РИЖСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

МЕШМАН Борис Ефимович

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОБ'ЕКТА С НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

05.255 – Техническая кибернетика

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

РИГА – 1973

РИЖСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

МЕШМАН Борис Ефимович

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

05.255 – Техническая кибернетика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рига – 1973 г.

Работа выполнена в лаборатории медицинской кибернетики Киевского ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института туберкулеза и грудной хирургии им.Ф.Г. Яновского.

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук С.Я. ЗАСЛАВСКИЙ,

доктор медицинских наук О.П. МИНЦЕР.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Л.Т.КУЗИН (Москва),

кандидат технических наук, доцент Я.Я. ОСИС (Рига),

доктор медицинских наук, профессор Н.А.АНДРЕЕВ (Рига).

Ведущая организация - ОКБ биологической и медицинской кибернетики (г.Ленинград).

Автореферат разослан "17" сентября 1973 г.

Защита диссертации состоится "12" ноября 1973 г. на заседании Совета по присуждению ученых степеней факультетов электроэнергетического, радиотехники и связи, автоматики и вычислительной техники Рижского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института (г.Рига, бульвар Кронвальда, I, актовый зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рижского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института (улица Ленина, I-а).

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью, просим направлять по адресу: г.Рига, 226355, ул.Ленина,I, Ученому Совету РПИ.

Ученый секретарь Рижского
политехнического института

(П.Г.ЕРМОЛИН)

На протяжении двух последних десятилетий неуклонно растет интерес к проблемам управления. Существенным шагом при решении этих проблем явилась идея об оптимальном управлении. Последняя была интенсивно развита и оформилась в виде так называемой математической теории оптимального управления, которая позволила решить ряд сложных и практически важных задач. Однако при этом можно эффективно решать лишь некоторые из них, связанные с управлением объектами с полной информацией. В частности, для строго детерминированных объектов, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями. С точки зрения инженера, учитывающей требования практики, этого недостаточно. Важные практические задачи связаны с объектами с неполной информацией, на которые действуют непредвиденные помехи. Более того, некоторые объекты являются настолько сложными, что в системе управления известны не сами воздействия, а лишь их статистические характеристики. Помехи представляют случайные (обычно закон распределения неизвестен) изменения характеристик объекта, которые не поддаются непосредственному измерению.

Первые попытки создания системы управления объектами с неполной информацией принадлежат Р. Беллману. Алгоритмы решения задач этого же класса для ряда простых случаев автоматического управления были предложены А.А. Фельдбаумом. Уже первые шаги показали сложность возникающих здесь математических и технических проблем, связанных в частности с недостаточностью исходных данных и ограниченностью памяти ЦВМ.

В настоящей работе рассматривается управление многопараметрическим объектом с неполной информацией. Управление состоянием такого объекта сводится к решению следующих задач:

I. Формирование описания состояния объекта и определение степени его отличия от нормы для каждого момента дискретного времени;

2. Выбор оптимальных воздействий с учетом возможных помех для фиксированного состояния;

3. Прогнозирование течения исследуемого процесса.

Непредвиденные помехи вызывают дрейф параметров объекта. При этом управляющие воздействия выбираются исходя из условий, которым должна удовлетворять последовательность соответствующих состояний так, чтобы компенсировать действие помех. В результате состояние объекта должно стремиться к наилучшему из всех, куда возможен переход, за конечный промежуток времени.

Предлагаемая система алгоритмов может быть использована для управления объектом, который удовлетворяет следующим условиям:

1. Состояние объекта в любой момент времени может быть описано конечным набором значений его параметров.

2. Можно выделить конечную последовательность моментов дискретного времени, достаточную для описания функционирования объекта.

3. Известны некоторые статистические характеристики управляющих воздействий.

4. Заданы статистические характеристики изменений состояний объекта вызываемых помехами.

Приведенным выше условиям удовлетворяют многие технические объекты. Так, в § 6 III-й главы рассматривается применение системы алгоритмов для управления реактором синтеза метилхлорсилана.

