

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044567**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.09.06

(51) Int. Cl. **G05B 13/00** (2006.01)
G06F 17/10 (2006.01)

(21) Номер заявки
202200129

(22) Дата подачи заявки
2021.08.06

(54) СПОСОБ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ НАД СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ПРИ НЕСМЕЩЁННОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДНОГО ПАРАМЕТРА

(31) 2021106104

(56) RU-C1-2565367
RU-C1-2296356
US-B1-6496761

(32) 2021.03.09

(33) RU

(43) 2022.12.14

(86) PCT/RU2021/000328

(87) WO 2022/191733 2022.09.15

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и патентовладелец:

**ПОЛОСИН ВИТАЛИЙ
ГЕРМАНОВИЧ (RU)**

(57) Изобретение относится к способам организации мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения выходного параметра и может быть использовано в системах контроля и управления различных динамических систем, обладающих хаотическими свойствами. Технический результат состоит в повышении устойчивости функционирования стохастической системы за счёт мониторинга и контроля параметров формы и масштаба несмещённой несимметричной плотности распределения выходного параметра. На основе регистрации состояния объекта и формирования значений выборочного параметра определяются координаты энтропийно-параметрического пространства признаков формы для несимметричной несмещённой плотности распределения выходного параметра. Для обеспечения единства оптимальности управления в различных точках энтропийно-параметрического пространства проводится формирование пространства оптимального состояния системы. Унификация данных вблизи различных оптимальных состояний системы при выборе формы модели достигается заданием границы зоны контроля, определением нормированных координат положения для распределения выходного параметра в пространстве признаков оптимального состояния системы, определением критерия для состояния системы и определением координат положения возможных моделей в пространстве признаков оптимального состояния. Минимизация рассогласования энтропийно-параметрического потенциала несимметричного распределения выходного параметра стохастической системы обеспечивает контроль масштаба модели распределении системы. Непрерывная запись параметров распределения выходного параметра сохраняет возможность восстановления состояния системы при проведении анализа. Визуализация процессов достигается картированием состояния стохастической системы в энтропийно-параметрическом пространстве признаков выходного параметра.

044567 B1

044567 B1

Изобретение относится к способам организации мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения выходного параметра и может быть использовано в системах контроля и управления различных динамических систем, обладающих хаотическими свойствами.

Известен способ контроля стохастическим процессом, заключающийся в выделении n -мерного вектора выходного параметра Y , определении и минимизации величины среднеквадратического отклонения (СКО) выходного параметра. Типичным примером реализации известного способа является задача определения оптимальной передаточной функции системы, обеспечивающей минимизацию дисперсии или среднеквадратической ошибки выходного параметра. Способы оптимальной фильтрации векторных случайных сигналов реализуются при решении задач построения оптимального фильтра Винера и задач построения систем фильтра Калмана [1,2].

Известно устройство для измерения характеристик случайного процесса, в котором повышение достоверности определения вида симметричного закона распределения вероятности случайных параметров обеспечивается за счёт определения энтропийного коэффициента и значения контр эксцесса [3]. Несмотря на то, что данное устройство за счёт процедур сравнения коэффициента энтропии и контрэксцесса позволяет установить нормальное, треугольное, арксинусоидальное, трапецеидальное, антимодальное и равномерные распределения, для всех остальных форм устройство выдаёт сообщение "распределение не определено". В устройстве за счёт включения процедуры сравнения характеристики асимметрии реализовано выделение не симметричного распределения без установления его вида.

Известен способ контроль условной плотности распределения выходного сигнала для обобщённых нелинейных и негаусовых стохастических систем [4], при котором оптимальное управление достигается путем встраивания в динамическую систему рекурсивной формулы и минимизации разности между условной выходной и целевой плотности вероятности. В этом случае особенность контроля состоит в использовании частичной аппроксимации траектории в качестве целевой плотности распределения. Основным недостатком контроля состоит в замене реальной плотности вероятности её линейной или параболической аппроксимацией. При этом закон распределения параметра остаётся неизвестен.

