

**ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕКАЧКОЙ БАЛАНСИРОВОЧНОГО ТОПЛИВА
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

© 2006 Н.А. Смурова

ФГУП «Завод имени В.Я. Климова», г. Санкт – Петербург

Статья посвящается разработке графических методов построения аналитической модели, описывающих динамику процесса управления. Формирование взаимосвязанных управляющих воздействий осуществляется с учетом существующей связи состояний управляющих и исполнительных элементов с изменением во времени состояния системы управления. Формирование измерительно–информационной модели рассматриваемого класса систем автоматического управления основывается на выявлении признаков, по которым в схему управления должны быть введены алгоритмы формирования воздействий по состоянию управляющих элементов, однозначно не определяющих поведение системы.

В целях формирования измерительно-информационных моделей для класса объектов с высокой ценой отказа, в которых несколько управляющих элементов формируют воздействия, характеризуемые логикой, направленной на выполнение системой управления конкретной функции, одновременно на один или несколько исполнительных элементов, осуществляется:

-установление связи состояния как управляющих, так и исполнительных элементов с изменением во времени состояния системы управления;

-определение набора алгоритмов, необходимого и достаточного для прогнозирования состояния системы управления;

-анализ алгоритмов управления исполнительными элементами по состоянию двух и трех управляющих элементов, сочетание состояний которых однозначно не определяет состояние системы управления;

-разработка математической модели восстанавливаемой системы для каждого из сформулированных состояний системы управления с учетом как частичных, так и полных отказов управляющих элементов;

-сопряжение моделей, построенных для возможных состояний системы управления, осуществляемое в точках, где состояния исполнительного элемента различных моделей адекватны.

В работе рассматривается резервируемая система, состоящая из четырех управляющих и двух исполнительных элементов. Схема размещения управляющих элементов в центровочном баке летательного аппарата приведена на рисунке 3. При фор-

мировании сигналов управления обеспечивается:

-дублирование сигналов включения и выключения любого исполнительного элемента по состоянию двух управляющих элементов каждой подсистемы;

-дублирование сигналов выключения двух исполнительных элементов при срабатывании первого управляющего элемента любой подсистемы и одновременном несрабатывании вторых управляющих элементов.

Сущность методики состоит в разработке графических методов построения аналитической модели (системы уравнений), определяющих динамику процесса управления. Модель восстанавливаемой системы, построенная для состояния системы управления «Бак полный» с учетом частичных и полных отказов управляющих элементов, приведена на рисунке 1. При решении задачи анализируется система управления, состоящая из элементов с четырьмя состояниями: срабатывание (норма), несрабатывание (отказ), ложное срабатывание, несрабатывание (норма). Классификация состояний элементов должна осуществляться в соответствии с тремя возможными состояниями системы управления. Каждый исполнительный элемент может находиться в любом из четырех возможных состояний: нормальное выключение, ложное, нормальное включение, промежуточное состояние. Включение исполнительного элемента определяется любым из трех видов его состояний: ложным, нормальным включением, промежуточным. При разработке математической модели системы управления необходимо учесть, что проме-

жуточное состояние исполнительного элемента может сменяться любым из трех возможных видов состояний: нормальным включением, нормальным выключением, ложным. Это определяется независимостью отказов управляющих элементов. В процессе смены состояний исполнительного элемента за состоянием нормального включения следует единственно возможное состояние его нормального выключения. При разработке модели восстанавливаемой системы автоматического управления необходимо:

- выделить состояния управляющих элементов для каждого из рассматриваемых состояний системы управления;

- установить доминирование состояний управляющих элементов, зависящее от изменения состояния системы управления. Доминирующее состояние управляющего элемента, являющееся нормой или отказом, поглощает частичный отказ любого вида другого управляющего элемента подсистемы. Физическое восстановление частичного отказа управляющего элемента в системе не осуществляется;

- считать самовосстанавливающимся отказом отказ каждого управляющего элемента в случае перехода исполнительного элемента из состояния нормального выключения в любое из двух возможных его состояний: промежуточного, ложного;

- установить возможность существования поглощаемых состояний системы.

