6
А-61

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. ЛЕНСОВЕТА

На правах рукописи

БИЦКА К.

К АЛГОРИТМИЗАЦИИ И РАЗВИТИЮ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Специальность:
Автоматизация химических производств - 05.198

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград
1971

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. ЛЕНСОВЕТА

На правах рукописи

БИДКА К.

К АЛГОРИТМИЗАЦИИ И РАЗВИТИЮ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Специальность:
Автоматизация химических производств - 05.198

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград
1971

Задачи, рассмотренные в данной диссертации, возникли в связи с тем, что центр автоматизации на нефтехимическом комбинате Шведт (ГДР) в последние годы приступил к исследованию важных для комбината проблем управления объектами с распределенными параметрами. Автору, как члену этого коллектива, было предложено разработать материал по известным методам синтеза оптимальных систем с распределенными параметрами, который с одной стороны позволял бы делать наиболее общие выводы о состоянии и развитии в данной области, а с другой стороны, был бы достаточно конструктивен, чтобы можно было познакомиться с отдельными методами синтеза с целью их применения. Кроме того, проанализировав этот материал, автор должен был выявить среди рассмотренных перспективные методы синтеза, и, насколько это возможно, предложить свои идеи в этой области.

Решение поставленной задачи исследования может принести пользу тем, кто должен решить конкретные задачи синтеза систем с распределенными параметрами.

Диссертация состоит из следующих частей. Постановка задачи исследования. Алгоритмизация и анализ методов синтеза оптимальных детерминированных непрерывных систем (первая глава). Развитие методов синтеза САР для линейных объектов с распределенными параметрами (вторая глава). Заключение, Обозначения. Литература. Приложения.

П о с т а н о в к а   з а д а ч и   и с с л е д о в а н и я . Описанная выше общая постановка задачи требует детализации, которая представляется в следующем виде. Нужно разработать материал по известным методам синтеза оптимальных систем с распределенными параметрами с тем, чтобы:

а) представить отдельные методы в обозримом и удобном для их применения виде;

б) исходя из анализа методов синтеза определить наиболее точные и наименее трудоемкие методы;

c) проследить динамику развития методов синтеза и выявить тенденции в развитии отдельных приемов, деталей и особенностей методов;

d) предложить новые методы синтеза, зачатки которых уже обнаруживаются в данной структуре методов синтеза;

e) было возможно предложить новые методы синтеза, исходя из имеющейся структуры с учетом динамики развития методов.

Пункты a), b), d) соответствуют характеру пособия, а пункты c) и e) учитывают желание использовать материал для ориентации в настоящем и ближайшем будущем рассмотренных методов.

Из пунктов a) - e) выводится структура разрабатываемого материала как иерархическую и стандартизованную, названная в дальнейшем схемой алгоритмизации методов синтеза. Разработка схемы рассматривается в первой главе.

Вторая часть задачи исследования заключается в развитии автором некоторых методов синтеза, которые при анализе схемы алгоритмизации выявились как перспективные. Полученная при этом анализе информация позволяет в развиваемых методах ограничиться рассмотрением линейных уравнений для объектов. Формулируются требования к простоте развиваемых методов и к реализуемости их результатов.

Под простым в работе понимается метод, который без особого труда можно программировать на ЦВМ, используя при этом современные библиотеки стандартных программ. Под легко реализуемыми подразумеваются результаты, которые можно реализовать с помощью стандартных элементов автоматики, включая сюда и простые специализированные вычислительные машины.

Во второй главе развиваются методы, удовлетворяющие данной постановке задачи. Методы используют теорию устойчивости Ляпунова, вариационное исчисление и метод Бубнова-Галеркина.

П е р в а я   г л а в а показывает возможный подход к построению схемы алгоритмизации. Идея выбранной алгоритмизации такова, что методы синтеза представляются в виде последовательности стандартных, т.е. общих для нескольких методов, операторов и анализируются с помощью статистических и качественных оценок этих операторов. Учитывая конкретные цели синтеза, можно на основе этих оценок выделить лучшие в определенном смысле методы или конструировать с помощью операторов новые методы синтеза.

Ввиду того, что учет всех существующих методов в схеме невозможен, обосновываются критерии для включения изложенных в литературе методов в схему алгоритмизации. Среди них наиболее важны следующие:

- методы должны быть простыми и дать легко реализуемые результаты;
- в схему включались и методы для объектов с сосредоточенными параметрами, если они в той или иной мере могли быть полезными для методов с распределенными параметрами.