Типичным примером такого объекта является также живой организм, характеризующийся многомерностью входов и отсутствием четких зависимостей между входами и выходами. Законы функционирования каждого отдельного органа и точные зависимости между ними почти неизвестны, поэтому живой организм можно рассматривать как многопараметрический объект с неполной информацией.

Диссертация состоит из введения, трех глав и выводов.

В первой главе описывается современное состояние проблемы управления многопараметрическими объектами, приводится краткий обзор литературы и формулируются задачи, решение которых составляет содержание данной работы. Описаны основные алгоритмы системы активного контроля состояния объекта (системы А).

Кроме того, рассматриваются задачи, связанные с программной реализацией алгоритмов, в частности, оптимальное разбиение параметров, описывающих состояние объекта, на интервалы. Затем приводятся законы обучения алгоритмов.

Взаимодействие системы А с внешней средой можно рассматривать по схеме, предложенной В.М. Глушковым. Согласно этой схеме задаются два режима работы: режим экзамена ("вопрос-ответ") и режим обучения ("вопрос-ответ-оценка").

Предполагается, что каждое состояние объекта может быть описано значениями конечного набора параметров. Для задачи выбора оптимального воздействия и прогнозирования течения процесса изменений состояний объекта необходимо указанный набор упорядочить по степени влияния на качество функционирования объекта.

Если состояние объекта описывается значениями m параметров, то их удобно представить в виде вектора

$$\bar{y} = (y_1, \dots y_m),$$

где: y_i - значение i-го параметра.

Конечное множество последовательных состояний в различные моменты времени обозначим через Q. Множество Q разбивается на τ непересекающихся классов таким образом, что каждый из них определяет состояние объекта в фиксированный момент дискретного времени t $(0 \leq t \leq \tau)$. Между каждым интервалом разбиения K любого параметра y_i и элементом множества Q установлено взаимно однозначное соответствие. Из всякого элемента t-го класса может быть осуществлен переход в любой элемент только $t+1$-го класса. Каждому возможному переходу сопоставлено действительное неотрицательное число P_{ij}^{ℓ} $(0 \leq P_{ij}^{\ell} \leq 1)$, которое можно интерпретировать как вероятность перехода из элемента i t-го класса в элемент j $t+1$-го класса при применении воздействия ℓ.

Параметр y_i $(i = 1, \ldots, m)$ принимает b_i значений, где: b_i – число интервалов значений y_i. Если значение параметра y_i находится в K-ом интервале и K-ый интервал параметра y_i соответствует норме, то $y_i = 0$. Если K-ый интервал представляет максимальное отклонение от нормы, то $y_i = b_i - 1$. Итак,

$$0 \leq y_i \leq b_i - 1$$

Рассмотрим множество Q, состоящее из τ классов. Каждый класс содержит одно и то же число элементов, равное $\sum\limits_{i=1}^{m} b_i$.

Пусть состояние объекта $\bar{y}_i = (y_1, \ldots, y_m)$. Отметим во множестве Q элементы нулевого класса, которые соответствуют значениям параметров y_i $(i = 1, \ldots, m)$. Если каждому отмеченному элементу множества Q сопоставить единицу, а остальным элементам нулевого класса – 0, то исходное состояние объекта описывается набором нулей и единиц.

Каждому элементу x множества Q сопоставлена пара действительных неотрицательных чисел: G_x и C_x – его вес и порог.

Вопросы – m-мерные векторы $\bar{y} = (y_1, y_2, \ldots, y_m)$, где: m – число параметров, описывающих состояние.

При этом $y_i = 0, 1, 2, \ldots, b_i - 1$, b_i – число разбиений каждого параметра.

Выдаваемый системой А ответ это τ m-мерных векторов, каждый из которых описывает состояние, и все воздействия, которые выбирались в каждый дискретный момент времени t для соответствующего состояния.

