пр,k}$ – предельный уровень вибрации (СКЗ виброскорости), который задается для каждого виброизмерительного канала на основе требований завода изготовителя.

2.2. Критерий СКЗ виброскорости в частотной полосе 20 – 2000 Гц по всем точкам контроля редуктора и с учетом вибрационной составляющей на частоте 160 Гц (частота вращения приводящего вала).

Сигнал защитного отключения вырабатывается, если хотя бы для одного виброизмерительного канала редуктора выполнится условие:

$$(A_{изм,k,i} \text{ больше } A_{пр,k}) \text{ и } (A_{изм160,k,i} \text{ больше } A_{1KV,k}),$$

а для остальных виброизмерительных каналов (или еще одного из виброизмерительных каналов) редуктора выполнится условие:

$$(A_{изм,m,i} \text{ больше } A_{2KV,m}) \text{ и } (A_{изм160,m,i} \text{ больше } A_{1KV,m}),$$

где

$A_{изм,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала редуктора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм160,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости спектральной составляющей 160 Гц для k -го канала редуктора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм,m,i}$ – значение СКЗ виброскорости для m -го канала редуктора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{2KV,k}$ – второй контрольный уровень вибрации (СКЗ виброскорости), который задается для каждого виброизмерительного канала редуктора.

$A_{1KV,k}$ – первый контрольный уровень вибрации (СКЗ виброскорости), который задается для каждого виброизмерительного канала редуктора.

Вибрация редуктор контролируется в трёх точках.

3. Турбодетандер

3.1. Критерий СКЗ виброскорости в частотной полосе 20 – 2000 Гц по всем точкам контроля турбодетандера

Сигнал защитного отключения вырабатывается, если хотя бы для одного виброизмерительного канала турбодетандера выполнится условие:

$$(A_{изм,k,i} \text{ больше } A_{np,k}),$$

а для остальных виброизмерительных каналов (или еще одного из виброизмерительных каналов) турбодетандера выполнится условие:

$$(A_{изм,m,i} \text{ больше } A_{2KV,k}),$$

где

$A_{изм,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала турбодетандера, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм,m,i}$ – значение СКЗ виброскорости для m -го канала турбодетандера, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{2KV,k}$ – второй контрольный уровень вибрации (СКЗ виброскорости), который задается для каждого виброизмерительного канала турбодетандера.

3.2. Критерий СКЗ виброскорости в частотной полосе 20 – 2000 Гц по всем точкам контроля турбодетандера и с учетом вибрационной составляющей на частоте 160 Гц (частота вращения)

Сигнал защитного отключения вырабатывается, если хотя бы для одного виброизмерительного канала турбодетандера выполнится условие:

$$(A_{изм,k,i} \text{ больше } A_{np,k}) \text{ и } (A_{изм160,k,i} \text{ больше } A_{1KV,k}),$$

а для остальных виброизмерительных каналов (или еще одного из виброизмерительных каналов) турбодетандера выполнится условие:

$$(A_{изм,m,i} \text{ больше } A_{2KV,k}),$$

где

$A_{изм,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости для k -го канала турбодетандера, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм160,k,i}$ – значение СКЗ виброскорости спектральной составляющей 160 Гц для k -го канала редуктора, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{изм,m,i}$ – значение СКЗ виброскорости для m -го канала турбодетандера, вычисленное в текущий момент времени;

$A_{1KV,k}$ – первый контрольный уровень вибрации (СКЗ виброскорости), который задается для каждого виброизмерительного канала турбодетандера.

$A_{2KV,k}$ – второй контрольный уровень вибрации (СКЗ виброскорости), который задается для каждого виброизмерительного канала турбодетандера.

Вибрация турбодетандера контролируется в трёх точках, вертикальное, горизонтальное и осевое направление.

Предложенные алгоритмы формирования защитного отключения по вибрации учитывают определенные взаимосвязи реального технического состояния ДГА с вибрационными колебаниями, возбуждаемыми на его подшипниковых опорах и корпусах. Однако они имеют специализированный характер, т.е. ориентируются на конкретный технический объект, более сложны в реализации и трудоемки при реализации методик проверки их функциональности.