Всего в схему алгоритмизации включено 130 методов синтеза.

Для построения схемы алгоритмизации нужно было создать общую постановку задач для всех методов, определить в совокупности действий методов наиболее общие и оценивать их с разных точек зрения. Для этого вводится иерархическая структура "оператор $\in$ метаоператор $\in$ класс", создается картотека исходных данных (КИД) и список особых данных (СОД). 30 признаков КИД относятся к требованиям к объекту, к управляющим воздействиям, к целям синтеза и к виду его результатов. СОД содержит специфичные для данного метода требования.

Элементы схемы алгоритмизации - операторы синтеза (всего 82), которые представляют собой такие операции, как интегрирование, дифференциирование, решение уравнений, разложение в ряд и т.д., - можно оценивать с помощью таких показателей как средняя достижимая точности (ТОЧ), средняя трудоемкость (ТРУД), популярность (ПОП) и актуальность (АКТ). Показатель ТОЧ характеризует погрешность при выполнении операций в операторе, например, при численном решении уравнений, от отбрасывания членов высшего порядка при разложении в ряд и т.д. ТОЧ можно определять только в среднем, так как погрешность в каждом конкретном случае может быть разной. То же самое относится к показателям ТРУД. Показатели ПОП и АКТ определяются числом методов, использующих данный оператор(ПОП), медианом из годов опубликования этих методов (АКТ 1) и максимальной разностью среди этих годов (АКТ 2).

Операторы по общему их содержанию объединены в метаоператоры (всего 27), которые, в свою очередь, относятся к различным классам (всего 9). Таким образом, показатели, определенные для операторов можно отнести и к метаоператорам и классам. Наиболее просто это получается для ПОП: ПОП метаоператора (или класса) есть сумма ПОП всех его операторов.

Для выявления современного состояния и тенденции развития отдельных операторов, метаоператоров и классов сравнивались ПОП для двух выборок методов в схеме алгоритмизации. Первая из них относится к методам до 68-69 года, а вторая к методам до 69-70 года опубликования. Оказалось, что только сравнение ПОП метаоператоров может дать некоторое представление о развитии, так как для классов ввиду их общности смешиваются отдельные тенденции, а для операторов ввиду их специфичности получается статически неустойчивая информация. Полученная с помощью метаоператоров информация конкретизирует сложившееся мнение о перспективности отдельных общих подходов к син-

тезу рассматриваемых систем. Наиболее ценная информация заключается в том, что наблюдается тенденция применения аналитических условий оптимальности к параметрическому синтезу регуляторов. Этот подход, с одной стороны, снимает практически ненужную общность условий оптимальности и тем самым облегчает их решение, а, с другой стороны, обеспечивает (условную) оптимальность структуры САУ, обусловленной часто практическими соображениями.

Поскольку метод в схеме представлен в виде последовательности N операторов, показатели ТОЧ, ТРУД и ПОП для метода можно получить из соответствующих показателей операторов следующим образом

$$\text{ТОЧ} = \prod_i \text{ТОЧ}_i \qquad \text{ТРУД} = \sum_i \text{ТРУД}_i \qquad \text{ПОП} = \frac{1}{N}\sum_i \text{ПОП}_i$$

За показатель АКТ метода берется год его опубликования.

В пространстве методов и показателей ТОЧ, ТРУД, ПОП и АКТ можно определить подпространство методов с наилучшими показателями. Для этого, исходя из некоторого подпространства с наилучшими значениями показателей, раздвигаются его границы по методу градиента, для того, чтобы охватить наибольшее количество методов с наименее отличившимися от наилучших значениями показателей. Методы, попавшие в это подпространство, образуют группу рекомендуемых методов (ГРМ). Для выявления состояния и тенденций развития наилучших методов определялись ГРМ для двух, вышеуказанных выборок методов. При этом оказалось, что подпространства с ГРМ, определенные для двух выборок, отличаются только разными границами для ПОП. Это говорит о том, что показатель ПОП методов может отражать развитие в ГРМ. Полученные из анализа ГРМ результаты хорошо согласуются с информацией, полученной с помощью метаоператоров (см.выше).

Пока рассматривались вопросы состояния и развития в схеме, можно было пренебречь конкретными постановками задач для отдельных методов. Для выбора метода из схемы алгоритмизации или ГРМ, согласно конкретной постановке задачи можно пользоваться КИД и СОД. Предлагается алгоритм поиска подходящего метода из схемы, который может привести и к новым методам.