В случае если при разработке математической модели отсутствуют значения удельных весов видов отказов управляющих элементов, необходимо:

- построение модели резервированной системы в виде таблицы функций неисправностей. Она представляет собой совокупность таблиц истинности исправной системы и всех ее неисправных модификаций и таблицы истинности возможных состояний исполнительных элементов. Разработка таблиц истинности должна осуществляться для каждого набора алгоритмов управления;

- выделение групп алгоритмов, функцию запрета которых при формировании управляющих воздействий должно выполнять соответствующее состояние системы управления. При анализе этих групп должно определяться подмножество технических со-

стояний, в которых не могут быть обнаружены последствия отказов элементов системы;

- выявление признаков, по которым в схему управления должны быть введены алгоритмы формирования воздействий по состоянию управляющих элементов, однозначно не определяющих поведение системы. В этом случае состояние системы управления выполняет функцию запрета состояния исполнительного элемента;

- разработка матрицы переходов - выходов абстрактного конечного автомата Мили;

- составление таблицы истинности структурного автомата.

Схема структурного автомата, приведенная на рисунке 2, состоит из выделенной комбинационной части и блока памяти. Входным алфавитом структурного автомата Мили является:

- совокупность символов состояний управляющих элементов X_v (набор значений входных переменных X_1, X_2, \dots, X_n);

- текущее значение массы топлива в центровочном баке m_6 .

Выходным алфавитом автомата являются совокупность символов:

- функций управления насосами $Z_{i,v} = F_{Z_i}(X_v, Y_v)$ для всех $i = 1, 2, \dots, k$;

- функций неисправности системы автоматического управления $I_{s,v} = F_{I_s}(X_v, Y_v)$ для всех $s = 1, 2, \dots, r$.

Входами памяти, на которых реализуются функции возбуждения, являются совокупность символов:

- состояний системы управления $W_{g,v} = F_{W_g}(m_6, Y_v)$ для всех $g = 1, 2, \dots, \beta$;

- состояний исполнительных элементов $U_{\alpha,v} = F_{U_\alpha}(X_v, Y_v)$ для всех $\alpha = 1, 2, \dots, p$.

Выходами памяти, которым соответствуют внутренние переменные конечного автомата, являются совокупности символов, отображающих функции изменения структуры проектируемой системы управления перекачкой топлива $Y_{j,v+1} = F_{Y_j}(X_v, Y_v)$ для всех $j = 1, 2, \dots, m$. Анализ алгоритмов управления, осуществляемый без наложения и с использованием дополнительных ограничений, предусматривает применение расширенного табличного метода для оценки последствий отказов систем управления.

