УДК 62-501, 4:681.326.7

ЛОКАЛИЗАЦИЯ НЕИСПРАВНЫХ ФРАГМЕНТОВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ БЕЗИНЕРЦИОННЫХ СИСТЕМ

А. Ф. Верлань[1], С. А. Положаенко[2]
[1] *Институт проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины,*
[2] *Одесский национальный политехнический университет*

Аннотация. *Рассматриваются методы диагностирования непрерывных систем для широкой группы неисправностей с учетом ограниченного доступа к внутренним точкам диагностируемых систем. При этом исследованы вопросы локализации неисправностей в классах подсистем с независимым наблюдением, подсистем с независимым управлением и подсистем с независимым наблюдением и управлением. Приводятся критерии различимости подсистем, с точностью до которых устанавливается место неисправности*

Ключевые слова: *диагностирование, локализация неисправности, безынерционные системы, наблюдаемость систем, критерии различимости*

Введение.

В качестве типовых объектов диагностирования можно выделить объекты с *направленным* (системы) и *ненаправленным* (цепи) распространением сигналов. К первым относятся, например, непрерывные системы управления, ко вторым — электрические цепи. К настоящему времени не в полной мере решенной задачей, имеющей важное прикладное применение, следует рассматривать, в частности, диагностирование систем при ограниченном доступе к их внутренним точкам. В данном аспекте можно выделить *параметрические* неисправности, изменяющие только параметры объекта, и *структурные*, изменяющие некоторую часть объекта (подсистему) достаточно произвольным образом [1 — 3]. Основное внимание настоящей работы уделяется локализации структурных неисправностей в *безынерционных* системах.

Цель работы.

Получение строгих формализованных критериев различимости фрагментов безынерционных систем, с точностью до которых можно установить место неисправности последних.

Основная часть.

Рассмотрим постановку задачи диагностирования для рассматриваемого класса систем. Пусть исправная система описывается зависимостью

$$y^* = F^*(u), \quad u \in D_u, \qquad (1)$$

где $y^* = \left(y_1^*,\dots,y_n^*\right)^{\mathrm{T}}$ — вектор выходных сигналов, $u = \left(u_1,\dots u_m\right)^{\mathrm{T}}$ — вектор входных сигналов системы, D_u — область значений u, F^* — вектор-функция.

Выделим в системе подсистему S_i ($i = \overline{1, N}$), описание которой в исправленном состоянии имеет вид $Z_i^* = f_i^*(\vartheta_i)$, где Z_i^* — вектор выходных сигналов размерности n_i, V_i — вектор входных сигналов размерности m_i, f_i^* — вектор-функция.

Рассмотрим случай неисправности в одной подсистеме. Неисправная подсистема S_i описывается неизвестной зависимостью $Z_i = f_i(V_i)$, где Z_i, V_i — соответственно векторы выходных и входных сигналов неисправной подсистемы, имеющие размерность n_i, m_i.

Пусть установлено, что система неисправна. Требуется, располагая входными u и выходными y сигналами неисправной системы и описанием исправной системы, определить неисправную подсистему.

Подсистемы с независимым наблюдением.

Неисправную систему представим состоящей из двух подсистем (рис. 1): из неисправной подсистемы S_i и исправной подсистемы, соответствующей исправной части системы [4]. Описание исправной подсистемы имеет вид $y = A_i(u, Z_i), V_i = B_i(u, Z_i)$.

Определение 1.

Неисправную подсистему S_i будем называть наблюдаемой, если по входным и выходным сигналам исходной системы можно определить выходные сигналы неисправной подсистемы.

При численной реализации алгоритмов диагностирования существенна, как и при идентификации систем, линейность зависимости между оцениванием и наблюдаемыми величинами. Ограничимся случаем линейной зависимости между выходными сигналами проверяемой подсистемы и системы $y = A_\mathrm{i}(u)\,Z_\mathrm{i}$.