В первой главе далее описывается путь к синтезу методов синтеза с помощью схемы алгоритмизации и анализа динамики развития отдельных методов и операторов. Этот путь основан на генерировании случайных последовательностей операторов с последующим обдумыванием полученных алгоритмов. Статистические характеристики последовательностей извлекаются из схемы алгоритмизации и учитывают вновь поступившую информацию о предложенных и примененных методах синтеза. Делается первый шаг к реализации описанного пути. С помощью показателей ПОП выбираются и затем оцениваются методы и операторы, из которых могли бы состоять перспективные методы.

В т о р а я   г л а в а   использует полученную в первой главе информацию о перспективных направлениях для развития некоторых методов синтеза САР для линейных объектов с распределенными параметрами. Это можно рассматривать как этап обдумывания полученной информации в отмеченном выше пути синтеза методов синтеза.

Таким образом, в дальнейшем рассматриваются метод мгновенной оптимизации МО, метод желаемой динамики ЖД (pool assignment) и метод модального регулирования при использовании МО и ЖД. Далее исследуются метод преобразования распределенных параметров в сосредоточенные и метод рассеяния. Постановки для последних методов возникли из-за желания, рассматривать проблемы синтеза в более широком плане.

В методе МО синтезируется САР, исходя из (мгновенной) минимизации производной $dV/dt = \min\limits_{v}$, причем V является положительно определенным функционалом от векторов состояния (q) и управления (v) САР. Трудности в этом методе возникают при вопросе, каким должно быть

V , чтобы МО обеспечил желаемое качество регулирования.

Чтобы ответить на этот вопрос, в работе рассматривался функционал

$$V(t) = \frac{1}{2}\int_0^L\int_0^L q^T(\xi,t)K(\xi,x)q(x,t)\,d\xi\,dx + \int_0^t v^T(\tau)H_1 v(\tau)\,d\tau \qquad (I)$$

где H_1 – задано, К – произвольно. Применяя МО с (I) к n -мерному объекту

$$q_t(x,t) = A(x,t)q_x(x,t) + B(x,t)q(x,t)\,,\quad x\in(0,L]\,,\quad t\in[0,\infty)$$
$$q(x,0) = q_0(x)\ \ (a)\,,\qquad q(0,t) = v(t)\ \ (b)\,, \qquad (2)$$

получаем закон регулирования в виде

$$v^*(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}(H_1+H_1^T)^{-1}A^T(0,t)\int_0^L[K(0,x)+K^T(0,x)]q(x,t)\,dx\,, & H_1 \not\equiv 0 \\ U\,\mathrm{sign}\left\{A^T(0,t)\int_0^L[K(0,x)+K^T(0,x)]q(x,t)\,dx\right\}\,, & H_1 \equiv 0 \end{cases} \qquad (3)$$

где $v \in U$ – допустимая область управления при $H_1 \equiv 0$. Чтобы получить представления о качестве регулирования САР (2) (3), зависящее заведомо от матрицы – функции $K(\xi,x)$, применяется принцип максимума. (В приложении к работе дается конструктивный вывод принципа максимума для объектов с распределенными параметрами первого порядка, учитывающего распределенное (u) и смешанное граничное управление (v), относительно критерия оптимальности

$$F = \int_0^T\int_0^L H(q,u)\,dx\,dt + \int_0^T H_1(q,v)\,dt + \int_0^L H_2(q)\,dx)$$

Показывается, что регулятор (3) для объекта (2) является необходимым для минимизации критерия

$$F = \frac{1}{2}\int_0^\infty\int_0^L q^T(x,t)W q(x,t)\,dx\,dt + \int_0^T v^T H_1 v\,dt + F_1 = F_0 + F_1$$

$$F_1 = \frac{1}{2}\int_0^\infty\int_0^L (v^*(t))^T A^T(0,t)[K(0,x)+K^T(0,x)]q(x,t)\,dx\,dt \qquad (4)$$

если $K(\xi,x)$ выполняет условия

$$-[A^T(\xi,t)K]_\xi - [KA(x,t)]_x + B^T(\xi,t)K + KB(x,t) = -\delta(\xi-x)W$$
$$K(L,x) + K^T(L,x) = 0 \qquad (5)$$

причем δ – дельта функция Дирака. Для случая $H_1 \equiv 0$ устанавливается, что (4) можно писать в виде

$$F = \int_0^\infty H(q)\,dt$$

и что имеет место

$$0 = \min_{\varphi \in U}\left[H(q) + \dot V(q,\varphi)\right]$$

Следовательно, для $H_1 \equiv 0$ условия (2), (3), (5) являются и достаточными для минимизации (4). Положительно определенный член F_1 в (4) трактуется как учет взаимосвязи оптимального управления и состояния объекта.

