

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время широкое распространение получили системы, в которых требуется обеспечить не только заданное движение координат регулирования, но и определенную функциональную зависимость между ними. Решение подобных задач относится к классу координируемого управления сложными динамическими объектами, позволяющих «синхронизировать» управление группой связанных каналов. Примерами таких систем могут служить системы управления многодвигательными установками летательных аппаратов, в частности системы синхροфазирования турбовинтовых двигателей.

Задачи координированного управления относятся (в иерархии задач управления) к задачам более высокого уровня, нежели традиционные задачи управления. Особенностью их является то, что в этом случае речь идет о поддержании у рассматриваемых объектов одновременно как заданных значений выходных переменных, так и заданного соотношения между ними.

Использование принципов координированного управления позволяет эффективно управлять сложными объектами в тех случаях, когда имеют место:

- а) существенные ограничения на ресурсы управления (ограниченное быстродействие и мощность исполнительных механизмов, наличие ограничений типа «физических упоров» на изменение их выходных переменных);
- б) противоречивость требований высокой точности стабилизации и необходимых запасов устойчивости динамических систем управления объектами;
- в) существенная инерционность самих управляемых объектов;
- г) различие динамических свойств управляемых объектов и т.д.

Задачи координированного управления принято разделять на две группы:

- координация на статических режимах работы системы;
- координация на динамических режимах работы системы.

Координация на статических режимах осуществляется на этапе синтеза программ управления и в настоящей диссертации не рассматривается.

Более сложной задачей является организация координированного изменения управляемых координат на динамических режимах работы. Она решается путем добавления в систему контура координации. Анализ известных работ в этой области, а это, прежде всего работы российских ученых И.В. Мирошника, О.С. Соболева, В.Т. Морозовского, П.Д. Крутько, показал, что ряд вопросов, относящихся к координированному управлению многосвязных систем, остаются не решенными. Вызвано это:

- 1) «связностью» объектов (наличием в них перекрестных связей) в сочетании с векторным входом и выходом;
- 2) наличием взаимосвязи контуров управления и координации, что приводит к сложности одновременного синтеза контуров управления, с одной стороны, и контуров координации с другой;

3) необходимостью в ряде случаев ограничения или дозирования «интенсивности» воздействий контура координированного управления на традиционный контур управления.

На основании проведенного анализа был сделан вывод о перспективности и актуальности разработки декомпозиционных алгоритмов координированного управления многосвязными объектами, основанных на идеях системного описания и анализа сложных объектов.

Цель диссертационной работы

Целью работы является повышение эффективности функционирования многосвязной системы за счет использования организации координированного изменения ее управляемых переменных.

Задачи исследования

Для достижения цели работы поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка алгоритмов декомпозиции многосвязной системы координированного управления;
2. Разработка линейных алгоритмов координированного управления многосвязным объектом;
3. Разработка релейных алгоритмов координированного управления многосвязным объектом;
4. Проведение экспериментальной проверки эффективности предложенных алгоритмов координированного управления.

Методы исследования

При решении поставленных задач в работе используются методы системного анализа, теории систем автоматического управления, методы оптимального управления, методы модального управления, методики исследования устойчивости систем управления, методы конечномерной линейной алгебры. Экспериментальная проверка теоретических результатов проводилась моделированием на ПЭВМ.

Результаты, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие результаты исследований:

- алгоритмы декомпозиции многосвязного объекта;
- линейные алгоритмы координированного управления;
- релейные алгоритмы координированного управления;
- результаты экспериментальной проверки эффективности предложенных алгоритмов координированного управления.

Научная новизна работы

Научная новизна данной работы заключается в следующем:

1. Предложено применение алгоритмов декомпозиции многосвязной системы для решения задачи синтеза координированного управления, основанных на представлении движения многосвязной системы в т.н. декомпозиционном базисе пространства переменных состояния. Это позволяет «развязать» многосвязный объект по входам (выходам) и представить его в виде совокупности n объектов с одним входом.

2. Разработаны линейные алгоритмы координированного управления многосвязным объектом, отличительной особенностью которых является использование для описания движения многосвязной системы координированного управления предложенного выше декомпозиционного базиса.

3. Разработаны релейные алгоритмы координированного управления многосвязным объектом на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина и предложенного способа декомпозиции, позволяющие учитывать имеющиеся ограничения на «интенсивность» воздействия контура координации на контур управления.

4. Предложены инженерная методика и техническое решение задачи синтеза релейных законов координированного управления для системы синхрофазирования одиночных винтовентиляторов СВ-34, особенностью которой, по сравнению с базовой системой синхрофазирования, является использование в качестве дополнительной управляемой переменной величины разности фаз вращения двух ВВ.

Практическая ценность

Результаты исследования предложенных подходов могут быть использованы при разработке перспективных систем управления ряда сложных объектов и процессов, как-то системы синхрофазирования ТВВД самолетов транспортной и пассажирской авиации, системы управления технологическими процессами в нефтеперерабатывающей промышленности и др.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 8-й международной конференции CSIT'2006, Уфа, 2006; VII Международной научно-технической конференции, Самара, 2006; Региональной зимней школе-семинаре аспирантов и молодых ученых, Уфа, 2007. Кроме того, основные положения работы докладывались на семинарах кафедры информатики.

Список публикаций по теме диссертации включает 5 научных трудов, в том числе 3 статьи и 2 тезисов докладов на научных конференциях. Одна работа опубликована в рецензируемом издании из списка ВАК.

Основные результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс в Уфимском государственном авиационном техническом университете и используются при чтении дисциплины «Управление сложными объектами» для специальности 072200 (230301) «Моделирование и исследование операций в организационно-технических системах».

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 146 листах машинописного текста, включая иллюстрации, таблицы и список используемой литературы из 90 наименований.

Благодарности

Автор выражает благодарность канд. техн. наук, доц. И.В. Кузнецову за консультации в процессе написания и подготовки диссертации к защите.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируются задачи и цели исследования, отмечается научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе разрабатываются декомпозиционные алгоритмы линейного координированного управления многосвязными объектами.

Рассматривается система координированного управления многосвязным объектом (рис. 1).

