$$l_{sys} = (1-C)\sum_k l^k_{\text{mod}} + l_{sf}\,, \qquad (5)$$

где коэффициент C определяется как отношение количества сбоев, устраненных отказоустойчивой системой, к общему количеству сбоев в системе. Данный коэффициент не имеет математического описания и получается опытным путем, например, с использованием имитации сбоев и ошибок в системе [2].

Анализ результатов

В заключение в качестве иллюстрации рассмотрим следующий пример.

Предположим, что в АПК возможно применение аппаратной избыточности (дублирования) и мультиверсионной избыточности ПО.

Исходные данные имеют следующие обозначения:

- количество процессоров: M;
- количество версий ПО: N;
- надежность одного аппаратного модуля: Pi , (i=1,…, M);
- стоимость одного аппаратного модуля: Cpi , (i=1,…, M);
- надежность одной версии ПО: Rj, (j=1,…, N);
- стоимость одной версии ПО: Crj, (j=1,…, N);
- среднее время появления сбоя [3] MTTF= max(MTTFj), (j=1,…, N).

Надежность аппаратно-программного комплекса:

$$W_{sys} = (1-\prod_i (1-Pi))(1-\prod_j (1-Rj)). \qquad (6)$$

Стоимость аппаратно-программного комплекса:

$$C_{sys} = \sum_i Cpi + \sum_J Crj\,. \qquad (7)$$

Таблица 1. Пример расчета надежности АПК для разных вариантов архитектур ПО

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
M	1	3	1	3
Pi	0,9	0,9	0,9	0,9
Cpi	500	500	500	500
N	1	1	3	3
Rj	0,8	0,8	0,8	0,8
Crj	200	200	200	200
W	0,720	0,799	0,893	0,991
C	700	1700	1100	2100

Из приведенной таблицы видно, что самый надежный вариант – последний, однако, очевидно, он же обладает и максимальной стоимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jong Gyun Choi, Hyun Gook Kang. “Reliability Estimation of Nuclear Digital I&C System using Software Functional Block Diagram and Control Flow”. FastAbstract ISSRE Copyright 2000.
2. Telmo Menezes, Diamantino Costa. “On the Extention of Exeption to Support Software Fault Models”. FastAbstract ISSRE Copyright 2000.
3. Ковалев И.В., Юнусов Р.В. Оценка надежности аппаратно-программного информационно-управляющего комплекса. САКС-2002: Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (6-7 дек. 2002, Красноярск)/ СибГАУ. Красноярск, 2002. С. 352-353.
4. Ковалев И.В., Алимханов А.М., Юнусов Р.В. Мультиверсионный метод повышения качества программно-информационных технологий для корпоративных структур//Россия в III тысячелетии: Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научной конференции/ Изд-во АМБ, Екатеринбург, 2002. С. 171-173.

РОБАСТНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИСКРЕТНО - ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ

Зюзина Н.Ю.

Рассматривается класс систем управления, структура (режим) которых скачкообразно изменяется во времени в соответствии с эволюцией однородной Марковской цепи. В каждом фиксированном состоянии (режиме) объект управления описывается разностным уравнением. В момент скачкообразного изменения режима вектор состояния объекта может изменяться скачком. Число режимов конечно и процесс смены режимов доступен наблюдению. Получено условие стабилизации системы в управлении со статической обратной связью по выходу объекта, переключаемой синхронно со сменой режима, которое стабилизирует систему в случае неопределенности параметров смены режима.

Рассмотрим дискретно – импульсную систему управления, математическая модель которой описывается семейством уравнений

$$\begin{aligned} &\overline{\mathbf{x}_{n+1}} = [\mathbf{A}(r_n) + \mathbf{F}(r_n)\Omega(n, r_n)\mathbf{E}(r_n)]\mathbf{x}_n + \mathbf{B}(r_n)\mathbf{u}_n, \\ &\mathbf{y}_n = \mathbf{C}(r_n)\mathbf{x}_n, \\ &\mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{\Phi}_{ij}\overline{\mathbf{x}_{n+1}}, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $\mathbf{x}_n$ – n-мерный вектор состояния объекта; $\mathbf{u}_n$ – k-мерный вектор управления; $\mathbf{y}_n$ – s-мерный вектор выхода объекта; r_n – однородное дискретное состояние цепи Маркова, описывающее процесс смены режима объекта на множестве $N = \{1,2,\mathbf{K},n\}$ и матрицей вероятностей перехода $\mathbf{P} = [P_{ij}]_1^n$ от режима $r_n = i$ до режима $r_{n+1} = j$; $\mathbf{A}_i, \mathbf{B}_i, \mathbf{E}_i, \mathbf{F}_i$ $(i \in \mathrm{N})$ – известные матрицы соответствующих размеров; $\mathbf{\Omega}(n,r_n)$ – матрица неопределенных параметров, удовлетворяющая для каждого n и r_n неравенству

$$\mathbf{I}-\mathbf{\Omega}^{\mathrm{T}}(n,r_n)\mathbf{\Omega}(n,r_n)\geq 0; \qquad (2)$$

$\mathbf{\Phi}_{ij}$, $(i,j\in \mathrm{N})-$ $n\times n$ постоянные матрицы, такие, что $\mathbf{\Phi}_{ii}=\mathbf{I}$; эти матрицы описывают импульсное изменение вектора состояния объекта управления в момент смены режима $r_n=i$ на $r_{n+1}=j$.

Будем предполагать, что вектор выхода $\mathbf{y}_n$ и процесс смены режима r_n доступны наблюдению.