Наиболее близким к предполагаемому изобретению является способ контроля и управления динамической системы [5], заключающийся в том, что осуществляется регистрация состояния объекта, формирование выборки u_i значений выходного параметра $u(t)$, определение математического ожидания M , среднего квадратического отклонения σ и четвёртого центрального момента μ_4 распределения выходного параметра, энтропийного потенциала выходного параметра $\Delta_{H\sigma}$; формирование базы данных эталонных параметров закона распределения выходного параметра, проверку состояния объекта принадлежности области оптимального состояния; трансформация закона распределения управляемого параметра за счёт изменения настроек параметра регулятора, корректировку закона распределения и формирование управляющего воздействия.

Как следует из формулы изобретения, в известном способе контроля и управления динамической системой осуществляется определение коэффициента энтропии симметричного распределения и контрэксцесса; определение энтропийно-параметрического критерия области оптимального управления; определение величины энтропийно-параметрического потенциала симметричных распределений; минимизация величины энтропийно-параметрического потенциала динамической системы и корректировку реального параметра закона распределения выходного параметра [5].

В качестве недостатков данного способа контроля и управления динамической системой следует отметить

- ограничение моделей поведения системы только набором симметричных форм распределений выходного параметра;
- отсутствие способа выбора формы несимметричного распределения, влияющей на степень неопределённости состояния системы;
- отсутствие оценки границы оптимальной зоны;
- отсутствие алгоритма выбора параметров модели таких, как параметры формы и параметры масштаба распределений выходного параметра.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 приведён пример контроля условной плотности распределения выходного параметра для обобщённой нелинейной и негауссовой стохастической системы.

На фиг. 2 приведена схема процесса, реализующего известный способ контроля и управления динамической системой.

На фиг. 3 приведена топографическая диаграмма, иллюстрирующая состояние динамической системы выходного параметра при реализации известного способ контроля и управления.

На фиг. 4 приведены чертежи моделей задания энтропийных и параметрических неопределённостей при симметричном и несимметричном распределении:

- а) модель неопределённостей для симметричного распределения;
- б) модель неопределённостей для несимметричного распределения;

На фиг. 5 приведена эпюра координатного пространства признаков, иллюстрирующая состояние системы при несмещённой несимметричной целевой плотности распределений выходного параметра.

На фиг. 6 приведена схема процесса, реализующего предлагаемый способ мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения выходного параметра.

На фиг. 7 приведена схема процесса формирования пространства оптимального состояния стохастической системы.

На фиг. 8 приведена схема процесса определения масштаба модели распределения выходного параметра для стохастической системы

На фиг. 9 приведена проекция зоны контроля на нормированные координаты асимметрии и коэффициента энтропии в нормированном пространстве признаков оптимального состояния системы.

На фиг. 10 приведена проекция зоны контроля на нормированные координаты эксцесса и коэффициента энтропии в нормированном пространстве признаков оптимального состояния системы.

На фиг. 11 приведена проекция зоны контроля на нормированные координаты асимметрии и эксцесса в нормированном пространстве признаков оптимального состояния системы.

На фиг. 12 приведена проекция пространства энтропийной и параметрической неопределённости несимметричных распределений.

На фиг. 13 приведена функциональная схема устройства мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения.

Подробное описание изобретения

Материал подробного описания содержит пояснения вариантов осуществления изобретения со ссылками на чертежи, где аналогичные ссылочные позиции представляют одинаковые или подобные элементы.

На современном этапе развития техники сравнительно новым направлением контроля для класса нелинейных стохастических систем представляет собой задача отслеживания трека плотности распределения по отношению к целевой функции плотности распределения выходного параметра [6]. Для таких систем цель контроля состоит в минимизации разности между частичной аппроксимацией плотности распределения контролируемого параметра на выходе системы и аппроксимацией, заданной в качестве целевой плотности распределения. Среди особенностей контроля отмечается необходимость выбора текущего значения контролируемого параметра таким образом, чтобы кусочная аппроксимация плотности распределения выходного параметра могла следовать за целевой плотностью распределения [7].

На фиг. 1 дан пример контроля условной плотности распределения выходного параметра для обобщённой нелинейной и негаусовой стохастической системы. При контроле негаусовой условной плотности распределения используется замена реальной функции плотности распределения выходного параметра её нелинейной моделью в виде степенного ряда на ограниченном интервале значений наблюдаемого параметра y . При этом аппроксимация целевой плотности распределения задаётся до четвёртого порядка из условия, что распределение Гаусса принято в качестве желательного распределения выходного параметра.