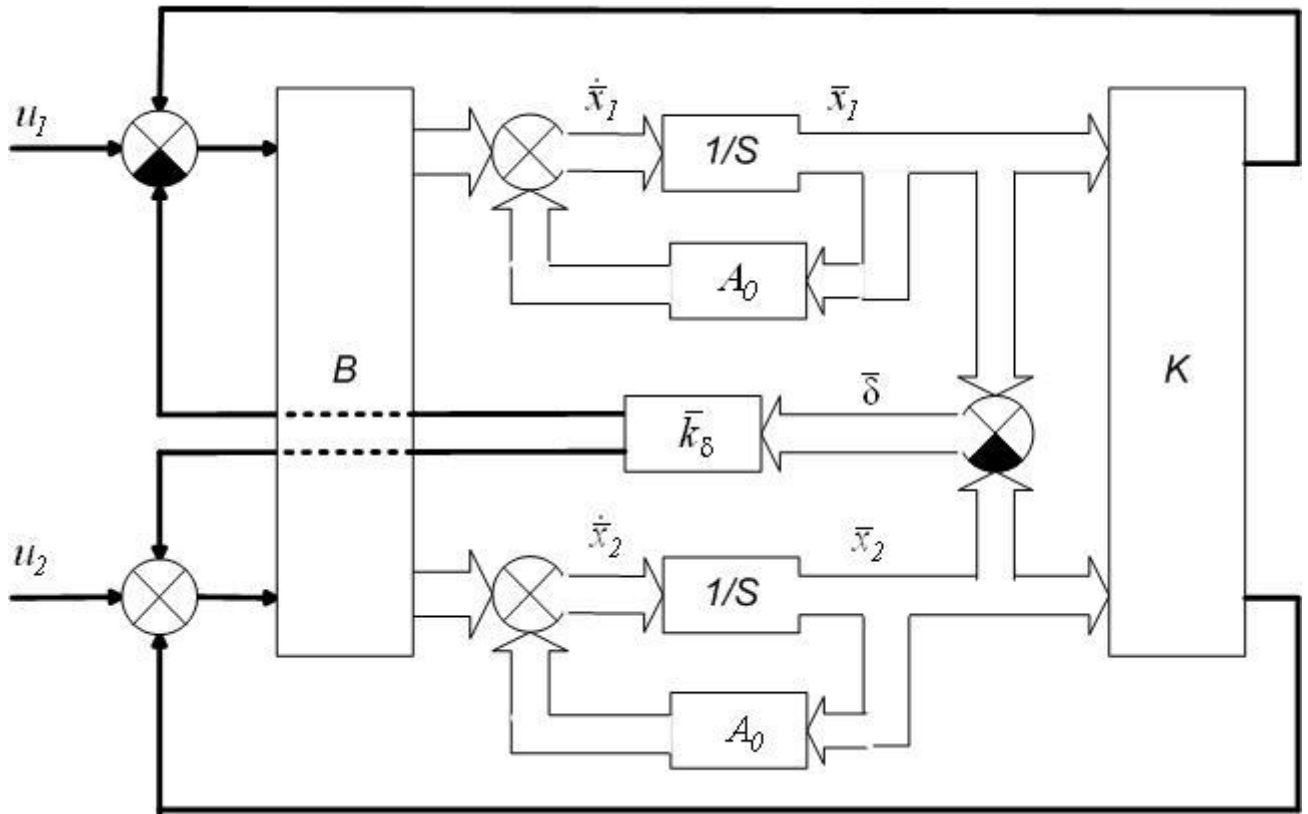


Рисунок 1 – Структурная схема координированного управления многосвязным объектом

Система описывается следующими уравнениями:

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + B\bar{u}, \quad (1)$$

$$\bar{u} = K\bar{x} + K_8\bar{\delta}, \quad (2)$$

где $\bar{x} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \end{bmatrix}^T$ – блочный вектор переменных состояния объекта, \bar{x}_i ($i = \overline{1,2}$) – вектор размерности m переменных состояния i -го канала; $\bar{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}^T$ – вектор управляющих воздействий объекта;

$$\bar{\delta} = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \quad (3)$$

– вектор ошибки координации размерности m ; A – блочно-диагональная матрица вида

$$A = \begin{bmatrix} A_0 & 0 \\ 0 & A_0 \end{bmatrix}_{(2m) \times (2m)} ; \quad (4)$$

$B = \begin{bmatrix} \bar{b}_1 \\ \bar{b}_2 \end{bmatrix}^T$ – блочная матрица-столбец размерности $(2m) \times 2$, вектор-столбец b_i ($i = \overline{1,2}$) имеет размерность $2m$; $K = [\bar{k}_1, \bar{k}_2]^T$ – матрица коэффициентов обратной связи по переменным состояниям размерности $2 \times (2m)$; K_δ – матрица размерностью $2 \times m$ коэффициентов усиления в контуре координированного управления.

Суть декомпозиции многосвязного объекта заключается в переходе к новому декомпозиционному базису переменных состояний, в котором многосвязный объект распадается на n одномерных объектов, не связанных между собой по переменным состояниям, но связанных по выходным переменным.

Декомпозиционный базис (\hat{A}, \hat{B}) характеризуется тем, что в нем как матрица \hat{A} , так и матрица \hat{B} являются блочно-диагональными. Если матрица A является блочно-диагональной по определению, то блочно-диагональный вид матрицы B получается путем перехода к новому декомпозиционному базису переменных состояний (\hat{A}, \hat{B}) , где $A = \hat{A}$, а матрица \hat{B} равна

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} \hat{b}_1 \\ \dots \\ \hat{b}_n \end{bmatrix}^T,$$

где $\hat{B}_i = [0, \dots, 0, \bar{b}_i, 0, \dots, 0]_{m \times n}$, т.е. в матрице \hat{B}_i все столбцы, кроме i -го, должны быть нулевыми. При этом вектор \bar{b}_i удобно взять в виде $\bar{b}_i = [0, \dots, 1]^T$, что соответствует канонической управляемой форме.

Переход к декомпозиционному базису означает переход к другому вектору состояния объекта с помощью линейного преобразования вида

$$\hat{x} = \Gamma \bar{x}, \quad (5)$$

где $\hat{x} = \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \dots \\ \hat{x}_n \end{bmatrix}^T$ – новый блочный вектор размерности $n \times m$ переменных состояний, компонентами которого являются векторы состояния объекта с одним входом; Γ – матрица постоянных коэффициентов размерности $nm \times nm$, $\det \Gamma \neq 0$. Здесь матрица Γ подсчитывается по следующей формуле:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \hat{A}\hat{B}, \dots, \hat{A}^{m-1}\hat{B} \\ \bar{B}, \bar{A}\bar{B}, \dots, \bar{A}^{m-1}\bar{B} \end{bmatrix}^{-1}. \quad (6)$$

После декомпозиции исходного многосвязного объекта задача синтеза координированного управления многосвязным объектом сводится к последовательному решению двух задач синтеза координированного управления для двух объектов с одним (скалярным) входом.

В новом базисе определяем блочно-диагональную матрицу \hat{K} коэффициентов в цепи обратной связи по переменным состояниям для системы, описанной уравнениями (1), (2):

$$\hat{K} = \begin{bmatrix} \hat{k}^T & 0 \\ 0 & \hat{k}^T \end{bmatrix}_{2 \times 2m}. \quad (7)$$

Эта матрица формирует управления для главной обратной связи $\bar{u} = \hat{K}\bar{x}$, которые обеспечивают равенство характеристического полинома замкнутой многовязной системы желаемому.