Далее рассматриваются вопросы реализации САР, синтезированной методом МО: затрагиваются вопросы получения информации о $q(x,t)$, обсуждаются возможности решения уравнения (5). Если искать К в виде

$$K(\xi,x) = \phi(\xi)\Lambda^{-1}\psi^T(x) \qquad (6)$$

то решение (5) сводится к решению задачи на собственное значение обыкновенных дифференциальных уравнений. Для случая вещественных собственных значений оказывается, что (I) можно представить в виде

$$V(t) = \frac{1}{2} d^T(t)\Lambda^{-1} d(t), \quad d(t) = \int_0^L \psi^T(x) q(x,t)\,dx \ (a) \qquad (7)$$

где d – вектор гармоник. Поскольку (3) гарантирует $\dot V < 0$, можно делать вывод, что V в этом случае является функцией Ляпунова для САР. Указывается на возможность учитывать в (6) и (7) только первые гармоники.

Изложенный метод МО можно применять и в случае отличных от (2) объектов. Оптимальность регулирования в этих случаях можно установить либо с помощью соответствующего принципа максимума (вывод которого может осуществляться по примеру вывода в приложении), либо, как показано в примере I работы, с помощью перехода к сосредоточенным параметрам, решения задачи с помощью нижеприведенных результатов и обратного перехода к распределенным параметрам.

Дальше в работе исследуются методы преобразования распределенных параметров в сосредоточенные, которые основаны на разделении переменных:

$$\text{ОР-А}:\ q(x,t) = D(t)\psi(x), \quad \text{ОР-В}:\ q(x,t) = \phi(x) d(t) \qquad (8)$$

где $\varphi(x)$ и $\phi(x)$ заранее подобранные функции, выполняющие условие ортогональности

$$\int_0^L \varphi(x)\varphi^T(x)\,dx = \Lambda, \quad \int_0^L \phi^T(x)\phi(x)\,dx = \Lambda, \quad \Lambda = \mathrm{diag}(\lambda_1,\dots,\lambda_N)$$

Подстановка одного из выражений (8) в уравнение объекта, умножение уравнения справа на ψ^T (или слева на ϕ^T) и последующее интегрирование по x и по частям приведет к уравнению

$$\dot d(t) = \hat A d(t) + \hat B \varphi(t)$$

причем для (8а) $d = vek\, D$ (vek означает образование вектора из строк матрицы). При использовании (8А) применяется специальная алгебра перестановки матриц, чтобы переставить матрицу D из середины продукта на край:

$$P = ADB = (A * B)\circ D = C \circ D$$

$$vek\, P = p = vek(C\circ D) = vek\, C\ vek\, D = \hat C d$$

Далее изложенные методы синтеза для сосредоточенных параметров с помощью описанных методов преобразования можно приспособить к синтезу распределенных систем. Возникающая в нижерассмотренных методах проблема получения информации о векторе состояния x решается уже в методах преобразования, т.е. после преобразований имеем оценку для всех компонент вектора x. Если методы применяются к объектам с сосредоточенными параметрами, то указывается на возможность применения известного в литературе наблюдателя (observer) для получения необходимой информации.

В методе ЖД (pool assignment) применительно к многомерному объекту

$$\dot x = Ax + Bu + d \qquad (9)$$

нужно найти такой оператор D, чтобы регулятор

$$u = D(x,d) \qquad (I0)$$

обеспечил поведение вектора x, выполняющее желаемую динамику

$$D_0(x) = \alpha_\ell x^{(\ell)} + \dots + \alpha_1 x^{(1)} + \alpha_0 x \equiv 0 \qquad (II)$$

где α_k в общем случае матрицы, ℓ – число, зависящее от размерности x и u, $x^{(k)} - d^k x/dt^k$

Искомый оператор D получается после умножения уравнений для $x^{(k)}, k=0,\dots,\ell$, полученных после $k-1$ кратного дифференциирования (9), на соответствующий α_k и суммирования всех уравнений. Это приводит к равенству $D_0 = D^0 = 0$, где D^0 – правая сторона этой суммы. Из $D^0(x,u,d) = 0$ определяется искомый оператор D, который будет в общем случае интегральным линейным оператором от x и $d, d^{(1)}, \dots, d^{(\ell-1)}$. Рассматриваются вопросы реализации этого оператора.