Среди недостатков известного способа контроля следует отметить чувствительность трека распределения к текущим значениям выходного параметра, обусловленного заменой реальной плотности распределения параметра с длинными хвостами её моделью, которая аппроксимирует распределение на конечном интервале с помощью симметричного степенного ряда четвёртого порядка. При таком подходе появление неустойчивости трека плотности распределения выходного параметра обусловлено конечной вероятностью появления значений на хвостах реального распределения, значительно удалённых от центра распределений случайных значений выходного параметра. По этой причине для обеспечения стабильности в подобных системах используются схемы контроля, которые реализуют рекурсивные методы выбора текущего значения выходного параметра, т.е. замену реального значения результатом рекурсивного алгоритма для обеспечения целевой симметричной модели распределения.

В качестве недостатка контроля следует также отметить отсутствие информации об изменении формы принятой модели стохастической системы, так как принятая аппроксимация целевой функции справедлива для большого многообразия моделей негаусовых стохастических систем.

Применение моментов высокого порядка с целью получения формы распределения также приводит к неустойчивому результату [6]. Основным недостатком применения вероятностные признаки для анализа распределений состоит в тенденции распределений кластеризоваться примерно на одну линию в большей степени, чем допустимо для реального обнаружения изменчивости выборочных наблюдений, принадлежащим различным типам распределений [8]. По этой причине в известных системах анализа распределений после приближённой идентификации распределений проводится выбор распределения путём установления справедливости распределений с помощью специализированных критериев [9, 10].

Известен способ контроля и управления динамической системой, основанный на анализе и целевом изменении величины энтропийного потенциала Δ_H выходного параметра, равного произведению величины среднего квадратического отклонения σ на энтропийный коэффициент K_H [11]:

$$\Delta_H = \sigma K_H, \quad (1)$$

отличающийся тем, что минимизация величины энтропийного потенциала выходного параметра системы достигается путём трансформации закона распределения управляемого параметра за счёт изменения параметров регулятора. При этом степень трансформации закона распределения управляемого параметра оценивается по величине энтропийного коэффициента. Величина энтропийного потенциала Δ_H определяется как половина диапазона равномерного распределения в интервале от $(-\Delta_H)$ до Δ_H , имеющего такую же энтропию, как и у конкретного параметра.

Недостатком способа контроля и управления на основе анализа и целевого изменения энтропийного потенциала является использование коэффициента энтропии K_H для контроля степени трансформации закона распределения. В этом случае система при минимизации энтропийного потенциала может переходить за счёт изменения коэффициента энтропии в низко энтропийное состояние, в котором параметры сигнала остаются неизменными [12].

Развитием способа контроля энтропийного потенциала является способ контроля и управления состоянием неопределённости системы, основанный на анализе и целенаправленном изменении величины комплексного энтропийного потенциала $L_{\Delta H}$ параметра системы, равного отношению произведения коэффициента энтропии K_H и среднего квадратического отклонения к базовому значению X_B , относительно которого рассматриваются состояния неопределённости системы [13]

$$L_{\Delta H} = \frac{K_H \cdot \sigma}{X_B}. \quad (2)$$

В качестве базовой величины используется математическое ожидание параметра, его диапазон, номинальное значение или базовая величина энтропийного потенциала. Управление достигается путём определения комплексного энтропийного потенциала после каждого этапа эволюции системы и управление системой по величине приращения или дифференциала комплексного энтропийного потенциала посредством изменения настроек базового значения, задающих диапазон изменения параметров, предельного или номинального значений, или базовую величину энтропийного потенциала.

Основной недостаток способа контроля и управления состоянием неопределённости системы, основанном на анализе и целенаправленном изменении величины комплексного энтропийного потенциала L_{Δ} параметра, состоит в определении энтропийного потенциала пропорционального энтропийному коэффициенту K_H , величина которого определена законом распределения параметра. Дело в том, что при фиксированном значении энтропийного коэффициента возможно множество как симметричных, так и несимметричных распределений с различными формами и свойствами [14, 15]. По этой причине применение базового значения X_B при контроле комплексного энтропийного потенциала $L_{\Delta H}$ не гарантирует сохранение формы распределения выходной величины.