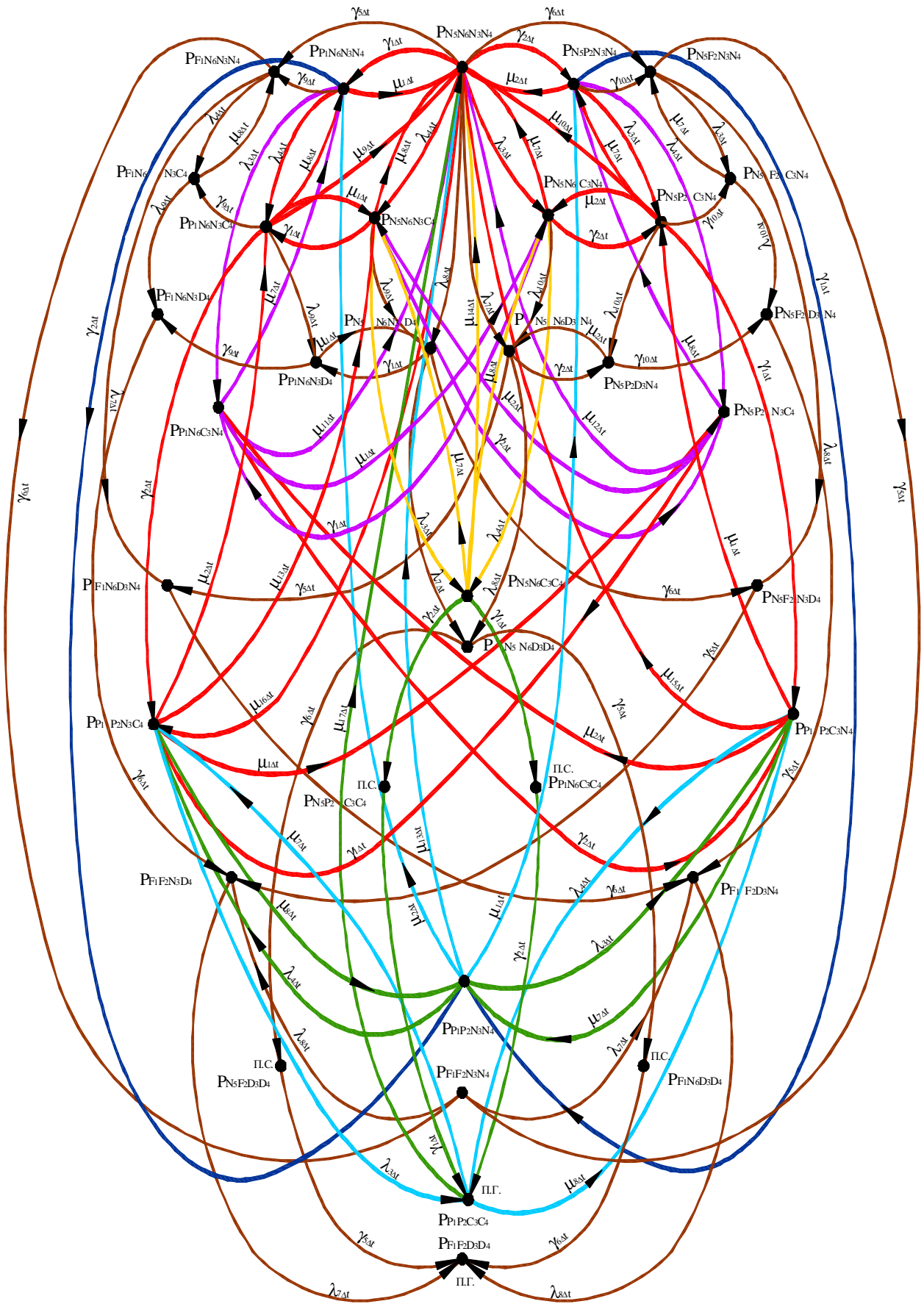


Рис. 1. Модель восстанавливаемой системы с двумя исполнительными и четырьмя управляющими элементами с четырьмя состояниями (Случай 2. Частичные и полные отказы. Состояние системы управления «Бак полный»)

В схеме, изображенной на рисунке 1, приняты следующие обозначения:

$P_{(i)(j)(k)}(t)$ – вероятность того, что в момент времени t система находится в рассматриваемом состоянии; N_i – рабочее состояние вида «срабатывание» четырех управляющих элементов, $i=1, 2, 3, 4$; ($N_1 \rightarrow$ Сраб. УЭ1; $N_2 \rightarrow$ Сраб. УЭ2; $N_3 \rightarrow$ Сраб. УЭ3; $N_4 \rightarrow$ Сраб. УЭ4); N_j – состояние вида «несрабатывание» четырех управляющих элементов, соответствующих норме для конкретного состояния системы, $j = 5, 6, 7, 8$; ($N_5 \rightarrow$ Несраб. УЭ1 (норма); $N_6 \rightarrow$ Несраб. УЭ2 (норма); $N_7 \rightarrow$ Несраб. УЭ3 (норма); $N_8 \rightarrow$ Несраб. УЭ4 (норма)); C_1 – состояние частичного отказа вида «несрабатывание» первого управляющего элемента с четырьмя состояниями; C_2 – состояние частичного отказа вида «несрабатывание» второго управляющего элемента с четырьмя состояниями; C_3 – состояние частичного отказа вида «несрабатывание» третьего управляющего элемента с четырьмя состояниями; C_4 – состояние частичного отказа вида «несрабатывание» четвертого управляющего элемента с четырьмя состояниями; P_1 – состояние частичного отказа вида «ложное срабатывание» первого управляющего элемента с четырьмя состояниями; P_2 – состояние частичного отказа вида «ложное срабатывание» второго управляющего элемента с четырьмя состояниями; P_3 – состояние частичного отказа вида «ложное срабатывание» третьего управляющего элемента с четырьмя состояниями; P_4 – состояние частичного отказа вида «ложное срабатывание» четвертого управляющего элемента с четырьмя состояниями; D_1 – состояние полного отказа вида «несрабатывание» первого управляющего элемента с четырьмя состояниями; D_2 – состояние полного отказа вида «несрабатывание» второго управляющего элемента с четырьмя состояниями; D_3 – состояние полного отказа вида «несрабатывание» третьего управляющего элемента с четырьмя состояниями; D_4 – состояние полного отказа вида «несрабатывание» четвертого управляющего элемента с четырьмя состояниями; F_1 – состояние полного отказа вида «ложное срабатывание» первого управляющего элемента с четырьмя состояниями; F_2 – состояние полного отказа вида «ложное срабатывание» второго управляющего элемента с четырьмя состояниями; F_3 – состояние полного отказа вида «ложное срабатывание» третьего управляющего элемента с четырьмя состояниями; F_4 – состояние полного отказа вида «ложное срабатывание» четвертого управляющего элемента с четырьмя состояниями; λ_i – постоянная интенсивность частичных отказов вида «несра-

батывание», $i = 1, 2, 3, 4$; / $\lambda_1 \rightarrow$ Несраб. УЭ1 (частичный отказ); $\lambda_2 \rightarrow$ Несраб. УЭ2 (частичный отказ); $\lambda_3 \rightarrow$ Несраб. УЭ3 (частичный отказ); $\lambda_4 \rightarrow$ Несраб. УЭ4 (частичный отказ); γ_i – постоянная интенсивность частичных отказов вида «ложное срабатывание», $i = 1, 2, 3, 4$; / $\gamma_1 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ1 (частичный отказ); $\gamma_2 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ2 (частичный отказ); $\gamma_3 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ3 (частичный отказ); $\gamma_4 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ4 (частичный отказ); μ_i – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «ложное срабатывание», $i = 1, 2, 3, 4$; / $\mu_1 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ1 (частичный отказ); $\mu_2 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ2 (частичный отказ); $\mu_3 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ3 (частичный отказ); $\mu_4 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ4 (частичный отказ); μ_j – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «несрабатывание», $j = 5, 6, 7, 8$; / $\mu_5 \rightarrow$ Несраб. УЭ1 (частичный отказ); $\mu_6 \rightarrow$ Несраб. УЭ2 (частичный отказ); $\mu_7 \rightarrow$ Несраб. УЭ3 (частичный отказ); $\mu_8 \rightarrow$ Несраб. УЭ4 (частичный отказ); γ_j – постоянная интенсивность полных отказов вида «ложное срабатывание», $j = 5, 6, 7, 8$; / $\gamma_5 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ1 (полный отказ); $\gamma_6 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ2 (полный отказ); $\gamma_7 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ3 (полный отказ); $\gamma_8 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ4 (полный отказ); λ_j – постоянная интенсивность полных отказов вида «несрабатывание», $j = 5, 6, 7, 8$; / $\lambda_5 \rightarrow$ Несраб. УЭ1 (полный отказ); $\lambda_6 \rightarrow$ Несраб. УЭ2 (полный отказ); $\lambda_7 \rightarrow$ Несраб. УЭ3 (полный отказ); $\lambda_8 \rightarrow$ Несраб. УЭ4 (полный отказ); μ_9 – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов первого управляющего элемента вида «ложное срабатывание» и четвертого управляющего элемента вида «несрабатывание» / $\mu_9 \rightarrow$ Л.сраб. УЭ1, Несраб. УЭ4; μ_{10} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов второго управляющего элемента вида «ложное срабатывание» и третьего управляющего элемента вида «несрабатывание» / $\mu_{10} \rightarrow$ Л.сраб. УЭ2, Несраб. УЭ3; μ_{11} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов первого управляющего элемента вида «ложное срабатывание» и третьего управляющего элемента вида «несрабатывание» / $\mu_{11} \rightarrow$ Л.сраб. УЭ1, Несраб. УЭ3; μ_{12} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов второго управляющего элемента вида «ложное срабатывание» и четвертого управляющего элемента вида «несрабатывание» / $\mu_{12} \rightarrow$ Л.сраб. УЭ2, Несраб. УЭ4; μ_{13} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «ложное срабатывание» первого и второго управляющих элементов / $\mu_{13} \rightarrow$ Л.сраб. УЭ1, Л.сраб. УЭ2; μ_{14} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «несрабатывание» третьего и четвертого управляющих элементов / $\mu_{14} \rightarrow$ Не-