Возвращаясь к исходному базису, получаем искомую матрицу постоянных коэффициентов в цепи обратной связи:

$$K = \hat{K}\Gamma, \quad (8)$$

Поскольку координацию выходных переменных необходимо обеспечить в исходном базисе пространства переменных состояния, то, после перехода к декомпозиционному базису, необходимо определить соотношение (линейную комбинацию) $\hat{x}_1 = H\hat{x}_2$ нового базиса, соответствующее требуемому соотношению переменных состояния исходного базиса: $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$. Матрица H определяется преобразованием матрицы Γ . Вектор ошибки координации в новом базисе можно представить в виде

$$\bar{\delta} = \hat{x}_1 - H \cdot \hat{x}_2. \quad (9)$$

В соответствии с формулой (9) система координированного управления в новом базисе примет вид

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}_1 = (\hat{A}_0 + \hat{b}\hat{k}^T)\hat{x}_1 - \hat{b}\bar{k}_{\delta 1}^T\bar{\delta} \\ \dot{\hat{x}}_2 = (\hat{A}_0 + \hat{b}\hat{k}^T)\hat{x}_2 + \hat{b}\bar{k}_{\delta 2}^T\bar{\delta} \end{cases} \quad (10)$$

где $\bar{k}_{\delta 1}^T, \bar{k}_{\delta 2}^T$ – коэффициенты обратной связи по ошибке координации.

Вводя новую переменную состояния, равную ошибке координации $\bar{\delta}$ (9), вместо второго уравнения системы (10) можно записать:

$$\dot{\bar{\delta}} = (\hat{A}_0 + \hat{b}\hat{k}^T)\bar{\delta} - \hat{b}\bar{k}_{\delta 1}^T\bar{\delta} - H\hat{b}\bar{k}_{\delta 2}^T\bar{\delta}. \quad (11)$$

Отметим, что при выводе уравнения (11) предполагалось, что матрица H или матрица $(\hat{A}_0 + \hat{b}\hat{k}^T)$ обладают свойством перестановочности. В этом случае система дифференциальных уравнений (11) примет вид

$$\begin{pmatrix} \dot{\bar{\delta}} \\ \dot{\hat{x}}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{A}_0 + \hat{b}\hat{k}^T - \hat{b}\bar{k}_{\delta 1}^T - H\hat{b}\bar{k}_{\delta 2}^T & 0 \\ -\hat{b}\bar{k}_{\delta 1}^T & \hat{A}_0 + \hat{b}\hat{k}^T \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Путем эквивалентного преобразования уравнение (12) приведем к виду

$$\begin{pmatrix} \dot{\bar{\delta}} \\ \dot{\hat{x}}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{A}_0 + \hat{b}\hat{k}^T - \hat{b}\bar{k}_{\delta 1}^T - H\hat{b}\bar{k}_{\delta 2}^T & 0 \\ 0 & \hat{A}_0 + \hat{b}\hat{k}^T \end{pmatrix}.$$

Отсюда видно, что характеристический полином системы координированного управления в исходном базисе пространства переменных состояния равен:

$$\Delta = \det(Is - \hat{A}_0 - \hat{b}\hat{k}^T + \hat{b}\bar{k}_{\delta 1}^T - H\hat{b}\bar{k}_{\delta 2}^T)\det(Is - \hat{A}_0 - \hat{b}\hat{k}^T) = \Delta_1\Delta_2, \quad (13)$$

то есть добавление к объекту контура координированного управления не влияет на распределение полюсов передаточной функции системы с обратной связью по переменным состояния, а лишь добавляет к этим полюсам свои.

В новом базисе коэффициенты обратной связи контура координации выбираются следующим образом:

$$\hat{k}_{\delta}^T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} * & q_0^{\delta} & q_1^* - q_1^{\delta} & \cdots & q_m^* - q_m^{\delta} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

где q_i^* ($i = \overline{1, m}$) – коэффициенты желаемого характеристического полинома контура модального управления; q_i^{δ} ($i = \overline{1, m}$) – коэффициенты желаемого характеристического полинома для управления контуром координации.

Искомые коэффициенты обратной связи контура координации вычисляются по формуле:

$$\begin{cases} \bar{k}_{\delta 1}^T = \hat{k}_{\delta}^T, \\ \bar{k}_{\delta 2}^T = \hat{k}_{\delta}^T \cdot H^{-1}. \end{cases} \quad (15)$$

На рис. 2 показаны графики переходных процессов ошибок координации в исходном базисе (δ_1, δ_2), в декомпозиционном базисе ($\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2$) и для системы без контура координированного управления (δ_{10}, δ_{20}) в условиях действия внешних возмущений. Как видно из графиков в системе управления обеспечивается снижение статической ошибки координации выходных переменных, а также заметно снижение дисперсии (разброса значений) в условиях действия случайных возмущающих воздействий.

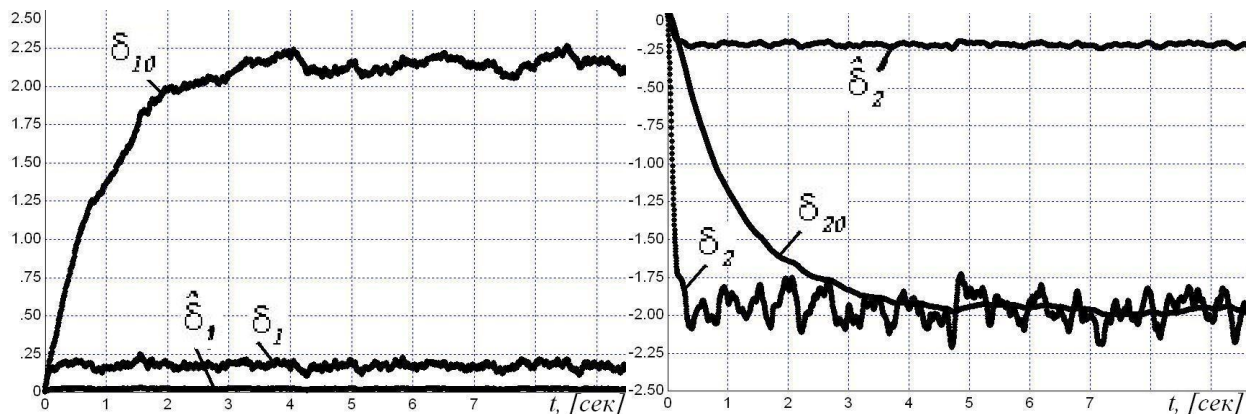


Рисунок 2 – Исследование статической точности в условиях действия внешних возмущающих воздействий

На рис. 3 показаны траектории движения системы, где в качестве выходных переменных состояния выбраны для системы координации в исходном базисе $\varphi(x_1, x_3)$, в декомпозиционном базисе $\varphi(\hat{x}_1, \hat{x}_3)$ и для системы без контура координированного управления $\varphi(x_{10}, x_{30})$ в условиях действия внешних возмущений. Как видно из графика, движение системы, при включении контура координации, в условиях действия возмущений, смещается к совокупности оптимальных точек, соответствующих требуемой функциональной зависимости между выходами системы $x_1 = x_3$ ($x_2 = x_4$).