Известен способ контроля и управления динамической системой, основанный на минимизации энтропийно-параметрического потенциала симметричного распределения выходного параметра в пространстве признаков коэффициента энтропии и контрэксцесса. Схема процесса этапов для известного способа контроля и управления динамической системой дана на фиг. 2, где даны следующие обозначения: этап 205 - этап регистрация состояния объекта; этап 210 - формирование выборки значений выходного параметра; этап 215 - определение математического ожидания, среднего квадратического отклонения и четвёртого центрального момента; этап 220 - формирование базы данных эталонных параметров распределения выходного параметра; этап 225 - определение энтропийно-параметрического критерия области оптимального контроля; этап 230 - проверка состояния системы на принадлежность области оптимального контроля; этап 235 - трансформация закона распределения; этап 240 - определение энтропийно-параметрический потенциал симметричного распределения; этап 245 - минимизация величины энтропийно-параметрического потенциала симметричного распределения; этап 250 - корректировки закона распределения; этап 255 - формирование управляющего воздействия; этап 260 - состояние оптимально.

Согласно схеме процесса на этапе 205 происходит регистрация состояния объекта, включающая предварительное усиление, изменение и оцифровку выходного параметра системы $y(t)$, посредством регистрации через известные дискретные промежутки времени Δt значения y_i . На следующем этапе 210 происходит формирование выборки значений выходного параметра $y(t)$ для построения гистограммы и для оценки вероятности наблюдения p_j регистрируемых значений y_j на интервале $[y_j, y_j + \Delta y]$.

При мониторинге и контроле стохастической системы необходим непрерывный процесс формирования выборки значений выходного параметра, сохраняющей энтропийные и параметрические свойства в любой момент времени. Сохранность свойств выборки в любой момент функционирования системы достигается за счёт проведения наблюдений в течение характерного для системы временного цикла $T_{\text{ц}}$, который обладает хаотическими свойствами, к примеру, цикл работы двигателя, цикл сокращения сердца и другие. Количество значений n формируемой выборки равно отношению периода цикла системы к промежутку времени одного измерения Δt_n .

Параметры распределения одного цикла содержат информацию, как о внутреннем состоянии системы, так и внешних воздействиях. Поэтому на следующем этапе 215 для сформированной выборки зна-

чений проводится определение математического ожидания M^* , среднего квадратического отклонения (СКО) σ^* и четвёртого центрального момента μ_4^* по формулам

$$M^* = \sum_{j=1}^m p_j y_j, \quad (3)$$

$$\sigma^* = \sqrt{\sum_{j=1}^m p_j (y_j - M^*)^2}, \quad (4)$$

$$\mu_4^* = \sum_{j=1}^m p_j (y_j - M^*)^4. \quad (5)$$

Для проведения процесса статистического измерения и контроля необходима оценка рассогласования выборочных параметров распределения с эталонными параметрами выходного параметра. По этой причине на этапе 220 схемы на фиг. 2 проводится формирование базы данных эталонных параметров распределения выходного параметра.

На этом этапе из базы моделей распределения выбирается эталонная модель, параметры которой принимаются в качестве эталонных параметров для оптимального состояния системы.

Так как устойчивое состояние системы возможно в ограниченной области вблизи её оптимального состояния, то для контроля устойчивого состояния системы на этапе 225 проводят определение энтропийно-параметрического критерия области оптимального контроля по формуле

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{K_{Hs} - K_{Hs0}}{K_{Hs0}}\right)^2 + \left(\frac{\kappa - \kappa_0}{\kappa_0}\right)^2} \leq \gamma_{\max}; \quad (6)$$

где κ и K_{Hs} - контрэксцесс и коэффициент энтропии для симметричного распределения выходного параметра, определяемые по выражениям

$$K_{Hs} = \frac{\Delta_{Hs}}{\sigma}, \quad (7)$$

$$\kappa = \frac{(\sigma^*)^4}{\mu_4^* - 3(\sigma^*)^4}. \quad (8)$$

Здесь Δ_{Hs} - энтропийный потенциал симметричного распределения

$$\Delta_{Hs} = \frac{1}{2} \Delta y \cdot N \cdot \exp\left(-\frac{1}{N} \sum_{j=1}^m n_j \cdot \ln(n_j)\right). \quad (9)$$