Разобьем значения параметров так, чтобы к значениям, принадлежащим одному и тому же интервалу, применялся один и тот же набор воздействий.

Для этого на первом этапе экспертам предъявлялся список параметров и предлагалось произвести разбиение каждого параметра на интервалы, удовлетворяющие указанному условию.

Предлагаемый метод применялся, когда для параметра существует много воздействий, т.е. $b \leq N$

Затем перейдем к следующему этапу разбиения.

Выберем $\mathcal{Y}$ реализаций, содержащих хоть одно значение параметра y_i, в которых после фиксированного воздействия ℓ были получены удовлетворительные результаты. Предположим, что для параметра y_i с пределами изменения от Ψ_0 до Ψ_k в $\mathcal{Y}$ реализациях применяется N воздействий. Определим для каждого значения Ψ из промежутка $[\Psi_0, \Psi_k]$ количество реализаций процесса, в которых применялось воздействие ℓ.

Предположим, что параметр y_i разбивается на b интервалов ($b<N$). Тогда вероятность воздействия ℓ для y_i, принадлежащих k-му интервалу равна:

$$P_k^\ell = \frac{\mathcal{Y}_k^\ell}{\mathcal{Y}^\ell}$$

где: $\mathcal{Y}_k^\ell$ - количество реализаций, в которых применялось воздействие ℓ, для значений, принадлежащих k-му интервалу, а $\mathcal{Y}^\ell$ - общее число реализаций, в которых применялось воздействие ℓ.

Очевидно, что наилучшим будет такое разбиение, при котором $P_k^\ell = 1$ для всех интервалов k (от 1 до b), и всех ℓ (от 1 до N), т.е. воздействие ℓ применяется только для одного интервала.

Для величины ψ при воздействии ℓ введем характеристику H_ψ^ℓ неопределенности воздействия ℓ:

$$H_\psi^\ell = -\sum_{k=1}^{b} P_k^\ell \log P_k^\ell$$

При наилучшем разбиении $P_k^\ell = 1$ ($k = 1, 2, \ldots, b$) и применении воздействия ℓ имеем $H_\psi^\ell = 0$, но такое разбиение практически получить трудно, поэтому требуется оценить какое из имеющихся разбиений ближе всего к наилучшему. Тогда оптимальным будет такое разбиение, когда H_ψ стремится к H_{min} для $1 \le k \le b$ и $1 \le \ell \le N$.

Для всех показаний экспертов находим значение H_ψ. Лучшим будет такое разбиение, для которого H_ψ - минимальна.

Каждому интервалу k сопоставлена действительная, неотрицательная величина, которая называется весом интервала. Вес нормы равен единице. Интервал, соответствующий большему отклонению от нормы для данного параметра, имеет больший вес. Пусть

$$1 \le G_k(y_i) \le G_{max}$$

где: G_{max} - некоторая константа;

$G_j(y_i)$ - вес j-го интервала параметра y_i.

Пусть объект находится в состоянии, отличающемся от нормы. Обычно в таком случае существует набор воздействий, с помощью которых, вообще говоря, можно нормализовать состояние. Если бы система управления была детерминирована, то выбор воздействия полностью определил бы переход объекта в желаемое состояние. Однако при этом часто возникают непредвиденные помехи, вызывающие дрейф параметров объекта. Поэтому представляет значительный интерес предсказание появления возможного дрейфа параметров и выбор воздействий не только нормализующих состояние, но и компенсирующих возможное действие помех. Эту задачу удобно рассматривать совместно с прогнозированием течения исследуемого процесса, указывая на каждом уровне возможные состояния и дрейф параметров.

Положим: y_i "лучше" $y_i^{(1)}$, если $y_i \le y_i^{(1)}$. Тогда $\bar{y}$ "лучше" $\bar{y}^{(1)}$, когда $\bar{y} \le \bar{y}^{(1)}$, т.е. $y_i \le y_i^{(1)}$ для всех $i = 1, 2, \ldots, m$. Если $\bar{y}$ состояние объекта на r-1-ом уровне соответствующего r-1-му классу множества Q, а $\bar{y}^{(1)}$ состояние объекта на r-ом уровне и $\bar{y} \le \bar{y}^{(1)}$, то будем говорить, что осуществляется переход из худшего состояния в лучшее.