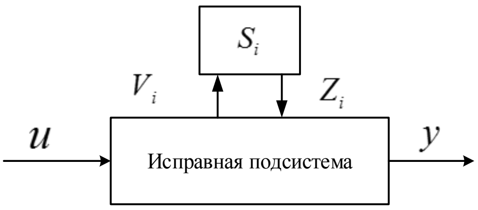


Рис. 1. — Представление неисправной системы в виде двух подсистем

Следует заметить, что зависимость между входом и выходом системы может быть нелинейной [5, 6]. Обозначим

$$\frac{\partial y}{\partial Z_\mathrm{i}^\mathrm{T}} = L_\mathrm{i}(u),\ \Delta Z_\mathrm{i} = Z_\mathrm{i} - Z_\mathrm{i}^*,\ \Delta y = y - y^* \cdot$$

Описание системы с неисправной подсистемой S_i представим в виде

$$y = y^* + \Delta y = A_\mathrm{i}(u)Z_\mathrm{i}^* + L_\mathrm{i}(u)\Delta\, Z_\mathrm{i}, \text{ отсюда}$$

$$\Delta y = L_\mathrm{i}(u)\Delta\, Z_\mathrm{i}\,. \qquad (2)$$

Утверждение 1.

Неисправная подсистема S_i *наблюдаема* в том и только том случае, если существует такое значение $u \in D_\mathrm{u}$, что ранг $L_\mathrm{i}(u) = n_\mathrm{i}$.

Справедливость утверждения следует из условия разрешимости уравнения (2). Заметим, что наблюдаемость подсистемы является в общем случае необходимым и достаточным условием для определения ее входных сигналов, которые после восстановления Z_i определяются по формуле $V_\mathrm{i} = B_\mathrm{i}(u\,, Z_\mathrm{i})$.

Поиск неисправной подсистемы приводится последовательной проверкой гипотез

$$H_\mathrm{i}: \quad \Delta y = L_\mathrm{i}(u)\Delta Z_\mathrm{i}, \quad i = \overline{1, N}\,, \qquad (3)$$

где N — число проверяемых подсистем.

Гипотеза H_i представляет собой предположение о том, что подсистема S_i неисправна и оператор f_i, ее описывающий, принадлежит классу операторов L_i. Класс операторов L_i задает класс неисправностей в подсистеме S_i [1]. Полагаем, что неисправности не выводят подсистему S_i из класса безынерционных систем и A_i представляет собой функцию достаточно произвольного вида.

Уравнение, составленное относительно оцениваемой величины, будем называть *диагностическим*. При проверке подсистемы S_i диагностическим является уравнение (3).

Проверка гипотезы H_i состоит в проверке совместности уравнения (3). Если уравнение (3) совместно, то гипотеза H_i принимается и подсистема S_i считается неисправной. Если не совместно, то H_i не принимается и проверяется очередная гипотеза.

В случае двух неисправных подсистем будем говорить, что подсистемы S_i, S_j ($i, j = \overline{1, N}$; $i \neq j$) неразличимы при гипотезе H_i, если гипотеза H_i принимается как при неисправной подсистеме S_i, так и при неисправной подсистеме S_j.

Подсистемы S_i, S_j неразличимы при гипотезе H_i только в том случае, если при неисправной подсистеме S_j существует такое значение $\Delta\, Z_\mathrm{i}$ что

$$L_\mathrm{i}(u)\Delta\, Z_\mathrm{i} = L_\mathrm{j}(u)\Delta\, Z_\mathrm{j}, \quad u \in D_\mathrm{u}. \qquad (4)$$

Анализ условий, при которых не выполняется равенство (4), позволяет сформировать условия и критерии различимости подсистем.

Определение 2.

Подсистемы S_i, S_j будем называть подсистемами с *независимым наблюдением* при гипотезе H_i, если подсистема S_i наблюдаема и векторы $\Delta\, Z_\mathrm{i}$, $\Delta\, Z_\mathrm{j}$ линейно независимы.

Из (4) очевидным образом вытекает следующее утверждение.

Утверждение 2.

Подсистемы S_i, S_j имеют независимые наблюдения при гипотезе H_i в том только случае, если существует такое значение $u \in D_\mathrm{u}$, что

$$\text{ранг}\left[L_\mathrm{i}(u) \,\middle|\, L_\mathrm{j}(u)\right] = n_\mathrm{j} + \text{ранг}\, L_\mathrm{j}(u). \qquad (5)$$

Условие (5) может выполняться и для случая, когда подсистема S_j ненаблюдаема, т.е. ранг $L_j(u) < n_j$.