Очевидно, что подобные алгоритмы должны развиваться и совершенствоваться по принципу «от простого к сложному». Но, вместе с тем, на ДГА, представляется возможным опробовать и некоторые сложные алгоритмы с той целью, чтобы в дальнейшем их внедрять и на основных турбоагрегатах.

Сигнал на защитное отключение контролируемого механизма вырабатывается в том случае, если он выработан по одному из указанных критериев, или по нескольким критериям одновременно [6–10].

Формализация системы принятия решения о защитном отключении.

Для реализации данной системы принятия решения о защитном отключении в качестве входных данных применяется характеристика:

$TI_j(x_0, \dots, x_{N-1})$, $j = 1..10$ – временная реализация вибрационного сигнала.

M – число точек контроля для наблюдаемого ДГА.

τ – дискретное время, определяющее периодичность получения исходных вибрационных сигналов.

Функция $\varphi_{1,j}[TI_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_\Delta]$, $j = 1..4$, $\Delta = 1, 2, \dots$ предназначена для вычисления СКЗ частотной полосе 10–1000 Гц для каждой точки контроля генератора.

Функция $\varphi_{2,j}[TI_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_\Delta]$, $j = 1..4$, $\Delta = 1, 2, \dots$ предназначена для вычисления СКЗ виброскорости оборотной составляющей вибрации генератора $A_{CCVg,j}$ (circulating component of vibration), равной 50 Гц.

Функция $\varphi_{3,j}[TI_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_\Delta]$, $j = 5..10$, $\Delta = 1, 2, \dots$ предназначена для вычисления СКЗ частотной полосе 20–2000 Гц для каждой точки контроля редуктора и турбодетандера.

Функция $\varphi_{4,j}[TI_j(x_0, \dots, x_{N-1}), \tau_\Delta]$, $j = 5..10$, $\Delta = 1, 2, \dots$ предназначена для вычисления СКЗ виброскорости оборотной составляющей вибрации редуктора и турбодетандера генератора $A_{CCVrd,j}$, равной 160 Гц.

Обобщающие функции первого уровня имеют вид:

$$y_{1,\Delta} = \Psi_{1,1,\Delta}[\varphi_{1,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j = 1..4; \Delta = 1, 2, \dots];$$

$$y_{2,\Delta} = \Psi_{1,2,\Delta}[\varphi_{2,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j = 1..4; \Delta = 1, 2, \dots];$$

$$y_{3,\Delta} = \Psi_{1,3,\Delta}[\varphi_{1,j,\Delta}(\); \varphi_{2,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j = 1..4; \Delta = 1, 2, \dots];$$

$$y_{4,\Delta} = \Psi_{1,4,\Delta}[\varphi_{3,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j = 5..7; \Delta = 1, 2, \dots];$$

$$y_{5,\Delta} = \Psi_{1,5,\Delta}[\varphi_{3,j,\Delta}(\); \varphi_{4,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j = 5..7; \Delta = 1, 2, \dots];$$

$$y_{6,\Delta} = \Psi_{1,6,\Delta}[\varphi_{3,j,\Delta}(\); \tau_\Delta; j = 8..10; \Delta = 1, 2, \dots];$$

$$y_{7,\Delta} = \Psi_{1,7,\Delta}[\varphi_{3,j,\Delta}(\cdot); \varphi_{4,j,\Delta}(\cdot); \tau_{\Delta}; j = 8..10; \Delta = 1,2,\dots.];$$

Результатом каждой из обобщающих функций первого уровня $\Psi_{1,k,\Delta}(\cdot)$, $k = 1..7$; является $y_{k,\Delta}$, которое принимает два значения: ноль или единица. $y_{k,\Delta}$ являются входными параметрами $x_{k,\Delta}$ для обобщающей функции второго уровня:

$$z_{\Delta} = \Psi_{2,\Delta}(x_{1,\Delta} = y_{1,\Delta}, x_{2,\Delta} = y_{2,\Delta}, x_{3,\Delta} = y_{3,\Delta}, x_{4,\Delta} = y_{4,\Delta}, x_{5,\Delta} = y_{5,\Delta}, x_{6,\Delta} = y_{6,\Delta}, x_{7,\Delta} = y_{7,\Delta}).$$

Результат обобщающей функции второго уровня z_{Δ} . Значение $z_{\Delta}=1$ соответствует решению о срабатывании защитного отключения. Значение $z_{\Delta}=0$ соответствует нормальному режиму эксплуатации контролируемого объекта.