На этапе 230 схемы процесса на фиг. 2 проводится проверка состояния системы на принадлежность области оптимального контроля. Если критерий γ превышает своё максимальное значение γ_{\max} , то динамическая система вышла из области оптимального управления и для дальнейшего управления необходимо принять жёсткие меры, обеспечивающие возврат системы в область оптимального состояния. Для этого необходимо определить возможную трансформацию закона распределения выходного параметра и сформировать управляющее воздействие для органов управления объектом. Трансформацию закона распределения управляемого параметра проводят на этапе 235 фиг. 2 схемы процесса за счет изменения настроечных параметров регулятора. Если динамическая система находится в зоне оптимального контроля и управления, то проводится последующая оптимизация состояния системы путём минимизации энтропийно-параметрического потенциала симметричного распределения Δ_{HPS} . Для этого на этапе 240 схемы на фиг. 2 определяется энтропийно-параметрический потенциал симметричного распределения по формуле

$$\Delta_{HPS} = \sqrt{(\Delta_{Hs})^2 + (k_{p,n \rightarrow \infty} \cdot \sigma^*)^2}; \quad (10)$$

где $k_{p,n \rightarrow \infty}$ - коэффициент нормального стандартного распределения.

Процесс минимизации величины энтропийно-параметрического потенциала симметричного распределения динамической системы иллюстрирует этап 245 схемы процесса на фиг. 2 в соответствии с условием

$$\Delta_{HPS} \rightarrow \min \quad (11)$$

Если энтропийно-параметрический потенциал симметричного распределения Δ_{HPS} , не достигает своего минимального значения, то выполняется анализ требуемой корректировки закона распределения на этапе 250, по результатам которого на этапе 255 формируется управляющее воздействие на органы управления объектом. При достижении минимума энтропийно-параметрического потенциала система контроля и управления принимает состояние объекта в качестве оптимального состояния и сохраняет настройки предыдущего цикла управления. Переходу динамической системы в оптимальное состояние

на фиг. 2 схемы процесса способа контроля и управления динамической системы соответствует этап 260 "Состояние оптимально"

Особенность реализации известного способа контроля и управления над динамической системой иллюстрирует топографическая диаграмма на фиг. 3, где показаны

- 310 - точка положения оптимального состояния системы;
- 315 - кривая, ограничивающая область пространства, которое соответствует положению системы при её оптимальном функционировании;
- 320 - кривая (пунктирная кривая), ограничивающая часть пространства наиболее вероятных положений для оптимальных состояний динамической системы;
- 325 - кривая положения системы при экспоненциальных распределениях выходного параметра с показателями формы от 0 и до ∞ ;
- 330 - кривая положения системы при двухмодальном распределений выходного параметра, возникновение которых обусловлено появлением различных форм гистерезиса;
- 335 - кривая положения системы при распределении выходного параметра типа Шапо с показателем формы, равной 0,5;
- 340 - кривая положения системы при экспоненциальном распределении с параметром формы, равным 0,33;
- 345, 350 - кривые положения системы с композициями дискретного и экспоненциального распределений выходного параметра;
- 355, 360 - кривые положения системы с композициями экспоненциального и дискретного двухзначного распределений;
- 365 - точка положения системы при нормальном распределении выходного параметра (принадлежит кривой 325);
- 370 - точка положения системы при двухстороннем показательном распределении Лапласа (принадлежит кривой 325).
- 375 - точка положения системы при равномерном распределении выходного параметра (принадлежит кривой 325);
- 380, 385 - точка положения системы при двухстороннем экспоненциальном распределении выходного параметра с показателями формы $1/2$ и $1/3$, соответственно (принадлежат кривой 325);
- 390, 395 - точки, ограничивающие участок кривой для положений системы с арк-косинусоидальными распределениями;

Все кривые и точки положения системы, иллюстрируемые на топографической диаграмме известного способа контроля и управления динамической системой, соответствуют симметричным распределениям. Любое отображение распределений на плоскость контрэксцесса и коэффициента энтропии симметричных распределений можно заменить моделью симметричного распределения. По этой причине способ контроля и управления динамической системой в соответствии со схемой на фиг. 2 формально сводится к контролю и управлению над системой с симметричной плотностью распределения выходного параметра. При управлении и контроле над системой с несимметричным распределением происходит неявная замена с помощью соответствующего симметричного аналога.

Для контроля формы симметричных распределений при реализации известного способа контроля и управления динамической системой определяется энтропийно-параметрический критерий области оптимального управления на этапе 225 схемы фиг. 2 в пространстве признаков симметричных распределений. Такой подход обеспечивает эффективный контроль состояния объекта при симметричной плотности распределения выходного параметра.