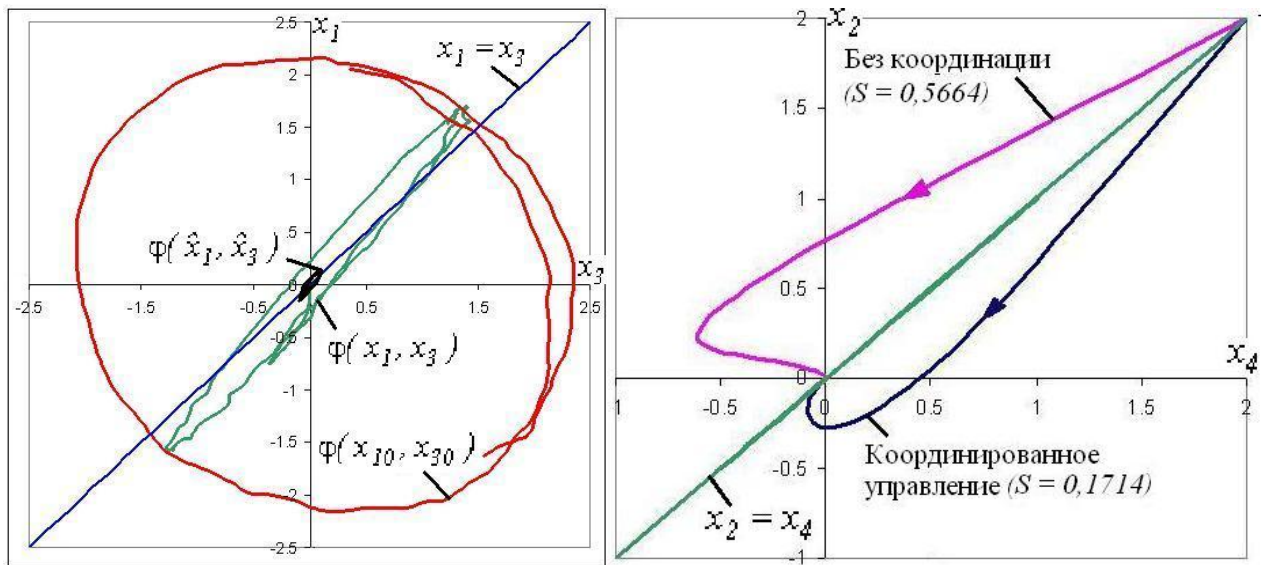


Рисунок 3 – Повышение динамической точности при использовании координированного управления

Во **второй** главе предложены релейные алгоритмы координированного управления многосвязным объектом, позволяющие учитывать имеющиеся ограничения на «интенсивность» воздействия контура координации на контур управления. В основе данных алгоритмов лежит принцип максимума Л.С. Понтрягина и предложенный способ декомпозиции многосвязных объектов.

Структурная схема системы, реализующая алгоритмы релейного координированного управления представлена на рис. 4.

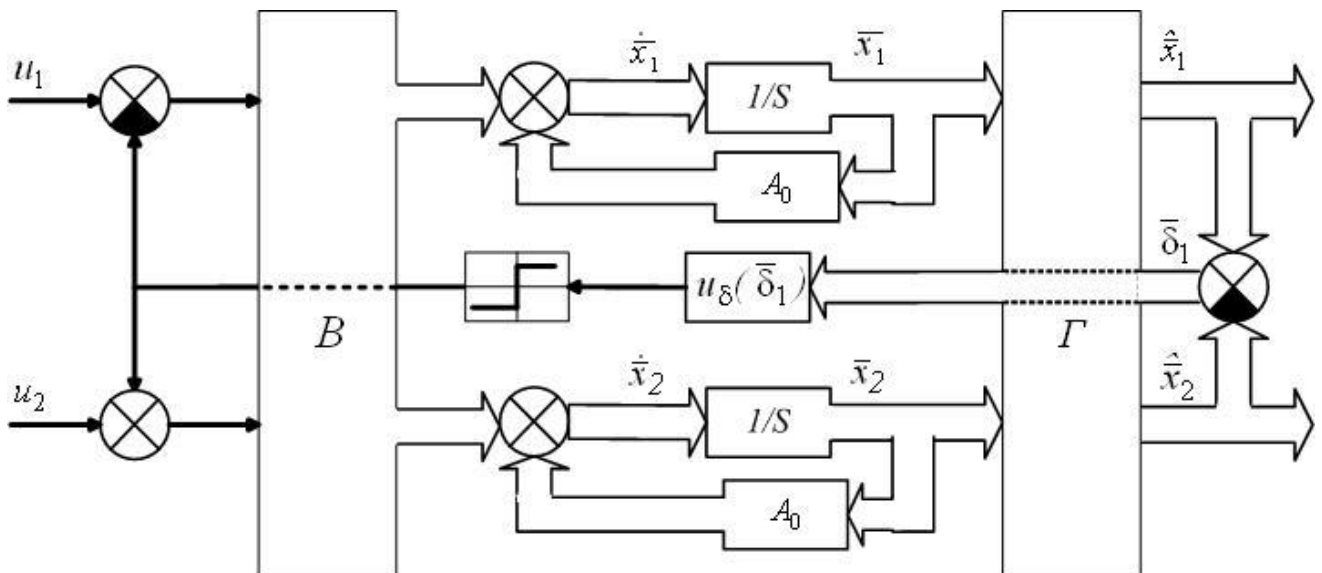


Рисунок 4 – Структурная схема релейной системы координированного управления многосвязным объектом

Особенностью задачи релейного координированного управления является наличие ограничений на «интенсивность» (или «амплитуду») управляющих воздействий, которые записываются в виде

$$|u_i(t)| \leq a, i = \overline{1, 2}, \quad (16)$$

где a – максимально допустимое значение, которое может принимать управляющее воздействие $u_i(t)$.

Вычислим релейные функции управляющих воздействий от ошибки координации $\bar{\delta}$ (3). Подставим значение \hat{x}_1 из уравнения (3) в (1), получим для первого канала системы уравнение вида:

$$\dot{\bar{\delta}} + \hat{x}_2 = \hat{A}_0(\bar{\delta} + \hat{x}_2) + \hat{B}u_1. \quad (17)$$

Подставив в (17) $\hat{x}_2 = \hat{A}_0\hat{x}_2 + \hat{B}u_2$ получим:

$$\dot{\bar{\delta}} = \hat{A}_0\bar{\delta} + \hat{B}(u_1 - u_2) \quad (18)$$

Получим формулу для координирующего управляющего воздействия:

$$u_{\bar{\delta}} = u_1 - u_2. \quad (19)$$

Поскольку управление на соответствующий канал заводится по разности переменных состояния, то, логично предположить, что релейные законы управления для этих каналов будут работать в противофазе, то есть $u_1 = -u_2$, откуда $u_{\bar{\delta}} = 2u_1 = -2u_2$. Тогда ограничение для координирующего управления, с учетом формулы (19) запишется в виде

$$|u_{\bar{\delta}}| \leq 2a. \quad (20)$$

Далее, задача синтеза управления сводится к обычной задаче для одного канала, где в качестве переменных состояния выступают векторы ошибок координации.