сраб. УЭЗ, Несраб. УЭ4/; μ_{15} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «ложное срабатывание» первого и второго управляющих элементов и отказа вида «несрабатывание» третьего управляющего элемента / $\mu_{15} \rightarrow$ Л.сраб. УЭ1, Л.сраб. УЭ2, Несраб. УЭЗ/; μ_{16} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «ложное срабатывание» первого и второго управляющих элементов и отказа вида «несрабатывание» четвертого управляющего элемента / $\mu_{16} \rightarrow$ Л.сраб. УЭ1, Л.сраб. УЭ2, Несраб. УЭ4/; μ_{17} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «ложное срабатывание» первого и второго управляющих элементов и отказов вида «несрабатывание» третьего и четвертого управляющего элемента / $\mu_{17} \rightarrow$ Л.сраб. УЭ1, Л.сраб. УЭ2, Несраб. УЭЗ, Несраб. УЭ4/; μ_{18} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «несрабатывание» первого и четвертого управляющих элементов / $\mu_{18} \rightarrow$ Несраб. УЭ1, Несраб. УЭ4/; γ_9 – постоянная интенсивность переходов первого управляющего элемента из состояния частичного отказа в состояние полного отказа вида «ложное срабатывание» / γ_9 : Л.сраб. УЭ1 (частичный отказ) \rightarrow Л.сраб. УЭ1 (полный отказ); λ_9 – постоянная интенсивность переходов четвертого управляющего элемента из состояния частичного отказа в состояние полного отказа вида «несрабатывание» / λ_9 : Несраб. УЭ4 (частичный отказ) \rightarrow Несраб. УЭ4 (полный отказ); λ_{10} – постоянная интенсивность переходов третьего управляющего элемента из состояния частичного отказа в состояние полного отказа

вида «несрабатывание» / λ_{10} : Несраб. УЭЗ (частичный отказ) \rightarrow Несраб. УЭЗ (полный отказ); γ_{10} – постоянная интенсивность переходов второго управляющего элемента из состояния частичного отказа в состояние полного отказа вида «ложное срабатывание» / γ_{10} : Л.сраб. УЭ2 (частичный отказ) \rightarrow Л.сраб. УЭ2 (полный отказ); λ_{11} – постоянная интенсивность переходов первого управляющего элемента из состояния частичного отказа в состояние полного отказа вида «несрабатывание» / λ_{11} : Несраб. УЭ1 (частичный отказ) \rightarrow Несраб. УЭ1 (полный отказ); γ_{11} – постоянная интенсивность переходов четвертого управляющего элемента из состояния частичного отказа в состояние полного отказа вида «ложное срабатывание» / γ_{11} : Л.сраб. УЭ4 (частичный отказ) \rightarrow Л.сраб. УЭ4 (полный отказ); μ_{19} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов первого управляющего элемента вида «несрабатывание» и четвертого управляющего элемента вида «ложное срабатывание» / $\mu_{19} \rightarrow$ Несраб. УЭ1, Л.сраб. УЭ4/; μ_{20} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «несрабатывание» первого и второго управляющих элементов / $\mu_{20} \rightarrow$ Несраб. УЭ1, Несраб. УЭ2/; μ_{21} – постоянная интенсивность восстановления частичных отказов вида «ложное срабатывание» третьего и четвертого управляющих элементов / $\mu_{21} \rightarrow$ Л.сраб. УЭЗ, Л.сраб. УЭ4/; t – время; Δt – интервал времени.