При контроле несимметричного распределения происходит отображение состояния выходного параметра на плоскость симметричных распределений выходного параметра, что обуславливает появление многозначности поведения объекта. Дело в том, что коэффициент энтропии симметричного распределения, равный отношению энтропийного потенциала, рассчитанного по формуле симметричного распределения, к среднему квадратическому отклонению несимметричного распределения, при его применении к симметричному распределению выражает отношение неопределённостей различных интервалов и становится сильно зависимым от параметров масштаба распределения. Такой способ реализации управления и контроля создаёт условия, при которых коэффициенту энтропии, рассчитанному по формуле симметричного распределения, соответствует множество форм несимметричного распределения, что делает многозначным выбор формы несимметричной плотности распределения выходного параметра.

Таким образом, известный способ контроля распределения ограничен и сводится к контролю формы аппроксимирующей модели симметричного распределения. При контроле системы с несимметричным распределением выходного параметра путём замены реального несимметричного распределения его приближённой симметричной моделью происходит переход системы в нерабочие состояния. Дело в том, что при одинаковой модели симметричного распределения сохраняется многозначность выбора несимметричных моделей.

Значение контроля несимметричных несмещённых распределений

Во многих областях техники контроль формы несимметричной несмещённой плотности распреде-

ления выходного параметра является эффективным методом анализа и мониторинга стохастической системы. Для примера можно привести следующие области использования предлагаемого изобретения.

1. Анализ результатов измерения объёмной активности радона [16, 17].
2. Модели мониторинга распределения вредных веществ в окружающей среде [18, 19, 20].
3. Мониторинг надёжности технических систем, приборов и устройств [21, 22, 23].
4. Мониторинг и контроль характеристик материалов: ползучесть, усилие разрыва или излома, усталость материала [24].
5. Анализ ресурсов [24].
6. Модели распределения вероятностей выживания [25, 26, 27].
7. Мониторинг распределения доходов фирм и отдельных лиц в статистических моделях экономики, моделей фондового рынка [28].
8. Статистический анализ при обработке магнитно-резонансных изображений в компьютерной томографии [29, 30].
9. Радионуклидные исследования и диагностический анализ ядерной медицины [31, 32].
10. Моделировании кинетики фармакологических препаратов при функциональных исследованиях [32, 33, 34].
11. Моделирование биокинетических процессов [35]
12. Управление дескрипторными системами [36].

По этой причине из многообразия стохастических систем следует выделить системы, в которых задача контроля состоит в минимизации отклонения параметров для несимметричной несмещённой плотности распределения выходного параметра

Автор предполагаемого изобретения считает, что контроль формы и масштаба моделей распределений в энтропийно-параметрическом пространстве признаков несимметричного распределения выходного параметра обеспечит стабильность мониторинга и контроля стохастической системы и исключит возможность её перехода в нерабочие состояния за счёт целевой корректировки закона распределения и формирования управляющих воздействий для коррекции связей стохастических систем.

Очевидна необходимость отображения моделей состояний стохастической системы в энтропийно-параметрическом пространстве признаков несимметричных распределений выходного параметра для обеспечения однозначного разделения устойчивых работоспособных и неработоспособных состояний системы.

Предлагаемое изобретение направлено на оптимизацию мониторинга и контроля стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения путём обеспечения соответствия формы и масштаба модели стохастической системы её реальному состоянию в энтропийно-параметрическом пространстве признаков несимметричного распределения выходного параметра.

Для этого в способе мониторинга и контроля стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения выходного параметра, заключающейся в том, что осуществляют регистрацию состояния стохастической системы, формирование выборки y_i значений выходного параметра $y(t)$ стохастической системы, определение математического ожидания M^* , среднего квадратического отклонения σ^* и центрального четвёртого момента μ_4 распределения выходного параметра; формирование базы данных эталонных параметров закона распределения выходного параметра стохастической системы, проверку состояния стохастической системы принадлежности зоне контроля оптимального состояния; трансформацию закона распределения управляемого параметра за счет изменения настроечных параметров регулятора, корректировку закона распределения и формирование управляющего воздействия, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют определение координат пространства признаков формы-асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии несимметричного распределения - для несимметричной несмещённой плотности распределения выходного параметра стохастической системы по формуле матричного вектора:

$$[Sk^* \quad Ex^* \quad K_{Hn}^*] = \left[\frac{\mu_3^*}{(\sigma^*)^3}, \quad \frac{\mu_4^*}{(\sigma^*)^4}, \quad \frac{\Delta_{Hn}^*}{m_2^*} \right], \quad (12)$$