Согласно принципу максимума Л.С. Понтрягина управление будет представлено релейной функцией вида

$$u_{\bar{\delta}}(t) = a \cdot \text{sign} \phi(\bar{\delta}_1(t), \delta_2(t), \dots, \delta_m(t)) \quad (21)$$

где $\phi(\bar{\delta}_1(t), \dots, \delta_m(t))$ – функция переключения; $\delta_1, \dots, \delta_m$ – компоненты вектора ошибки координации.

Искомый закон управления для исходного базиса переменных состояния с учетом (21) будет иметь вид:

$$u_{\bar{\delta}}(t) = a \cdot \text{sign} \left(\sum_{j=1}^{mn} \gamma_{m(i-1)+1,j} x_j(t) - \sum_{j=1}^{mn} \gamma_{m i+1,j} x_j(t), \sum_{j=1}^{mn} \gamma_{m(i-1)+2,j} x_j(t) - \sum_{j=1}^{mn} \gamma_{m \cdot i+2,j} x_j(t), \dots, \sum_{j=1}^{mn} \gamma_{m(i-1)+m,j} x_j(t) - \sum_{j=1}^{mn} \gamma_{m \cdot i+m,j} x_j(t) \right). \quad (22)$$

Здесь $\gamma_{i,j}, i, j = \overline{1, n}$ – коэффициенты матрицы Γ перехода к новому декомпозиционному базису пространства состояний, подсчитываемая по формуле (5).

На рис. 5 показано изменение координат системы управления \bar{x} и ошибок координации (δ_1, δ_2) под действием релейного закона координированного управления, а также для базовой системы, в которой управление производится по каждому каналу многосвязной системы в отдельности \bar{x}_0 и $(\delta_{10}, \delta_{20})$.

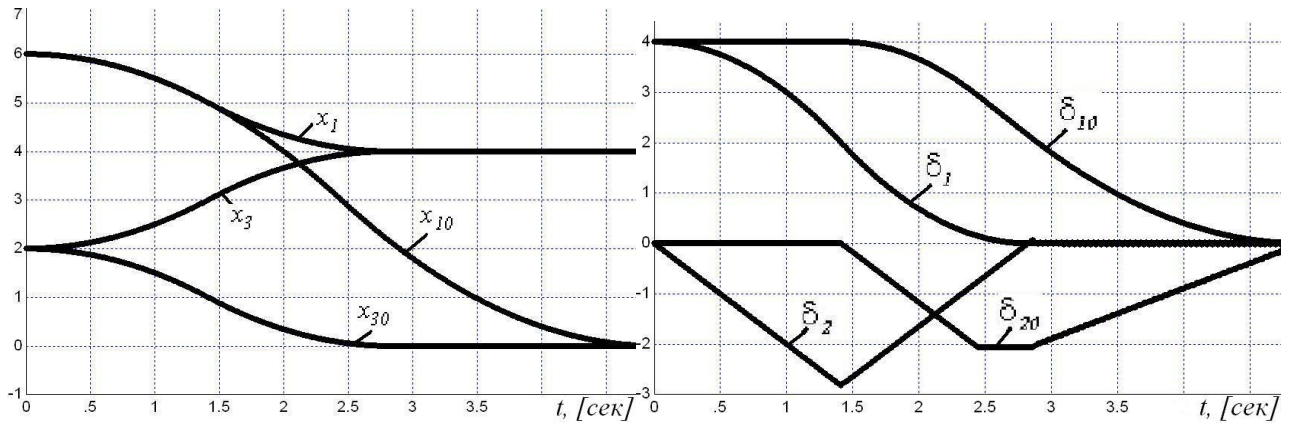


Рисунок 5 – Изменение переменных состояния и ошибок координации много-связной системы для двух вариантов управления

На рис. 6 показаны графики переходных процессов ошибок координации в исходном базисе (δ_1, δ_2), в декомпозиционном базисе ($\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2$) и для системы без контура координированного управления (δ_{10}, δ_{20}) в условиях действия внешних возмущений. Как видно из графиков в системе управления обеспечивается снижение статической ошибки координации выходных переменных.

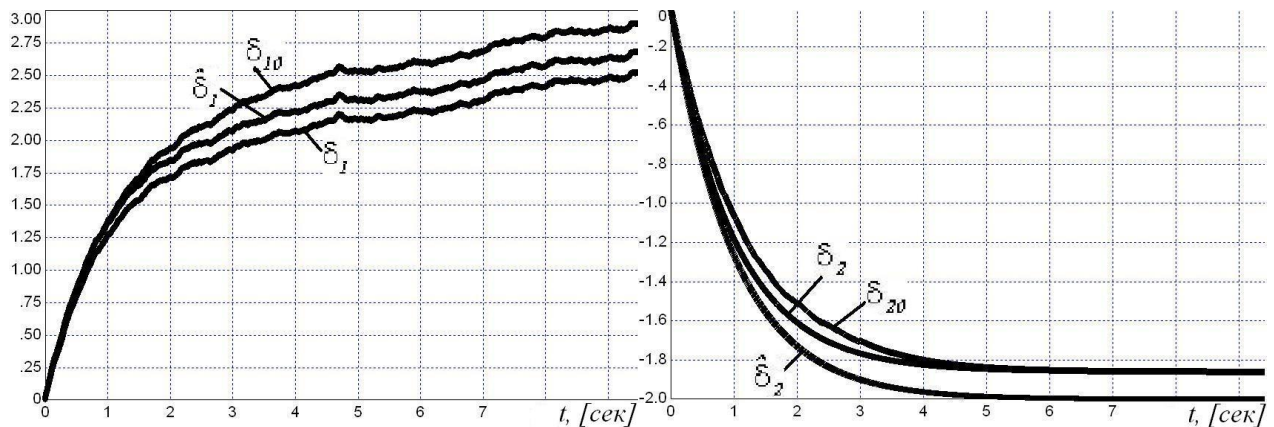


Рисунок 6 – Изменение ошибок координации в исходном базисе (δ_1, δ_2), в декомпозиционном базисе ($\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2$) и для системы без контура координации (δ_{10}, δ_{20}) в условиях действия внешних возмущений

В результате исследований показано, что статическая ошибка $\Delta\delta$ в условиях действия возмущений снижается в 1,5-2 раза, среднее значение ошибки координации M примерно в 2 раза, также заметно снижение дисперсии.