Примечание. В рассматриваемой модели переходов состояний переменной величиной является интервал времени Δt .

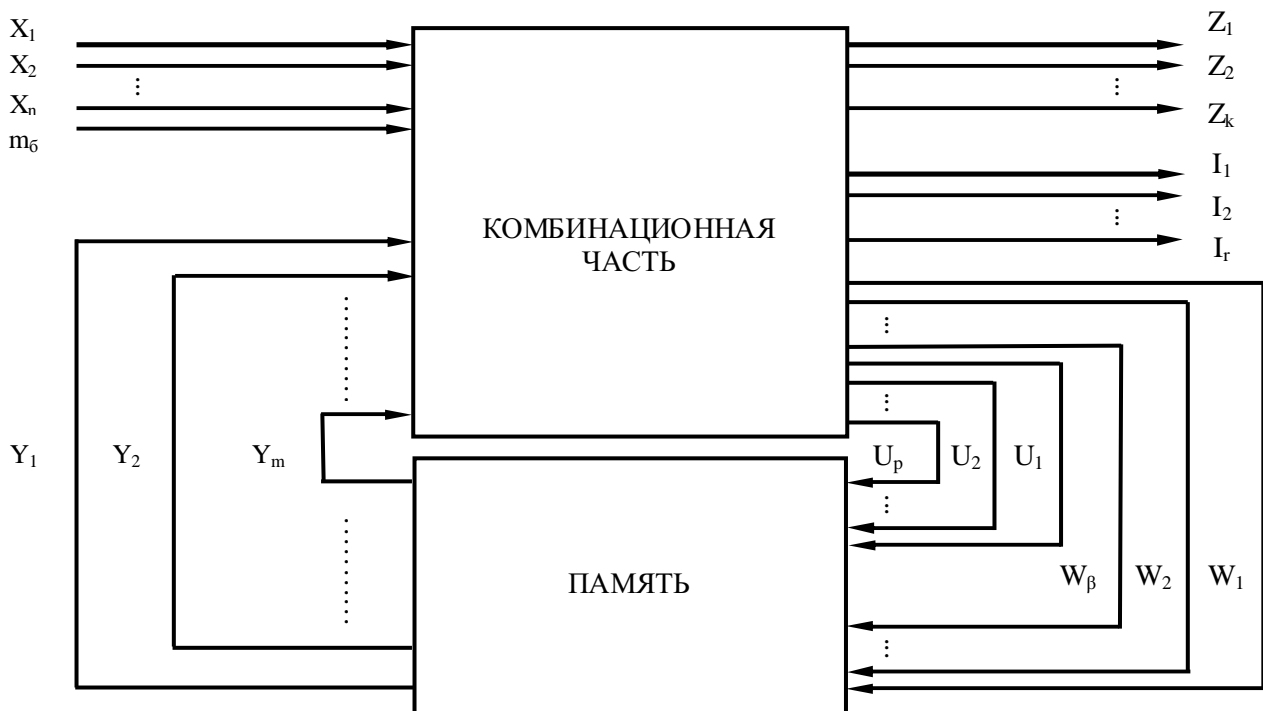


Рис. 2. Блок-схема структурного автомата Мили

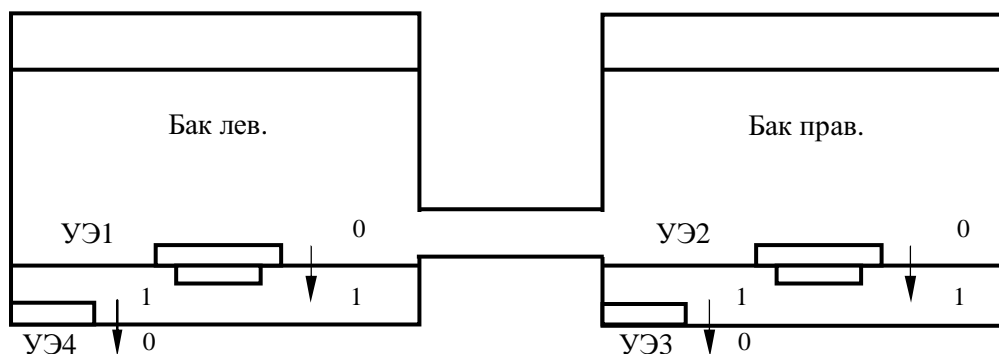


Рис. 3. Схема размещения управляющих элементов

Анализ алгоритмов управления исполнительными элементами, выполняемый с использованием дополнительных ограничений, заключается в определении видов отказов системы для каждого конкретного ее состояния с учетом состояний управляющих элементов, определенных неоднозначно рассматриваемым алгоритмом. Дополнительными ограничениями являются:

- учет состояния управляющего элемента, соответствующего норме;

- рассмотрение состояния управляющего элемента, являющегося единственно возможным отказом для данного состояния системы автоматического управления.

В этом случае анализ алгоритмов управления проводится с целью выявления возможных комбинаций отказов элементов, не учтенных в таблице несовместных состояний. Это может привести к повышению вероятностей нарушений выходных характеристик системы. Необходимо провести сравнительный анализ групп отказов элементов, приводящих к одному виду нарушения функционирования системы автоматического управления. В результате сравнения устанавливается:

- идентичность групп отказов элементов, приводящих к одному виду отказа системы. Группы отказов элементов определены

без наложения и с использованием различных видов ограничений;