Для обеспечения независимой наблюдательности подсистем S_i, S_j в общем случае требуется $n_i + n_j$ контрольных точек. Однако векторы ΔZ_i, ΔZ_j могут быть линейно независимы (для конкретного значения ΔZ_j) при $n_i + 1$ контрольной точке, если выполняется условие

$$\text{ранг}\left[L_i(u_к) \middle| \ell_{j,k}(u_k)\right] = n_j + 1, \quad k = \overline{1, n_j}, \qquad (6)$$

где $\ell_{j,K}$ — k –й столбец матрицы $L_j(u)$.

Если матрицы $L_i(u)$, $L_j(u)$ являются функциями входных сигналов системы и могут изменяться в процессе диагностического эксперимента, то вероятность появления для различных значений u таких значений ΔZ_j, что при условии (6) вектор $L_j(u)\Delta Z_j$ линейно зависим с матрицей $L_i(u)$, мала. Если этой вероятностью можно пренебречь (что на практике часто имеет место), то условие (6) можно принять в качестве критерия независимости наблюдений подсистем.

Независимая наблюдаемость подсистем определяется входными сигналами системы, ее структурой и параметрами. В общем случае выделить все факторы, определяющие независимую наблюдаемость подсистем, сложно. Поэтому один из путей определения входных сигналов системы u, при которых выполняется равенство (5) или (6), состоит в непосредственной проверке этих равенств.

В безынерационных системах с одним выходом подсистемы не обладают свойством независимости наблюдений. Для существования независимой наблюдаемости подсистем S_i, S_j при гипотезе H_i необходимо располагать $n_i + 1$ выходами системы. Однако наличие $n_i + 1$ наблюдаемых выходов системы является лишь необходимым условием.

Нулевые элементы в матрице $\left[L_i(u) \middle| L_j(u)\right]$ обусловливают независимость наблюдений подсистем в силу структурных свойств системы, которые сохраняются при любых параметрах.

Утверждение 3.

Если подсистемы S_i, S_j имеют независимые наблюдения, то они различимы.

Действительно, в силу линейной независимости векторов ΔZ_i, ΔZ_j для заданного произвольного значения $\Delta Z_j \neq 0$ не существует ΔZ_i, удовлетворяющего равенству (4).

Подсистемы с независимым управлением.

В исправной подсистеме, полученной при выделении S_i при гипотезе H_i (рис. 1), выделим, в свою очередь, подсистему S_j, имеющую входной сигнал V_j, который определяется зависимостью $V_j = B_j^i(u, Z_i)$. Для представленной таким образом системы рассмотрим свойство независимости управлений подсистем S_i , S_j.

Определение 3.

Подсистемы S_i, S_j будем называть подсистемами с *независимым управлением* при гипотезе H_i, если векторы V_i, V_j линейно зависимы.

Для подсистем S_i, S_j, удовлетворяющих определению 3, существуют входные сигналы системы, обеспечивающие изменение (вариацию) входных сигналов подсистемы S_j при измененных входных сигналах подсистемы S_i.

Если выходной сигнал исправной подсистемы S_j зависит от изменения любой компоненты вектора входных сигналов V_j (что, как правило, имеет место на практике), то при диагностировании достаточно при неизменном векторе V_i изменять поочередно компоненты вектора V_j. Далее, вместо определения 3 будем пользоваться следующим определением.

Определение 3.

Подсистемы S_i, S_j будем называть подсистемами с независимым управлением при гипотезе H_i, если компоненты вектора V_j линейно независимы с вектором V_i.

Получаем критерий выделения подсистем с независимым управлением.

Обозначим

$$\frac{\partial B_{\mathrm{i}}(u, Z_{\mathrm{i}})}{\partial u^{\mathrm{T}}} = \Omega_{\mathrm{i}}(u, Z_{\mathrm{i}}), \ \frac{\partial B_{\mathrm{j}}^{\mathrm{i}}(u, Z_{\mathrm{i}})}{\partial u^{\mathrm{T}}} = \Omega_{\mathrm{j}}^{\mathrm{i}}(u, Z_{\mathrm{i}}).$$

Ограничив рассматриваемые процедуры диагностирования линейными, далее будем полагать матрицы $\Omega_{\mathrm{i}}, \Omega_{\mathrm{j}}^{\mathrm{i}}$ постоянными.