Во второй главе также рассматривались принципы исследования устойчивости многосвязной системы координированного управления при бесконечном коэффициенте усиления в контуре координации. На рис. 7 показан пример подобной многосвязной системы с неоднородными перекрестными связями:

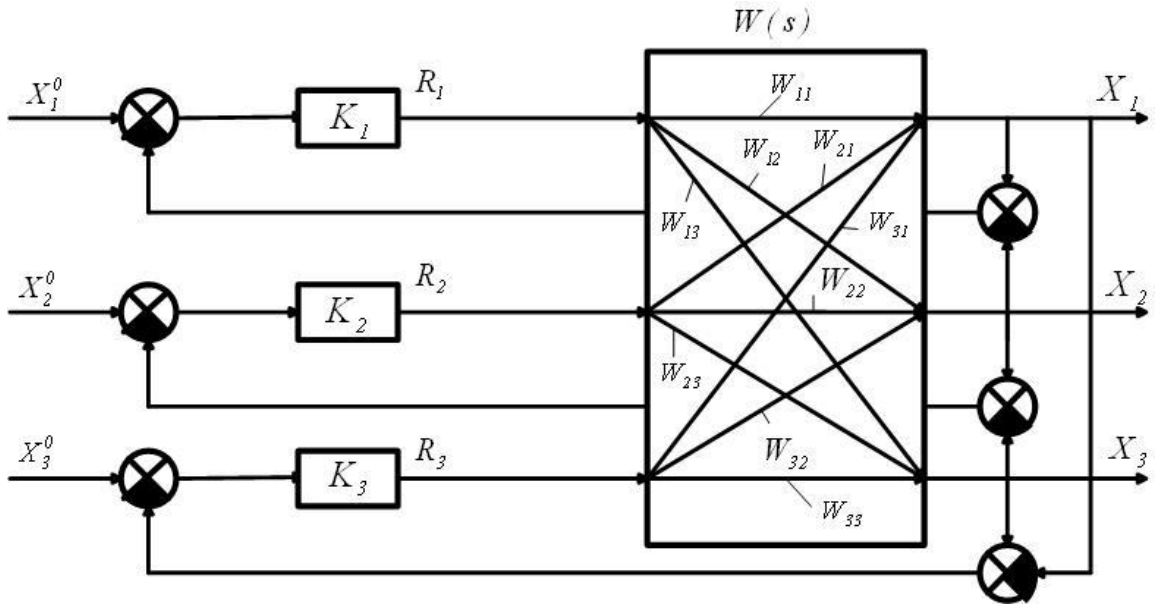


Рисунок 7 – Многосвязный объект с контуром координированного управления

Уравнения движения данной системы, в матричной форме имеют вид

$$X(s) = W(s)U(s); \quad U(s) = R(s)[X^0(s) - (X(s) - X^K(s))], \quad (23)$$

где $X(s) = [X_1(s), X_2(s), \dots, X_n(s)]$ – вектор регулируемых координат; $X^K(s) = [X_2(s), X_3(s), \dots, X_n(s), X_1(s)]$ – смещенный вектор регулируемых координат; $U(s)$ – вектор управляющих координат; $W(s) = \|W_{ij}(s)\|_{n \times n}$ – передаточная матричная функция многомерного объекта; $R(s) = \|R_{ij}(s)\|_{n \times n}$ – диагональная передаточная матрица регулятора (система развязана по входам).

В работе показывается, что общий характеристический полином данной замкнутой системы можно свести к виду

$$D(s) = |I + W^H(s)R(s)| = 0, \quad (24)$$

где $W^H(s) = (I - H^K)W(s)$ – передаточная матрица скоординированной многосвязной системы,

$$H^K = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, показано, что исследование устойчивости системы координированного управления можно проводить существующими методами исследования замкнутых систем для эквивалентной системы (24).

В **третьей главе** выполнено исследование эффективности разработанных релейных и линейных алгоритмов координированного управления на примере их использования в системах управления фазой вращения винтовентилятора (ВВ) ТВВД (изд. САУ СВ-34 и изд. САУ ДУ-27) устанавливаемых на пассажирских

самолетах ИЛ–114–100 и АН–70. При этом, эффективность релейных алгоритмов координированного управления проверяется на примере САУ СВ–34, а эффективность линейных алгоритмов координированного управления – на примере САУ ДУ–27.

На рис. 8 приведена система синхрофазирования ВВ в составе САУ СВ-34. Пунктиром выделен контур координации, введенный в базовый вариант системы.

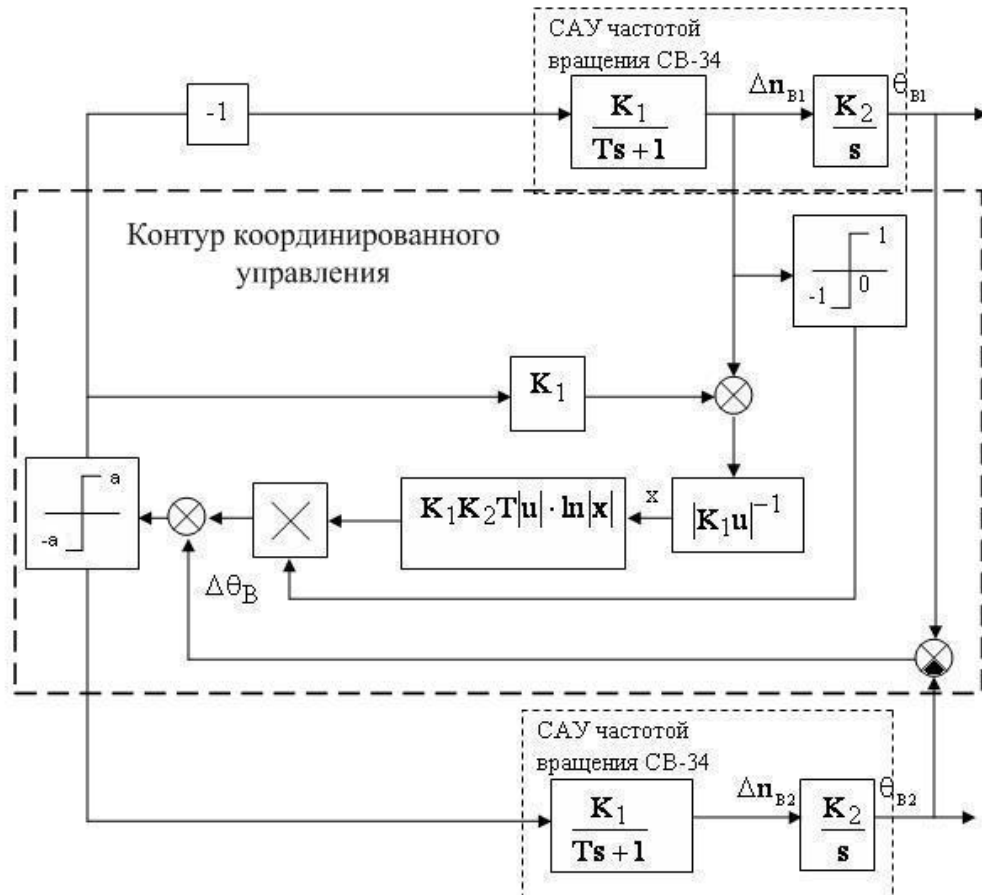


Рисунок 8 – Структурная схема системы синхрофазирования САУ СВ-34 с контуром координированного управления

Здесь $K_1 = -1 [б/р]$, $K_2 = 6 [гр/об/мин]$ – коэффициенты усиления передаточных функций объекта соответственно по каналу управления частотой и фазой вращения ВВ; $\theta_{B1}(t)$, $\theta_{B2}(t)$ – фазы вращения первого и второго винтовентиляторов; $\Delta n_{B1}(t)$, $\Delta n_{B2}(t)$ – отклонения частот вращения от заданного установившегося значения; $a = 3 [об/мин]$ – ограничение на интенсивность управляющего воздействия на частоту вращения винтовентилятора; T – постоянная времени передаточной функции контура управления частотой вращения ВВ.