Рассмотрим линейное управление со статической обратной связью по выходу объекта, синхронно переключаемой со сменой режима:

$$\mathbf{u}_n=-\mathbf{K}(i)\mathbf{y}_n \text{ если } r_n=i \qquad (3)$$

такое, что для каждого фиксированного $i\in N$ выражение (3) стабилизирует управление для детерминированной системы

$$\overline{\mathbf{x}_{n+1}}=\mathbf{A}(i)\mathbf{x}_n+\mathbf{B}(i)\mathbf{u}_n,$$

$$\mathbf{y}_n=\mathbf{C}(i)\mathbf{x}_n,$$

или, другими словами, такое, что матрица

$$\mathbf{A}_c(i)=\mathbf{A}(i)-\mathbf{B}(i)\mathbf{K}(i)\mathbf{C}(i) \qquad (i\in \mathrm{N})$$

является матрицей, собственные значения которой лежат в левой полуплоскости.

Матрица $\mathbf{K}(i)$ может быть получена при помощи известных методов решения проблем управления с детерминированной статической обратной связью по выходу.

Определим условия, которым должны удовлетворять управление (3), чтобы обеспечить стабилизацию в среднем квадратическом системы случайной структуры (1) для всех неопределенностей параметров объекта, удовлетворяющих (2). Такое управление назовем робастным стабилизирующим.

Для этого рассмотрим упрощенную систему

$$\overline{\mathbf{x}_{n+1}}=\mathbf{A}_c(i)\mathbf{x}_n+\mathbf{F}(i)\mathbf{v}_n,$$
$$\mathbf{x}_{n+1}=\mathbf{\Phi}_{ij}\overline{\mathbf{x}_{n+1}}, \qquad (4)$$

где $\mathbf{v}_n-$ случайный вектор.

Если

$$\mathbf{v}_n=\Omega(n,i)\mathbf{E}(i)\mathbf{x}_n \qquad (i\in \mathrm{N}),$$
$$\mathbf{A}_c(i)=\mathbf{A}(i)-\mathbf{B}(i)\mathbf{K}(i)\mathbf{C}(i) \qquad (i\in \mathrm{N}), \qquad (5)$$

то система (4) совпадает с исходной системой (1).

Тогда условия существования робастного стабилизирующего управления с обратной связью по состоянию для системы (4), задаются следующей теоремой.

ТЕОРЕМА. *Пусть матрица* $\mathbf{M}(i)=\mathbf{M}^{\mathrm{T}}(i)$ *– положительно полуопределенная матрица,* g *– некоторый положительный скаляр, для которого выполнено условие*

$$g\,\mathbf{I}-\mathbf{F}^{\mathrm{T}}(i)\mathbf{S}(i)\mathbf{F}(i)>0.$$

Тогда, если положительно определенная матрица $\mathbf{H}(i)$ $i\in \mathrm{N}$ *удовлетворяет неравенству*

$$\mathbf{A}_c^{\mathrm{T}}(i)\mathbf{S}(i)\mathbf{A}_c(i)+\mathbf{A}_c^{\mathrm{T}}(i)\mathbf{S}(i)\mathbf{F}(i)(g\,\mathbf{I}-\mathbf{F}^{\mathrm{T}}(i)\mathbf{S}(i)\mathbf{F}(i))^{-1}\times$$
$$\mathbf{F}^{\mathrm{T}}(i)\mathbf{S}(i)\mathbf{A}_c(i)+-\mathbf{H}(i)+\mathbf{M}(i)+g\,\mathbf{E}^{\mathrm{T}}(i)\mathbf{E}(i)<0,$$

где $\mathbf{S}(i)=\sum_{j=1}^{n}\mathbf{\Phi}_{ij}^{\mathrm{T}}\,\mathrm{H}(j)\,\mathrm{P}_{ij}\mathbf{\Phi}_{ij}=\mathbf{S}^{\mathrm{T}}(i)$

то линейное управление со статической обратной связью по выходу объекта (3), *является робастным стабилизирующим управлением.*

Получили условие робастной стабилизации системы (4), которая при условии (5) переходит в систему (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pakshin P.V.* Robust output feedback control of nonlinear systems with random jumps//Proceedings of 15th IFAC World Congress. Barcelona. Spain, 2002 p 1-6 (CD ROM).

2. *Поляк Б.Т., Щербаков П.С.* Робастная устойчивость и управление. М.: Наука,2002.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОРПУСОВ АППАРАТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛОКАЛЬНОЙ МОМЕНТНОЙ НАГРУЗКИ

Павлова О.Г.
Московский государственный университет инженерной экологии

Тонкостенные сосуды и аппараты находят широкое применение в химической, нефтехимической и в смежных отраслях промышленности. В условиях эксплуатации тонкостенные элементы оборудования воспринимают сложный комплекс силовых воздействий, в том числе и локальных, к которым они весьма чувствительны. Воздействие локальных нагрузок приводит к возникновению повреждений в конструкционном материале, нарушению исходной структуры, зарождению, локализации и слиянию пор, образованию и развитию микротрещин, что может привести к спонтанному разрушению корпуса аппарата, сопровождающемуся выбросами в окружающую среду, и, как следствие, - к экологической аварии. Непрерывный рост рабочих параметров установок, связанный с интенсификацией технологических процессов, и необходимость обеспечения экологической безопасности определяют актуальность проблемы оперативного анализа несущей способности тонкостенных сосудов и аппаратов при локальных силовых воздействиях.