Желаемую динамику (II) можно рассматривать как некоторую экстремаль. Следовательно регулятор (I0) минимизирует критерий, для которого (II) экстремаль. Из этого соображения можно подобрать матрицы α.

Методы рассеяния являются модификацией метода ЖД, когда для $\ell = 1$ задается желаемая динамика (II) не обязательно для вектора x, а, возможно, и для определенного над ним функционала. Если, например, исходить из желаемой динамики

$$\dot V + \lambda V = 0 , \quad \lambda > 0 \tag{I2}$$

где $V = \frac{1}{2} x^T P x$, P – положительно определенная матрица, то для объекта (9) из (I2) получается при требовании $u^T Q u = min$, Q – положительно, квазилинейный закон регулирования в виде

$$u = - \frac{x^T \hat P A x + x^T \hat P d + \lambda x^T P x}{x^T \hat P B \hat Q^{-1} B^T \hat P x} \cdot \hat Q^{-1} B^T \hat P x = \alpha(x,d) K x \tag{I3}$$

где $\hat P = P + P^T$, $\hat Q = Q + Q^T$ и α – скаляр. При управлении (I3) минимизируется критерий

$$F = \frac{\lambda^2}{2} \int_0^\infty (x^T P x)^2 dt \tag{I4}$$

Рассматриваются также $V = p^T x$ вместе с (I2) и желаемая динамика $Wx + \dot x = 0$. Первый случай приводит для объекта (9) к регулятору

$$u = - \frac{p^T[(A+\lambda I)x + d]}{p^T B \hat Q^{-1} B^T p} \cdot \hat Q^{-1} B^T p \tag{I5}$$

который при требовании $u^T Q u = min$ минимизирует критерий

$$F = 2\lambda^2 \int_0^\infty x^T W x \, dt , \quad W = pp^T \tag{I6}$$

Для второго случая получается регулятор

$$u = K_1 x + K_2 d \tag{I7}$$

где K_1 и K_2 определенные матрицы. При этом минимизируется критерий

$$F = \int_0^\infty (x^T W_0 x + \dot x^T W_1 \dot x) dt , \quad W_0 + W_0^T = W , \; W_1 + W_1^T = I$$

для некоторого ограничения на управление, зависящего от ранга матрицы B в (9).

Для метода МО в случае с сосредоточенными параметрами по аналогии с вышерассмотренным случаем получаются необходимые и достаточные условия минимума критерия качества регулирования. Для этого рассматривался функционал

$$V(t) = \frac{1}{2} x^T(t) K x(t) \tag{I8}$$

с произвольной матрицей K. Применяя МО с (I8) к n-мерному объекту

$$\dot x = Ax + Bu \tag{I9}$$

получаем закон регулирования в виде

$$u^* = -\mathcal{U} sign\{\tfrac{1}{2} B^T (K + K^T) x\} , \quad -\mathcal{U} \le u \le +\mathcal{U} \tag{20}$$

Чтобы получить представления о качестве регулирования САР (I9), (20), зависящее заведомо от матрицы K, применяется принцип максимума

$$\mathcal{H} = \min_{u \in \mathcal{U}} (H + \Psi^T A x + \Psi^T B u)$$

где H пока неизвестное подинтегральное выражение критерия качества. Показывается, что регулятор (20) для объекта (I9) является необходимым и достаточным для минимизации критерия

$$F = \frac{1}{2} \int_0^\infty x^T W x \, dt + \frac{1}{2} \int_0^\infty \{x^T (K+K^T) B\} \mathcal{U} sign\{B^T (K+K^T) x\} dt = F_0 + F_1 \tag{2I}$$

если K выполняет условие

$$A^T K + KA = -W \qquad (22)$$

Положительно определенный член F_1 в (21) трактуется как учет взаимосвязи оптимального управления и состояния объекта.

Далее кратко рассматриваются вопросы решения уравнения (22).

От уравнений линейных распределенных объектов с помощью преобразования (8В) можно переходить к системе

$$\dot{d} = \Lambda d + Rv \ , \ \Lambda = \mathrm{diag}(\lambda_1, \ldots, \lambda_i, \ldots) \qquad (23)$$

где λ_i являются собственными значениями, соответствующими собственным функциям ϕ_i из $\phi = [\phi_1, \ldots, \phi_i, \ldots]$. Аналогично, из уравнений сосредоточенных линейных объектов с помощью модального преобразования тоже можно получить (23). Ввиду диагональности Λ можно регулировать отдельные компоненты вектора d независимо друг от друга, причем их число равняется рангу матрицы R. Если ограничиться первыми (наиболее медленными) гармониками, то описанные выше методы дают простые расчетные формулы для синтеза регуляторов.