Оптимальным будем считать такое воздействие, при котором:

1) осуществляется переход из худшего состояния в лучшее;

2) состояние объекта в результате выбранного воздействия стремится к наилучшему из всех, куда возможен переход из данного.

Ответ системы А считается правильным, если на каждом последующем уровне состояние лучшее, чем на предыдущем, т.е.

$$\bar{y}^{(1)} \geqslant \bar{y}^{(2)} \geqslant \dots \geqslant \bar{y}^{(z)} \qquad (I)$$

Задача состоит в том, чтобы при заданных условиях найти такую оптимальную стратегию управляющей системы А, чтобы выполнялись неравенства (I).

Дрейфом для определенного значения параметра y_i будем считать любое его значение такое, что $y_i < y_i^{(1)}$. Таким образом, при оптимальном воздействии должны быть компенсированы все возможные действия помех. Стратегией управления будем называть полный набор воздействий, который выбран для данного объекта на всех уровнях. Тогда оптимальной назовем такую стратегию, при которой выполняются неравенства (I).

Для функционирования системы А необходимо, чтобы множество Q было описано массивами информации. В настоящей работе использовались четыре массива, причем только первый массив является необходимым для функционирования системы А.

Массив № I содержит все элементы множества, в которые можно перейти из данного, полный набор воздействий для каждого перехода. Обозначим P_{ij}^{ℓ} -вероятность перехода из элемента i в j при воздействии ℓ. Если применяется воздействие ℓ для элемента i, то с вероятностью P_{ij}^{ℓ} осуществляется переход в j, $P_{ij_2}^{\ell}$ - в другой элемент j_2, $P_{ij_3}^{\ell}$ - в третий элемент j_3 и т.д. Очевидно, $\sum_j P_{ij}^{\ell} = 1$ для всех возможных переходов из данного элемента i при воздействии ℓ.

Для того, чтобы заранее назначить воздействие, которое компенсировало бы действия помех, в массиве № I для каждого элемента указываются возможный дрейф σ параметра y_i и вероятности $q_{\sigma(j)}^{\ell}$ его появления при переходе в элемент j и применения

воздействия ℓ. Кроме того содержатся вероятности $\tau_{\sigma}^{\lambda(\ell)}$ компенсации дрейфа σ с помощью воздействий $\lambda(\ell)$.

Массив № 2 содержит сведения о неприменимости воздействия ℓ, соответствующего элементу i из состояния $\bar{y}$, если один из фиксированных элементов класса, соответствующий вектору $\bar{y}$ (например, j, ..., k) равен единице.

Сведения из массива № 3 в каком-то смысле отображают опыт специалиста при управлении объектом. Пусть, например, для элемента i существует воздействие, которое применяется редко (малая вероятность P_{ij}^{ℓ} при $G_i > G_j$), но если в состоянии $\bar{y}$ координата $y_k = 1$, то данное воздействие применяется почти всегда. В массиве № 3 указывается, что при y_k = I и выбранном воздействии ℓ вероятность перехода в j резко увеличивается (ℓ применяется одновременно для двух элементов).

Массив № 4 содержит сведения, что ℓ_1 недопустимо, если уже назначалось одно из воздействий $\ell_2, \dots, \ell_n$.

Таким образом, если сведения о состоянии $\bar{y}$ для фиксированных элементов можно пополнить из массива № 3, то для них можно сразу выбрать водействие из этого массива.

Предположим во множестве Q из элемента i возможны переходы в элементы $j, \dots, k$. Пусть также $q_{\sigma(j)}^{\ell}$ - вероятность появления элемента σ, который характеризует дрейф параметра при переходе в j под влиянием воздействия ℓ, G_{σ} - вес элемента σ; $\tau_{\sigma}^{\lambda(\ell)}$ - вероятность того, что можно компенсировать дрейф параметра с помощью воздействия $\lambda(\ell)$.