где m_2^* , μ_3^* и Δ_{Hn}^* - второй начальный момент, третий центральный момент и энтропийный потенциал несимметричной несмещённой плотности распределения выходного параметра, определяемые по формулам

$$m_2^* = \sum_{j=1}^m p_j y_j^2, \quad (13)$$

$$\mu_3^* = \sum_{j=1}^m p_j (y_j - M^*)^3, \quad (14)$$

$$\Delta_{Hn}^* = \Delta y \cdot \exp \left(- \sum_{j=1}^m p_j \cdot \ln p_j \right), \quad (15)$$

где m - число интервалов группирования;

Δy - интервал группирования выходного параметра;

p_j - статистическая частота попадания отсчётов в j -й интервал группирования;

формирование пространства оптимального состояния стохастической системы, включающее в себя следующие действия:

задание границы зоны контроля в пространстве признаков оптимального состояния при несимметричном распределении выходного параметра стохастической системы:

$$\sum_i (\xi_{iy})^2 = \gamma_{\max}, \quad (16)$$

где γ_{\max} - радиус зоны контроля;

ξ_{iy} - координаты границы контроля;

определение нормированных координат положения для состояния распределения выходного параметра в пространстве признаков оптимального состояния стохастической системы по формуле матричного вектора

$$[\xi^*] = [\xi_1^* \quad \xi_2^* \quad \xi_3^*]^T = \left[\frac{Sk^* - Sk_0}{a \cdot Sk_0}, \frac{Ex^* - Ex_0}{b \cdot Ex_0}, \frac{K_{Hn}^* - K_{Hn0}}{c \cdot K_{Hn0}} \right]^T, \quad (17)$$

где Sk_0 , Ex_0 , K_{Hn0} - асимметрия, эксцесс и коэффициент энтропии несимметричной плотности распределения для оптимального состояния системы;

a , b , c - коэффициенты интервалов признаков для зоны контроля;

определение критерия для состояния стохастической системы в пространстве признаков оптимального состояния по формуле

$$\gamma^* = \sum_i (\xi_i^*)^2; \quad (18)$$

определение нормированных координат положений возможных моделей стохастической системы в пространстве признаков оптимального состояния по формуле матричного вектора

$$[\xi] = \left[\begin{array}{ccc} \xi_{1s} & \xi_{2s} & \xi_{3s} \end{array} \right]^T = \left[\begin{array}{ccc} \frac{Sk_s - Sk_0}{a \cdot Sk_0} & \frac{Ex_s - Ex_0}{b \cdot Ex_0} & \frac{K_{Hns} - K_{Hn0}}{c \cdot K_{Hn0}} \end{array} \right]^T, \quad (19)$$

где Sk_s , Ex_s , K_{Hns} - асимметрия, эксцесс и коэффициент энтропии несимметричного плотности распределения для оптимального состояния системы;

s - номер модели стохастической системы:

$$s = \begin{cases} \{1, 2, 3, \dots\} & \text{для возможных состояний,} \\ 0 & \text{для оптимального состояния;} \end{cases}$$

определение дистанций между положениями возможных моделей и реальных состояний в нормированном центрированном пространстве признаков оптимального состояния стохастической системы по формуле

$$\Delta L_s = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\xi_i^* - \xi_{is})^2}; \quad (20)$$

выбор формы модели стохастической системы из условия минимума дистанции между положениями модели и реального состояния

$$\Delta L_s \rightarrow \min; \quad (21)$$

определение масштаба модели распределения выходного параметра стохастической системы включающее в себя следующие действия:

определение энтропийно-параметрического потенциала Δ_{HP}^* несимметричной плотности распределения выходного параметра стохастической системы

$$\Delta_{HP}^* = \sqrt{(\Delta_{Hn}^*)^2 + m_2^*}; \quad (22)$$

формирование энтропийно-параметрического потенциала несимметричной модели плотности распределения выходного параметра стохастической системы

$$\Delta_{HP}^\lambda = \sqrt{(K_{Hn\lambda}^2 + 1) \cdot m_{2\lambda}}, \quad (23)$$