Вариацию входных сигналов системы, обеспечивающую неизменность вектора V_{i} и вариацию значения компоненты $V_{\mathrm{j,к}}$ вектора V_{j}, можно найти из системы уравнений

$$\begin{bmatrix} \Delta V_{\mathrm{i}} = 0 \\ \Delta V_{\mathrm{j,k}} \neq 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega_{\mathrm{i}} \\ \omega_{\mathrm{j}}^{\mathrm{i}} \end{bmatrix} \Delta u, \qquad (7)$$

где $\omega_{\mathrm{j,к}}^{\mathrm{i}}$ — k-я строка матрицы $\Omega_{\mathrm{j}}^{\mathrm{i}}$.

Утверждение 4.

Подсистемы S_{i}, S_{j} имеют при гипотезе H_{i} независимые управления в том и только том случае, если равенство (7) выполняется для всех значений $k, k = \overline{1, m_{\mathrm{j}}}$.

Полагаем, что функции чувствительности выходного сигнала системы y по отношению к изменению значений компонент векторов $Z_{\mathrm{i}}, Z_{\mathrm{j}}$ не равны нулю.

Для проведения диагностического эксперимента необходимо получить входные сигналы системы $u^{\text{об}}, u^{\text{пр}}$ (обучающие, проверочные), обеспечивающие постоянство V_{i} и вариацию $V_{\mathrm{j,к}}$. Эти сигналы могут быть произвольными, но должны отличаться друг от друга на величину Δu, полученную из системы уравнений (7).

Задав произвольное значение $u^{\text{об}}$, получим $u^{\text{пр}} = u^{\text{об}} + \Delta u.$

Процедура проверки гипотезы H_{i}, обеспечивающая постоянство V_{i} и вариацию $V_{\mathrm{j,к}}$, следующая.

1. Подав на диагностируемую систему входной сигнал $u^{\text{об}}$, получим $\Delta y^{\text{об}}$.
2. При $u^{\text{пр}}$ получить $\Delta y^{\text{пр}}$.
3. Проверить совместимость системы уравнений

$$\begin{bmatrix} \Delta y^{\text{об}} \\ \Delta y^{\text{пр}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{\mathrm{i}}(u) \\ L_{\mathrm{i}}(u) \end{bmatrix} \Delta Z_{\mathrm{i}}. \qquad (8)$$

Если матрица $L_{\mathrm{i}}(u)$ постоянная, т.е. $L_{\mathrm{i}}(u) = L_{\mathrm{i}}$, то проверка совместности системы уравнений (8) сводится к проверке равенства $\Delta y^{\text{об}} = \Delta y^{\text{пр}}$.

Если система уравнений (8) несовместна, то гипотеза H_{i} не принимается. Если совместна, то это не противоречит гипотезе H_{i}

Окончательное решение о достоверности гипотезы H_i принимается после ее проверки при значениях $u^{\text{пр}}$, обеспечивающих вариацию всех входных сигналов подсистем, имеющих с подсистемой S_{i} независимые управления. Максимальное число входных сигналов систем при проверке гипотез H_{i} равно сумме размерностей векторов входных сигналов подсистем, имеющих с подсистемой S_{i} независимые управления. На практике число входных сигналов системы, обеспечивающих различимость подсистем с независимым управлением, значительно меньше максимального, поскольку при изменении входных сигналов одной из подсистем изменяются входные сигналы других подсистем.

Подсистемы с независимым наблюдением и управлением.

При гипотезе H_{i} выделим в исправной части системы (рис. 1) подсистему S_{j}. Обозначим $\frac{\partial y}{\partial Z_{\mathrm{j}}^{\mathrm{T}}} = L_{\mathrm{j,i}}(u)$. Пусть $L_{\mathrm{i}}(u), L_{\mathrm{j,i}}(u), V_{\mathrm{i}}$ — скалярные величины, $u = (u_1, \ldots, u_{\mathrm{m}})^{\mathrm{T}}$.

Подсистемы S_{i}, S_{j} будем называть подсистемами с *независимыми наблюдением* и *управлением*, если:

— функции $L_{\mathrm{i}}(u), L_{\mathrm{j,i}}(u)$ линейно независимы;

— функция $V_{\mathrm{i}}(u)$ линейно независима хотя бы с одной функцией $L_{\mathrm{i}}(u), L_{\mathrm{j,i}}(u)$.

В этом случае, когда неисправна подсистема S_{j}, а проверяется S_{i}, выбором u можно получить изменение значений $L_{\mathrm{i}}(u), L_{\mathrm{j,i}}(u)$ при постоянных значениях ΔZ_{i}, причем, это изменение нарушает равенство вида (4), и обеспечивает различимость указанных подсистем.