Очевидно $1-\tau_{\sigma}^{\lambda(\ell)}$ - вероятность того, что воздействие $\lambda(\ell)$ не компенсирует возможный дрейф параметра, возникающий при переходе в j, под влиянием воздействия ℓ.

Обозначим Δg_σ уклонение от нормы веса G_σ, т.е. $\Delta g_\sigma = G_\sigma - 1$ (напомним, вес нормы равен единице).

Для случая, когда дрейф параметров возникает при переходе в элемент j под влиянием воздействия ℓ, необходимо оценить уклонение выбранной стратегии от оптимальной. Это уклонение будем характеризовать величиной R_j^ℓ. Последняя в случае дрейфа σ одного параметра определяется из соотношения:

$$R_j^\ell = q^\ell_{\sigma(j)} \Delta g_\sigma (1-\tau_\sigma^{\lambda(\ell)})$$

Если рассматривается дрейф нескольких параметров, то для определения R_j^ℓ производится суммирование по всем σ

$$R_j^\ell = \sum_\sigma q^\ell_{\sigma(j)} \Delta g_\sigma (1-\tau_\sigma^{\lambda(\ell)})$$

Рассмотрим величину

$$V_{ij}^\ell = P_{ij}^\ell (G_i - G_j) - R_j \qquad (2)$$

Здесь V_{ij}^ℓ подсчитывается для всех элементов $j, \ldots, K$, в которые возможен переход из i и соответствующих ℓ.

В формуле (2) $G_i - G_j$ -характеризует "качество" перехода, чем больше разность, тем "лучше" этот переход. Величина $P_{ij}^\ell (G_i - G_j)$ характеризует среднее значение перехода.

Тогда V_{ij} есть характеристика перехода из i в j в смысле приближения соответствующего параметра к норме, с учетом вероятности этого перехода и уклонения от оптимальной стратегии.

Если в элементы $j, \ldots, K$, можно перейти только из i, то среди всех возможных воздействий оптимальным будет такое, которое максимизирует V_{ij}^ℓ.

Если в j можно перейти не только из i, а из других

отмеченных элементов, то вероятность перехода из i в j, должна возрасти. Естественно предположить, что увеличение вероятности перехода прямо пропорционально весам элементов, из которых возможен переход в j, и вероятности каждого такого перехода при всех возможных воздействиях. Для этого случая "качество" перехода из i в j будем характеризовать величиной:

$$W_{ij}^\ell = V_{ij}^\ell + t\left[G_\theta \sum_\ell P_{\theta j}^\ell + \ldots + G_s \sum_\ell P_{sj}^\ell\right],$$

где: t - коэффициент, подбираемый в процессе обучения и определяющий на сколько увеличивается вероятность перехода в j, при наличии других элементов $\theta, \ldots, S$, из которых также возможен переход в j;

$\sum_\ell P_{\theta j}^\ell$ - вероятность перехода из θ в j, при всех возможных воздействиях, очевидно $\sum_\ell P_{\theta j}^\ell \leq 1$, т.к. из θ при всех возможных воздействиях могут быть переходы и в другие элементы, отличные от j.

Обозначим

$$T_{ij}^\ell = t\left[G_\theta \sum_\ell P_{\theta j}^\ell + \ldots + G_s \sum_\ell P_{sj}^\ell\right]$$

Отсюда оптимальное воздействие для элемента i при всех возможных переходах определяется по формуле

$$W_i = \max_{j,\ell} (V_{ij}^\ell + T_{ij}^\ell) \qquad (3)$$

Производится отдельно выбор основного и компенсирующего воздействия для дрейфа параметров. Последнее выбирается по формуле:

$$T_\sigma = P_{i\sigma}^\ell G_i + T_{i\sigma}^\ell \qquad (4)$$

Рассмотрим случайную величину ξ, которая может принимать значение I (дрейф параметра имеет место) с вероятностью P и O (дрейфа параметра нет) с вероятностью $q = (1 - p)$. Так как значение случайной величины зависит от времени t (в данном случае от класса τ множества Q, соответствующего этому времени), то рассматривается случайный процесс.

$$\xi(\tau) = f(e, \tau), \quad (e \in U),$$

где: U – множество элементарных событий, интерпретируемых как наступление или не наступление определенного дрейфа параметра.