- несоответствие видов отказов системы, приведенных в таблицах несовместных состояний. Несоответствие заключается в появлении отказа исполнительного элемента левой (правой) секции в случае, если не срабатывают сигнализаторы уровня топлива автомата перекачки левой (правой) секции. Наложение дополнительных ограничений при рассмотрении алгоритмов управления по состоянию управляющих элементов, неоднозначно определяющих поведение системы, характеризует это состояние системы управления в качестве работоспособного состояния. Сформулированный подход позволяет найти оптимальное решение в системе переключений для обеспечения эффективной эксплуатации системы управления.

Список литературы

1. Н.А. Смурова. Методика формализации анализа при определении рационального алгоритма управления в автоматических системах с использованием взаимосвязанных управляющих воздействий. Тематический сборник «Системный анализ при создании кораблей, комплексов вооружения и военной техники ВМФ», Санкт - Петербург, ВМА им. Н.Г. Кузнецова, выпуск 7, 1997, стр.175-181.

CONTROL ALGORITHMS OPTIMIZATION AT FORMING OF THE INTERACTED EFFECTS IN THE BALANCING FUEL TRANSFER CONTROL SYSTEM OF THE AIRCRAFT

© 2006 N.A. Smurova

The FSUE Klimov Corporation, Saint Petersburg

The article represents the development of graph methods of analytical model building, which describes the control process dynamics. The forming of the interacted control is effected taking into account the existing status of the control and actuating elements with the time changes of the control system status. The information – measuring model of this class of the automatic control system is formed according to the revealed signs. Algorithms of effects forming according to the status of the control elements, which don't characterize the system behavior unilaterally, are introduced in the control circuit according to the revealed signs.