Описывается методика определения первых (наиболее существенных для динамики объекта) уравнений системы (23) непосредственно из экспериментальных данных объекта. Методика основана на разной скорости убывания отдельных гармоник в случае устойчивых объектов.

В приложении к диссертации приводится материал для практического использования полученных результатов. Кроме табличного материала к схеме алгоритмизации имеются программы, написанные автором на ФОРТРАНе для расчета методов ЖД и ОР_А на ЦВМ, эффективные методы моделирования объектов с противотоком и результаты моделирования такого объекта на ЦВМ.

В ы в о д ы . По полученным в диссертации результатам можно сделать следующие основные выводы:

1. Предложена схема алгоритмизации методов синтеза, которая, благодаря ее иерархической структуре, может быть с одной стороны применена как некоторое пособие при решении практических задач синтеза, а с другой стороны позволяет в определенной мере выявить состояние и тенденции развития в области синтеза оптимальных детерминированных и непрерывных систем.

2. Схема алгоритмизации состоит из признаков общей постановки задач синтеза, из алгоритмов синтеза в виде последовательностей операторов, из системы операторов, метаоператоров и классов действий синтеза, а также из оценок алгоритмов, операторов и метаоператоров с точки зрения средней точности, средней трудоемкости, популярности и актуальности.

3. Предложен алгоритм поиска над схемой, который для конкретной постановки определяет наиболее подходящий алгоритм синтеза с точки зрения признаков и оценок. Поиск может, в частности, привести к еще не имеющимся в схеме алгоритмам.

4. Проведенный анализ схемы позволяет делать заключения о современном состоянии в рассмотренных методах и показать быстроразвивающиеся направления, которые конкретизируют общее принятое мнение по этим вопросам и подтверждают правомерность построения схемы.

5. Предлагается путь к синтезу методов синтеза, основанный на генерировании алгоритмов с последующим их обдумыванием. Реализация этого пути для линейных объектов приводит к перспективным методам и операторам, обдумывание которых во второй главе дает некоторые новые и усовершенствованные методы для синтеза.

6. Предложенные методы синтеза основаны на теории устойчивости и на вариационном исчислении и сводят определение закона регулирования к решению линейных уравнений. Сам регулятор, в зависимости от метода, является либо линейным, квазилинейным, релейным или линейным ин-

тегральным и предназначается главным образом для отработки начальных условий возмущенного объекта.

7. Для синтеза САР с распределенными параметрами предлагается метод мгновенной оптимизации (МО), основанный на применении функции Ляпунова. Устанавливаются необходимые и достаточные условия оптимальности метода МО. Для этого выводится принцип максимума для рассмотренных объектов.

8. Предлагаются методы преобразования распределенных параметров в сосредоточенные (методы ОР), которые, как показано в примерах, можно еще применять для моделирования, прогнозирования и оценки состояния объектов с распределенными параметрами.

9. Предлагаются методы для синтеза САР с сосредоточенными параметрами (методы МО, ЖД и рассеяния), которые вместе с методами ОР можно применять к распределенным объектам.

10. При применении методов для сосредоточенных параметров посредством методов ОР к синтезу САР с распределенными параметрами оказалось, что модальное регулирование по самой инерционной гармонике (доминанте) особенно эффективно. Предлагается экспериментальный метод определения настроек регуляторов для регулирования по доминанте.

11. Предложенные методы иллюстрируются аналитическими и экспериментальными примерами и приложениями.

По материалам диссертации автором представлены к печати следующие работы:

1. К.Бидка, Б.В.Ильин. Алгебра перестановки матриц в методе модального преобразования. Краткие сообщения ЛТИ, 1970, подсекция автоматизации химических производств.

2. К.Бидка, Б.В.Ильин. Метод рассеяния для синтеза оптимальной САР. Краткие сообщения ЛТИ, 1971, подсекция автоматизации химических производств (принята к печати).

3. К.Бидка, Б.В.Ильин. Метод желаемой динамики для синтеза САР, там же (принята к печати).

4. К.Бидка, Б.В.Ильин. Связь между принципом максимума, уравнением Риккати, методом функций Ляпунова и методом мгновенной оптимизации при синтезе САР, там же (принята к печати).

М-28322. 7.07.71. Зак.268. Т. 180.
РТП ЛТИ им. Ленсовета. Бесплатно.