Случайный процесс $\xi(\tau) = f(e, \tau)$ не является стационарным процессом, т.к. $M_\xi(\tau + 1) \neq M_\xi(\tau)$ и не является марковским процессом, т.к. прошлые состояния системы и применяемые ранее воздействия оказывают влияние на вероятность ее будущих состояний.

Случайный процесс $\xi(\tau) = f(e, \tau)$ можно разбить на два:

1) нестационарный марковский $\xi'(\tau) = f'(e, \tau)$, который зависит только от одного предыдущего состояния объекта;

2) стационарный случайный $\xi''(\tau) = f''(e, \tau, \tau-1, \ldots, 0)$, зависящий от всех предыдущих состояний объекта и применяемых ранее воздействий.

Значение предсказываемой переменной σ определяется из уравнения $T_\sigma = T_{\sigma ср} + \Delta T_\sigma$,

где: $T_{\sigma ср}$ – значение функции для дрейфа σ параметра, в зависимости от состояния объекта в предыдущий момент времени, определяется по формуле (4), а значение функции ΔT_σ, зависящей от предыдущих состояний объекта и применяемых ранее воздействий

$$\Delta T_\sigma = \sum_{\tau'=1}^{\tau'=\tau-1} \frac{T_\sigma^{\tau} - T_\sigma^{\tau'}}{\tau - 1}$$

Значение функций T_σ сравнивается с порогом для σ. Если $T_\sigma \geq C_\sigma$, то вводится компенсирующее воздействие, при $T_\sigma < C_\sigma$ – не вводится.

Возникает задача определения значения порога C_σ, который подбирается в процессе обучения.

В качестве обучающей последовательности выбираем L реализаций процесса. Если в реализации отмечено, что применялось компенсирующее воздействие для σ, то $l_\sigma = 1$ не применялось – $l_\sigma = 0$. Обучение будем производить изменением порогов, при фиксированном значении коэффициента t. Пусть $C_\sigma(L)$ значение порога, после сообщения обучающей последовательности L, а $L' = L + 1$.

Тогда:

$$C_\sigma(L') = \begin{cases} C_\sigma(L) + \Delta C, & T_\sigma \geq C_\sigma(L), \text{ а } l_\sigma = 0 \\ C_\sigma(L) - \Delta C, & T_\sigma < C_\sigma(L), \text{ а } l_\sigma = 1 \\ C_\sigma(L), & T_\sigma < C_\sigma(L), \text{ а } l_\sigma = 0 \text{ или } T_\sigma \geq C_\sigma(L), \text{ а } l_\sigma = 1 \end{cases}$$

После того, как подобрано значение C_σ, при фиксированном t, переходим к выбору коэффициента t, при фиксированном C_σ, найденном ранее.

На каждом последующем уровне априорные вероятности дрейфа параметров заменяются апостериорными, и определяется для каких из них назначать компенсирующее воздействие.

Затем выбирается такая стратегия управления, при которой максимизируется функционал W_i по формуле (3).

Глава вторая посвящена анализу системы А.

Значение некоторых констант, необходимых для функционирования системы А, выбираются из интуитивных соображений, поэтому для улучшения качества работы системы А необходимо подобрать такие значения некоторых из этих констант, при которых система

А в некотором смысле будет функционировать наилучшим образом.