Заключение.

Предложенная модель базового элемента системы принятия решений позволяет конфигурировать различные структуры, предназначенные для оценки состояния сложных технических и природных объектов. Представлен пример реализации системы принятия решений по оценке состояния многоопорного энергетического агрегата, как комбинации базовых решающих модулей, которая введена в промышленную эксплуатацию [11,12]. Рассмотренный подход может быть использован при моделировании разнообразных систем, принимающих решения, в том числе и живых организмов, управляющим устройством которых является многоуровневая, многослойная, объемная нейронная сеть, типовой элемент которой имеет вид предложенного базового элемента принятия решений.

Список использованных источников

- [1] Неразрушающий контроль: справочник. Том 7. Книга 2. Вибродиагностика / Ф. Я. Балицкий и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.
- [2] Bently, D. E. Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics / D. E. Bently, C. N. Hatch, B. Grissom. – Canada: Bently pressurized bearing company, 2002. – 726 pp.
- [3] Ширман, А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – Москва, 1996. – 276 с.
- [4] ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч.1. Общие требования.
- [5] Brancevich, P., Organization of the vibration-based monitoring and diagnostics system for complex mechanical system / P. Brancevich, X. Miao, Y. Li // Proceedings of the 20th International Congress on Sound and Vibration. Bangkok. Thailand. 7-11 July, 2013.
- [6] Бранцевич, П. Ю. Организация и алгоритмы системы вибрационного контроля и оценки технического состояния турбоагрегатов по вибрационным параметрам / П. Ю. Бранцевич, С. Ф. Костюк, Г. Г. Соболев // Проблемы вибрации, виброналадки, вибромониторинга и диагностики оборудования электрических станций: сб. докладов; под общей редакцией А. В. Салимона. – М.: ВТИ. – 2003. – С. 25–29.
- [7] ГОСТ 25364-97. Агрегаты паротурбинные стационарные. Нормы вибрации опор валопроводов и общие требования к проведению измерений.
- [8] ГОСТ Р ИСО 8579-2-99 (СТБ ИСО 8579-2-2001). Вибрация. Контроль вибрационного состояния зубчатых механизмов при приемке продукции.
- [9] ГОСТ Р ИСО 10816-4-98. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч.4. Газотурбинные установки.
- [10] Бранцевич П. Ю. ИВК «Лукомль-2001» для вибрационного контроля / П. Ю. Бранцевич // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 12 (69). – С. 19–21.
- [11] Бранцевич, П. Ю. Большие данные в системах вибрационного контроля, мониторинга, диагностики / П. Ю. Бранцевич, Е. Н. Базылев // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2016. – № 3. – С. 28–41.
- [12] Brancevich, P. Detection of vibration disturbances during the analysis of long realisations of vibration signals / P. Brancevich, Y. Li // 25-th International Congress on Sound and Vibration. Hiroshima. Japan. 8-12 July. 2018.

DECISION-MAKING IN TASKS RELATED TO THE PROCESSING OF VIBRATION SIGNALS

P.J. BRANCEVICH

Grand PhD courses

Educational institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", Republic of Belarus

E-mail: branc@bsuir.edu.by

Abstract. Since the beginning of the 90s, the laboratory of vibration diagnostic systems has begun the introduction and industrial operation of computer systems for continuous vibration control and monitoring of complex rotary-type units, which form time trends for 14 vibration parameters with a time step of 1-8 seconds for each point (12-33) control at the operating facility. With the accumulation of data, there was a need to create automated and automatic decision-making systems both for solving problems of technical diagnostics and for automatic protective shutdowns in the event of emergency situations during the operation of power turbine units. The functionality of a universal decision-making module based on the parameters and characteristics of the observed object is proposed. An example of the implementation of a decision-making system for automatic protective shutdown based on the analysis of the vibrational state during the operation of an expander-generator unit (EGA) is given.

Keywords: vibration, signal, analysis, parameter, characteristic, solution.