Обозначим

$$\frac{\partial V_{\mathrm{i}}}{\partial u^{\mathrm{T}}} = \Omega_{\mathrm{i}}(u), \ \frac{\partial L_{\mathrm{i}}(u)}{\partial u^{\mathrm{T}}} = d_{\mathrm{i}}(u), \ \frac{\partial L_{\mathrm{j,i}}(u)}{\partial u^{\mathrm{T}}} = d_{\mathrm{j,i}}(u).$$

Пусть $\Omega_i(u)=\Omega_i$, $d_i(u)=d_i$, $d_{j,i}(u)=d_{j,i}$. Функции $L_i(u), L_{j,i}(u)$ линейно независимы, если ранг$\begin{bmatrix} d_i \\ d_{j,i} \end{bmatrix}=2.$

Вариацию Δu входных сигналов системы u, обеспечивающую вариацию $\Delta L_i(u)$ функции $L_i(u)$ и постоянство значения V_i, можно найти из системы уравнений

$$\begin{bmatrix} \Delta V_i = 0 \\ \Delta L_i(u) \neq 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega_i \\ d_i \end{bmatrix} \Delta u \qquad (9)$$

при условии, что ранг$\begin{bmatrix} \Omega_i \\ d_i \end{bmatrix}=2.$

Для проверки гипотезы H_i, как и для подсистем с независимым управлением, формируются входные сигналы системы $u^{\text{об}}, u^{\text{пр}} = u^{\text{об}} + \Delta u$. Значение Δu, обеспечивающее вариацию одной из функций $L_i(u), L_{j,i}(u)$ и неизменность V_i, определяется из (9).

Процедура проверки гипотезы H_i следующая.

1. При $u^{\text{об}}$ определяется $\Delta y^{\text{об}}$.
2. При $u^{\text{пр}}$ определяется $\Delta y^{\text{пр}}$.
3. Проверяется совместность системы уравнений

$$\begin{bmatrix} \Delta y^{\text{пр}} \\ \Delta y^{\text{пр}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_i\left(u^{\text{об}}\right) \\ L_i\left(u^{\text{пр}}\right) \end{bmatrix} = \Delta Z_i. \qquad (10)$$

Если система уравнений (10) несовместна, то гипотеза H_i не принимается. Если — совместна, то это не противоречит гипотезе H_i.

Рассмотрим случай, когда $L_i(u), L_{j,i}(u)$ — матрицы и $L_i(u)$ имеет обратную матрицу $L^{-1}{}_i(u)$. Тогда из (4) при $L_j(u)=L_{j,i}(u)$ получим

$$\Delta Z_i(V_i)=L_i^{-1}(u)L_{j,i}(u)\Delta Z_j(V_j)=\Phi(u)\Delta Z_j(V_j).$$

Подсистемы S_i, S_j являются подсистемами с независимыми наблюдением и управлением при гипотезе H_i, если существуют входные сигналы системы, обеспечивающие неизменность V_i и вариацию хотя бы одного элемента матрицы $\Phi(u)$, являющегося сомножителем переменной $Z_{j,k}$, $k=\overline{1,n_j}$.

Определим условия, при которых подсистемы S_i, S_j обладают независимыми наблюдением и управлением. Через $\varphi_k^{\text{т}}=\left[\varphi_{k,1}(u),\ldots,\varphi_{k,n_i}(u)\right]$ обозначим k-й столбец матрицы $\Phi(u)$, $k=\overline{1,n_j}$. Получим

$$D(u)=\frac{\partial\varphi_\text{к}(u)}{\partial u^{\text{т}}}=\begin{bmatrix} d_{\text{к},1}(u) \\ \vdots \\ d_{\text{к},n_i}(u) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \dfrac{\partial\varphi_{\text{к},1}}{\partial u_1}\cdots\dfrac{\partial\varphi_{\text{к},1}}{\partial u_m} \\ \vdots \\ \dfrac{\partial\varphi_{\text{к},n_i}}{\partial u_1}\cdots\dfrac{\partial\varphi_{\text{к},n_i}}{\partial u_m} \end{bmatrix}.$$

Ограничим анализ системы случаем, когда матрица $D(u)$ — постоянна, т.е. $D(u)=D$.