Вводится понятие правильного ответа. Пр обучении по определенной реализации системе А сообщается состояние объекта $\bar{Y}$ в фиксированный момент дискретного времени, содержащееся в этой реализации. Тогда ответом системы будет состояние объекта в следующий момент времени и выбранное при этом воздействие. Система А определяет, для какого возможного дрейфа параметра y_i необходимо назначить компенсирующее воздействие.

Тогда правильным ответом при обучении будем считать такой ответ системы А, который совпадает с содержимым соответствующей реализации по каждому параметру.

Доказывается, что после обучения системы А с помощью случайной обучающей последовательности, характеризующейся заданной длиной и удовлетворяющей определенным условиям, при рассматриваемых законах обучения, вероятность получения правильного ответа будет стремиться к единице, если длина обучающей последовательности стремится к некоторому конечному значению.

Определяется минимальная длина обучающей последовательности, необходимая для получения максимального количества правильных ответов. Функционирование системы А, при котором количество правильных ответов будет максимальным, назовем оптимальным.

Доказывается, что если обучающая последовательность удовлетворяет определенным условиям и при обучении с помощью этой последовательности достигнута оптимальная работа системы, то при этих же значениях параметров, функционирование системы будет оптимальным для проверочной последовательности сколь угодно большой длины.

В третьей главе приведены результаты применения системы алгоритмов для выбора оптимального лечения с учетом возможных осложнений и прогнозирования течения заболевания при митральном пороке сердца. Рассматривается также применение системы для автоматического контроля состояния человека-оператора в экстремальных режимах. Разбирается схема практической реализации системы применительно к выбору оптимального лечения для больного организма. Описывается содержимое и представление всех массивов при реализации системы на ЦВМ "Минск-22".

Весь процесс лечения больного должен быть разбит на этапы таким образом, чтобы вероятности переходов из одного состояния в другие и вероятности возможных осложнений в любой момент времени, принадлежащий одному этапу лечения, были одинаковы.

Приведен пример разбиения на этапы при оперативном вмешательстве по поводу митрального порока сердца.

Так как различным возрастным категориям больных соответствуют различные интервалы разбиения, то указывается, каким образом это можно учесть при разбиении значений параметров на интервалы. Количество циклов обучения системы и качество ее работы зависит от выбора начальных значений изменяемых параметров и главное от шага изменения. Даются рекомендации для выбора шага для изменяющихся величин. Описывается также функционирование системы, если реальное состояние больного на каком-то этапе не соответствует состоянию, предсказанному системой.

Рассматриваются факторы, влияющие на выбор оптимального лечения и на точность прогнозирования течения заболевания. Указывается каким образом может быть получена исходная информация для составления каждого массива. Приведены рекомендации получения констант, необходимых для функционирования системы.

Описана блок-схема программы для выбора оптимального лечения и прогнозирования течения заболевания в режиме экзамена. Затем описываются изменения в блок-схеме при работе в режиме обучения.

Обучение производилось для 104 осложнений. Всего использовалось 800 историй болезни больных по поводу оперативного вмешательства при митральной недостаточности. После обучения системы ей было предложено 100 различных вопросов, которые не входили ни в одну обучающую последовательность. Из 100 ответов системы 78 были правильными (78%).

Затем рассматривается применение системы А для автоматического контроля и управления состоянием человека-оператора в экстремальных режимах. В этом параграфе рассматриваются различия между задачами в первом и во втором случаях и указываются особенности функционирования системы А применительно к человеку-оператору.

В конце третьей главы рассматривается применение системы А для управления реактором синтеза метилхлорсиланов. Показаны значительные преимущества, которые могут быть получены при оптимальном управлении с компенсацией дрейфа параметров сравнительно с другими методами контроля.

ВЫВОДЫ

1. Повышение требований к точности технической диагностики, прогнозирования и выбора оптимальных воздействий, а также значительное увеличение объема исходной информации обусловили необходимость создания алгоритмов и программ для решения этих задач с

помощью ЦВМ. При выборе оптимального воздействия необходимо предсказывать возможные дрейфы параметров. Выбор компенсирующих воздействий для возможных дрейфов параметров с помощью ЦВМ открывает новые возможности управления сложными объектами (в частности для оказания помощи больному).