В связи с тем, что u является возмущающим воздействием в канал управления частотой вращения винтовентилятора, и управление фазой осуществляется на установившемся режиме работы системы управления n_B , максимальная величина u будет ограничиваться заданным значением статической точности поддер-

жания частоты вращения. С учетом того, что статическая точность поддержания n_B в САУ–34 равна 0.5% (что соответствует 6 об/мин), и с учетом возможного перерегулирования n_B остановимся на выборе «компромиссной» величины ограничения $a = 3$ [об/мин].

Используя принцип максимума Л.С. Понтрягина, была получена следующая функция переключения:

$$\mu = \Delta\theta_B + 1.02\Delta n_B - 3.06 \cdot \ln\left(\frac{|\Delta n_B(t) - \hat{u}|}{3}\right) \text{sign } \Delta n_B \quad (25)$$

Окончательно, релейный закон координированного управления фазой вращения винтовентилятора будет представлен в виде:

$$u = 3 \text{ sign } (\mu). \quad (26)$$

На рис. 9 приведены экспериментальные исследования системы синхροфазирования с найденным алгоритмом управления вида (26).

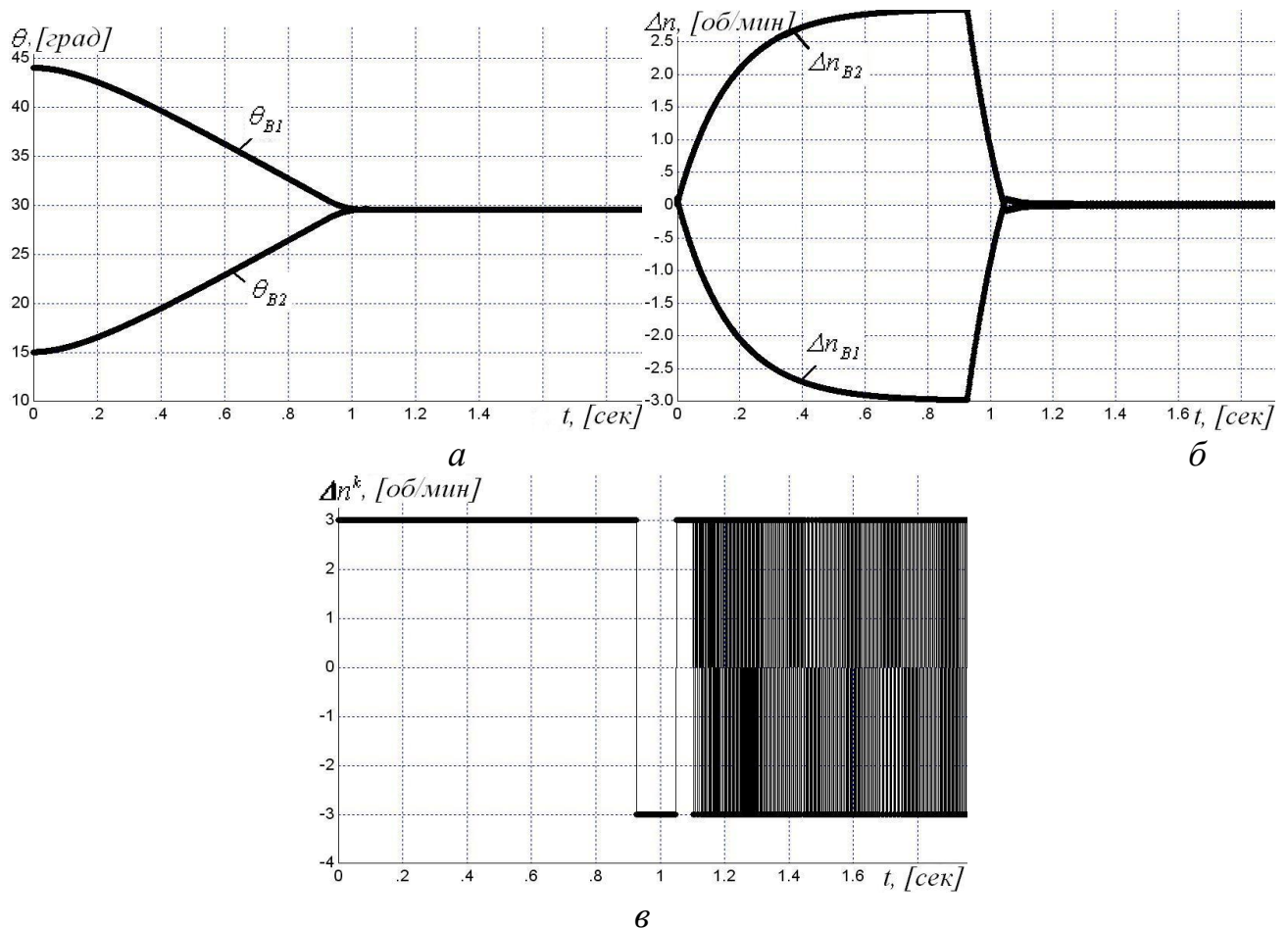


Рисунок 9 – Переходные процессы синхροфазирования при начальном рассогласовании $\theta_{B1}(t_0) = 44^\circ$, $\theta_{B2}(t_0) = 15^\circ$

На рис. 9,а приведены графики изменения фаз вращения θ_{B1} , θ_{B2} винтовентиляторов, 9,б – изменение отклонений частот вращения винтовентиляторов от

установившегося значения Δn_{B1} , Δn_{B2} , θ, φ – управляющие воздействия контура координации Δn^k .

Проведенное экспериментальное исследование эффективности использования предложенных релейных алгоритмов координированного управления в системе синхрофазирования одиночных винтовентиляторов СВ-34 показало, что применение алгоритмов координированного управления в системах синхрофазирования винтовентиляторов ТВВД обеспечивает, по сравнению с базовым вариантом системы.

а) повышение статической точности по фазе примерно в 2 раза при соблюдении требуемых ограничений на интенсивность управляющих воздействий на каналы управления частотой вращения.

б) повышение быстродействия канала управления фазой вращения ВВ в 1,5–2 раза (рис. 11).