Вариацию Δu входных сигналов u, обеспечивающих вариацию $\Delta\varphi_{k,s}$ элемента $\varphi_{k,s}$ матрицы Φ и неизменность значения V_i, можно найти из системы уравнений

$$\begin{bmatrix} \Delta V_i = 0 \\ \Delta\varphi_{\text{к},s} \neq 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega_i \\ d_{\text{к},s} \end{bmatrix} \Delta u \qquad (11)$$

при условии, что существует такое значение S, зависящее в общем случае от k, что

$$\text{ранг}\begin{bmatrix} \Omega \\ d_{\text{к},s} \end{bmatrix} = \text{ранг}\,\Omega_i + 1. \qquad (12)$$

Подсистемы S_i, S_j при гипотезе H_i обладают независимыми наблюдением и управлением, если условие (12) выполняется для всех значений $k=\overline{1,n_j}$.

Если подсистемы S_i, S_j имеют независимые наблюдения и управления, то они различимы для широкого класса неисправностей [3]. В процедуре проверки гипотезы H_i значение Δu определяется по формуле (11).

Независимость наблюдений или управлений подсистем являются достаточным, но не необходимым условием различимости их параметров. Поэтому, для оценки различимости параметров подсистем, необходимо проводить дополнительные исследования.

Выводы

Для различных случаев безынерционных систем предложены гипотезы (критерии) поиска неисправных подсистем. Гипотезы позволяют выполнить диагностирование систем при ограниченном доступе к их внутренним точкам, и основаны на анализе входных и выходных сигналов систем. Диагностирование может быть выполнено при локализации как одной, так и нескольких неисправных подсистем.

Список использованной литературы

1. Казак, В. М. Основи експрес-діагностування [Текст] / В. М. Казак, А. К. Зюзько. — К.: Наукова думка, 2005 — 164 с.
2. Алексеев, М. А. Функциональный контроль энергообъектов с применением субоптимальных ортогональных преобразований [Текст] / М. А. Алексеев // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. НГА України, № 4. — Дніпропетровськ: НАНУ. — 1998. — С. 67—79.
3. Лепеш, Г. В. Оперативный контроль и диагностика оборудования [Текст] / Г. В. Лепеш, В. Н. Куртов, Н. Г. Мотылев и др. // Технико-технологические проблемы сервиса. — 2009. — № 3 (9). — С. 8—16.
4. Гольдман, Р. С. Исследование вопросов различимости систем [Текст] / Р. С. Гольдманг, Ю. С. Москаленко. — М.: Наука, 2008. — 317 с.
5. Махутов, Н. А. Техногенный риск, надежность и диагностика технических систем: подходы, модели, методы [Текст] / Н. А. Махутов, В. В. Заринный, В. Б. Альгин // Механика механизмов, машин и материалов. — 2012. — № 3 – 4. — С. 67—85.
6. Saeks R. Fault isolation via components simulation [Text] / R. Saeks., S. P. Singh, R. W. Liu //IEEE Trans. Circuite Theory. V. 19. — 2012. — № 6. — P. 634—640.

References

1. Kazak, V. M., Zyzko A. K. (2005) Fundamentals of rapid diagnostics [Osnovy ekspres-diagnostuvannja] Kyiv, Ukraine, *Naukova dumka* Publ., 164 p. (In Ukrainian).
2. Alekseev, M. A. (1998) Functional control of power facilities using suboptimal orthogonal transformations [Funkcionalnyi control energoob'ektov cs primeneniem suboptimalnyh ortogonalnyh preobrazovanii] Systemy obrobky informatsii, Dnepropetrovsk, Ukraine *"Nationalna academia nauk Ukrainy"* Publ., № 4, pp. 67—79 (In Russian).
3. Lepesh, G. V., Kurtov, V. N., Motylev, N. G. (2009) Operational control and diagnostics of equipment [Operatyvnyi control I dyagnostika oborudovania] Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa, Moskow, Russian Federation, *Izd "Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa"* Publ., № 3 (9), pp. 8—16.
4. Goldman, R. S., Moskalenko, Uy., S. (2008) Investigation of the issues of distinguish ability of systems [Issledovanie voprosov razlichimosti system] Moskow, Russian Federation, *Nauka* Publ., 317 p. (In Russian).
5. Mahutov, N. A., Zarinnyi, V. V., Algin, V. B. (2012) Technogenic risk, reliability and diagnostics of technical systems: approaches, models, methods [Tehnogennyi risk, nadeshnost s dyagnostika tehnicheskih system: podhody, modeli, metody] Moskow, Russian Federation, *Izd "Mehanica mehanizmov, mashin I materialov"* Publ., , № 3–4, pp. 67—85. (In Russian).
6. Saeks, R., Singh, S. P., Liu, R. W. (1972) Fault isolation via components simulation // IEEE Trans. Circuite Theory. V. CT–19. № 6. P.634–640.