2. Разработана система обучающихся алгоритмов контроля и управления многопараметрическим объектом с неполной информацией.

3. Разработаны алгоритмы, одновременно решающие следующие задачи:

а) формирование описания состояния и определение степени его отличия от нормы для каждого момента дискретного времени;

б) выбор оптимальных воздействий с учетом возможного дрейфа параметров при фиксированном состоянии;

в) прогнозирование течения процесса управления объектом.

4. Разработанная система алгоритмов предсказывает возможный дрейф параметров и выбирает воздействия для его компенсации. Предсказание возможного дрейфа рассматривается как нестационарный марковский процесс. Таким образом прогноз строится с учетом всей предыстории.

5. Предложен метод оптимального разбиения на интервалы параметров, используемых для описания состояния объекта.

6. Предложен критерий правильности ответа, представляющий собой формализацию приемов, которыми пользуется специалист при оценке своей деятельности.

7. Предложен метод определения минимальной длины обучающей последовательности, удовлетворяющей следующему условию: если при обучении с помощью ОП количество правильных ответов системы алгоритмов будет максимальным, то при выбранных параметрах количест-

во правильных ответов будет максимальным для любой проверочной последовательности, сколько угодно большой длины.

8. Доказывается, что при выбранным законах обучения максимальное количество правильных ответов системы достигается при обучении с помощью ОП конечной длины, причем скорость сходимости увеличивается, если обучение производится одновременно по нескольким коэффициентам, входящим в функционалы выбора оптимальных воздействий и прогнозирования дрейфа параметров.

9. Система алгоритмов рассмотрена с позиции теории автоматического регулирования и показана целесообразность использования обратной связи для случая, когда предсказанное состояние объекта в какой-то момент времени не совпадает с его действительным состоянием в этот же момент времени.

10. При использовании системы для выбора оптимального лечения с учетом возможных осложнений приводится методика обработки историй болезни для составления информационных массивов медицинских данных.

11. Рассматривается применение системы для автоматического контроля и управления состоянием человека-оператора в экстремальных режимах.

12. Рассматривается применение разработанной системы алгоритмов для управления реактором синтеза метилхлорсиланов.

13. Практическое использование системы выбора оптимального лечения с учетом возможных осложнений показало, что она дает 78% правильных ответов. Такие результаты свидетельствуют об эффективности ее применения в медицине.

Материалы диссертации доложены:

1. На I Республиканской конференции по применению математических методов в здравоохранении и медицинской науке. Тбилиси, 1971.

2. На симпозиуме по вопросам автоматизации сбора и обработки медицинской информации и применения биотелеметрии в практике курортов. Одесса, 1972.

3. На Республиканской конференции по проблеме биоуправление, диагностика и прогнозирование. Минск, 1972.

4. На Республиканских семинарах по медицинской кибернетике и нейробионике, Киев, 1970-1972.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Разработка и программное моделирование специализированного вычислительного устройства для обработки медицинской информации, в сб. "Материалы первой республиканской конференции по применению математических методов и вычислительной техники в здравоохранении". Тбилиси, 1971, 77-79 (совместно с О.П. Минцером).

2. Схема активного контроля за состоянием больного. Труды конф. по проблеме биоуправление, диагностика и прогнозирование. Минск, 1972 (совместно с С.Я. Заславским).

3. Задача оптимизации при автоматизации лечебного процесса. Труды симпозиума по вопросам автоматизации сбора и обработки медицинской информации и применения биотелеметрии в практике курортов. Киев-Одесса, 1972 (совместно с С.Я. Заславским).

4. Математическая модель контроля состояния больного. Труды семинара по медицинской кибернетике ИК АН УССР, Киев, 1972.

5. Оптимизация воздействий на человека в экстремальных режимах. Труды Республиканского семинара по нейробионике ИК АН УССР, Киев, 1972.