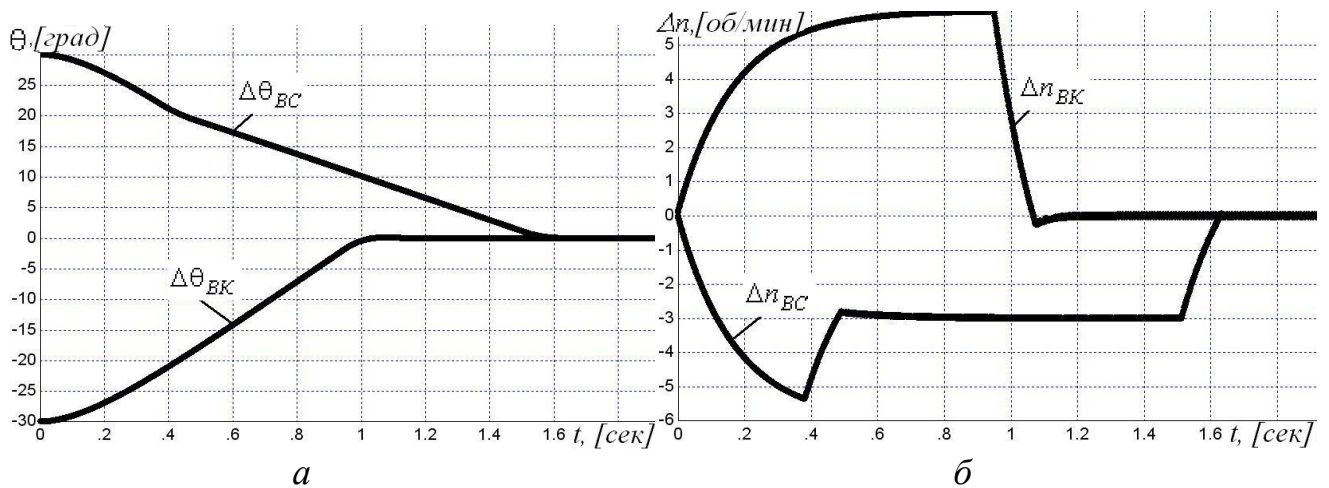


Рисунок 10 – Переходные процессы: а – изменения фаз вращения $\Delta\theta_{BK}$ и $\Delta\theta_{BC}$; б – разности отклонений частот Δn_{BK} и Δn_{BC}

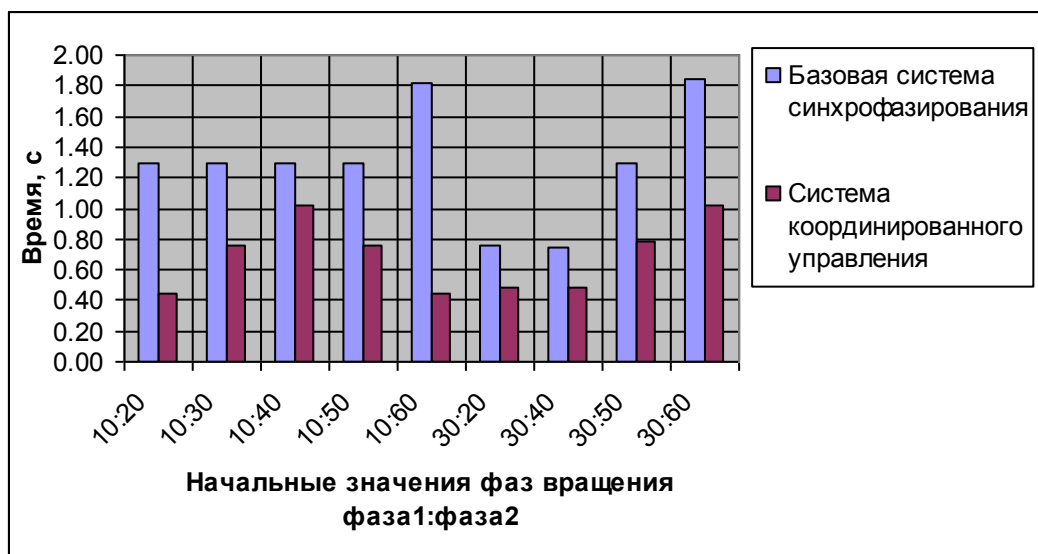


Рисунок 11 – Диаграмма быстродействия систем синхрофазирования

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложены линейные алгоритмы координированного управления многосвязными объектами, в основе которых лежит:

а) декомпозиция многосвязного объекта на не связанные между собой объекты управления с одним входом (или с одним выходом) путем перехода к новому базису переменных состояния, что существенно упрощает процедуру синтеза законов управления данными объектами;

б) организация в системе дополнительного контура координированного управления, задачей которого является минимизация ошибки координации.

2. В рамках решения задачи линейного координированного управления показано, что может быть осуществлен отдельный выбор коэффициентов обратной связи контура координации и коэффициентов главной обратной связи по переменным состояния, что существенно упрощает процедуру синтеза контура координации и позволяет независимо назначать требования к динамическим характеристикам контуров координации и управления.

3. Разработаны релейные алгоритмы координированного управления многосвязными объектами, в основе которых лежат принцип максимума Л.С. Понтрягина и предложенный способ декомпозиции многосвязных объектов. Данные релейные алгоритмы координированного управления позволяют осуществлять координацию изменения управляемых координат в условиях наличия ограничений на «интенсивность» воздействия контура координации на контур управления.

4. Предложено техническое решение задачи синхрофазирования (применительно к изделию СВ-34), отличительной особенностью которой является использование для целей управления нового информативного сигнала - разности фаз вращения двух симметрично расположенных относительно фюзеляжа винтовентиляторных групп и организация контура координированного управления, задачей которого является минимизация данного сигнала.

5. Экспериментальное исследование, проведенное на компьютерных моделях, показало, что применение разработанных в диссертации алгоритмов координированного управления позволяет:

а) повысить динамическую точность синхрофазирования приблизительно в 2 раза;

б) быстродействие в 1,5–2 раза.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ***В рецензируемых изданиях из списка ВАК***

1. Декомпозиционные алгоритмы решения задач управления и наблюдения объектами с векторным входом / Ю.С. Кабальнов, И.В. Кузнецов, А.В. Маргамов // Системы управления и информационные технологии: научно-технический журнал. Воронеж: Научная книга, 2006. № 4(26). С. 22–26.

В других изданиях

2. Оптимальное по быстродействию управление группой автономных объектов / Ю.С. Кабальнов, Н.В. Кондратьева, А.В. Маргамов // Информатика и информационные технологии : Матер. 8-й междунар. конф. CSIT'2006. Уфа, 2006. С. 28–32.
3. Координированное управление многосвязными объектами / Ю.С. Кабальнов, И.В. Кузнецов, А.В. Маргамов // VII Междунар. науч.-техн. конф. Самара, 2006. С. 204–206.
4. Декомпозиционные алгоритмы координированного управления многосвязными объектами / Ю.С. Кабальнов, А.В. Маргамов // Рукопись депонир. в ВИНТИ 1.03.2007. № 343. В2007. М., 2007. 7 с.
5. Релейные алгоритмы координированного управления многосвязными объектами / Ю.С. Кабальнов, А.В. Маргамов // Рукопись депонир. в ВИНТИ 1.03.2007. № 344. В2007. М., 2007. 12 с.

МАРГАМОВ Александр Валерьевич

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ
КООРДИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
МНОГОСВЯЗНЫМ ОБЪЕКТОМ

Специальность 05.13.01
Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 11.04.07. Формат 80x64 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 0,9. Уч.-изд. л. 0.9.
Тираж 100 экз. Заказ № 171.

ГОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12