LOCALIZATION OF FAULTY FRAGMENTS IN THE DIAGNOSIS OF NONINERCIAL SYSTEMS

A. Verlan[1], S. Polozhaenko[2]

[1] *Institute for Modeling in Energy Engineering. GE Pukhov NAS Ukraine,*

[2] *Odesa National Polytechnic University*

Abstract*. In practical applications, objects with directional (system) and non-directional (chain) signal propagation can be distinguished as typical objects of diagnosis. The first include, for example, continuous control systems, to the second - electrical circuits. To date, not fully solved problem, which has important applied applications, it is necessary to consider, in particular, the diagnosis of systems with limited access to their internal points. Methods for diagnosing continuous inertial-free systems for a wide range of faults are considered with allowance for limited access to the internal points of the diagnosed systems. Diagnosed malfunctions are presented as parametric, that is, leading only to changes in the parameters of the systems under study and structural ones, which change some part of the object (subsystem) in an arbitrarily* *arbitrary manner. Definitions are formulated that make it possible to distinguish (distinguish) systems based on the properties of observables and controllability. At the same time, problems of fault location in classes of subsystems with independent supervision, subsystems with independent control and subsystems with independent supervision and control were investigated. The criteria for the distinguish ability of subsystems, to the accuracy of which the fault location is established, are given.*

***Key words**: diagnostics, fault isolation, legless system, observables of systems criteria for distinguishing*

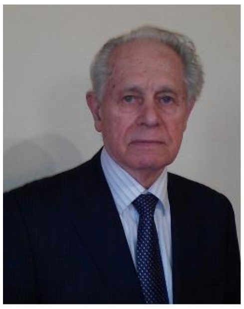
ЛОКАЛІЗАЦІЯ НЕСПРАВНИХ ФРАГМЕНТІВ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ БЕЗІНЕРЦІЙНИХ СИСТЕМ

А. Ф. Верлань[1], С. А. Положаєнко[2]
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України,
[2] Одеський національний політехнічний університет

***Анотація**. Розглядаються методи діагностування неперервних систем для широкої групи несправностей з урахуванням обмеженого доступу до внутрішніх точок систем, що діагностуються. При цьому досліджено питання локалізації несправностей в класах підсистем зі спостереженням та управлінням. Наведено критерії розрізнення підсистем, з точністю до яких встановлюється місце несправності.*

***Ключові слова**: діагностування, локалізація несправностей, безінерційні системи, спостережуваність систем, критерії розрізнення*

Получено: 14.05.2017



Верлань Анатолий Федорович. Доктор технических наук, профессор. Заведующий отделом моделирования динамических систем. Институт проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины, ул. Генерала Наумова, 15, г. Киев, Украина
Тел. +380-067-995-66-73 E-mail: afverl@gmail.com
orcid.org/0000-0002-6469-2638

Verlan Anatolii Fedorovich Doctor of Technical Sciences, Professor. Head of the Department of Modeling Dynamic systems.
Institute of Modeling Problems in Power Engineering named after. G. Ye. Pukhova of the NAS of Ukraine, Generala Naumova St., 15, Kiev, Ukraine. Tel. +380-067-995-66-73 E-mail: afverl@gmail.com
orcid.org/0000-0002-6469-2638

Положаенко Сергей Анатольевич. Доктор технических наук. Профессор Заведующий кафедрой компьютеризированных систем управления Одесский национальный политехнический университет пр-т Шевченко, 1, г. Одесса, Украина Тел. +380-318-47-54
E-mail: polozhaenko@mail.ru
orcid.org/0000-0002-4082-8270

Polozhaenko Sergii Anatolievich/ Doctor of Technical Sciences, Professor. Head of the Department of Computerized Control Systems Odessa National Polytechnic University Shevchenko Ave., 1, Odessa, Ukraine
Tel. +380-318-47-54 E-mail: polozhaenko@mail.ru
orcid.org/0000-0002-4082-8270