где $m_{2\lambda}$ и $K_{Hn\lambda}$ - второй начальный момент и коэффициент энтропии несимметричной модели распределения выходного параметра;

определение параметра масштаба из условия минимума разницы энтропийно-параметрических потенциалов для несимметричной модели и реального состояния плотности распределения выходного параметра стохастической системы

$$|\Delta_{HP}^\lambda - \Delta_{HP}^*| \rightarrow \min; \quad (24)$$

сохранение параметров модели стохастической системы в базе данных; определение рассогласова-

ния энтропийно-параметрических потенциалов модели реального и оптимального состояний стохастической системы

$$\delta\Delta_{HP} = |\Delta_{HP}^{\lambda} - \Delta_{HP}^{\circ}| \rightarrow \min \quad (25)$$

минимизацию рассогласований энтропийно-параметрических потенциалов модели относительно оптимального состояния посредством целевой корректировки закона распределения и формирования управляющего воздействия для коррекции связей стохастической системы и картирование состояния стохастической системы в энтропийно-параметрическом пространстве признаков выходного параметра.

Введённые действия обеспечивают мониторинг и контроль над стохастической системы при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения выходного параметра путём определения положения системы в энтропийно-параметрическом пространстве признаков формы несимметричной плотности распределения выходного параметра;

формирование пространства оптимального состояния системы для обеспечения единства оптимальности управления в различных точках энтропийно-параметрического пространства;

выбор формы модели распределения выходного параметра из условия минимума дистанции между положением возможных моделей и реального состояний в нормированном центрированном пространстве признаков пространстве оптимального состояния системы;

минимизации разницы энтропийно-параметрических потенциалов несмещённой несимметричной модели и реального состояния плотности распределения выходного параметра для определения параметра масштаба модели;

минимизации рассогласования параметров модели и параметров оптимального состояния распределения выходного параметра посредством целевой коррекции связей стохастической системы.

В предполагаемой заявке автор использует координатное пространство, построенное одновременно на вероятностных и информационных признаках распределений, для отображения и выбора формы моделей несимметричных распределений выходного параметра. При этом в качестве вероятностных координат принимаются первый и второй признаки формы распределения: асимметрия и эксцесс, которые характеризуют скошенность и острровершинность распределения. Для формирования информационных координат автором предполагаемого изобретения предложен коэффициент энтропии несимметричных распределений, характеризующий свойство неупорядоченности при несимметричном распределении выходного параметра. [15]. Особенность построения коэффициента энтропии несимметричного распределения иллюстрирует фиг. 4, где даны чертежи моделей задания энтропийных и параметрических неопределённостей при симметричном и несимметричном распределении.

Энтропия информации использована К. Шенноном в качестве меры измерения количества информации в ансамбле дискретных сообщений. Если источник информации выдаёт случайную последовательность независимых сообщений x_i с вероятностью $P(x_i)$, то энтропия источника сообщений X определена математическим ожиданием логарифма вероятности сообщений с помощью выражения [37]:

$$H(X) = M(-\ln p(x)). \quad (26)$$

Для непрерывной плотности распределения параметра у выражение для расчёта энтропии источника сообщений X имеет вид

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \ln f(x) dx. \quad (27)$$

Модель неопределённости Шенонна для симметричных распределений предложена в работах Новицкого П.В. [14, 38] как модель независимого описания процесса измерения. Согласно модели Новицкого П.В. условная энтропия измерения при условии получения показания x_p с равномерным распределением неопределённости на интервале 2Δ равна логарифмической мере энтропийного интервала неопределённости 2Δ

$$H(X/x_p) = - \int_{x_p-\Delta}^{x_p+\Delta} \frac{1}{2\Delta} \ln \frac{1}{2\Delta} dx = \ln(2\Delta). \quad (28)$$

Тогда энтропийная погрешность измерения Δ , равная половине интервала неопределённости 2Δ и выраженная через условную энтропию изменения при условии получения показания x_p задана выражением вида:

$$\Delta = \frac{1}{2} \cdot e^{H(X/x_p)}. \quad (29)$$

В системах контроля и управления объектом минимизация разница рассогласования выходного параметра и меры обеспечивается за счёт построения отрицательной обратной связи. В качестве меры неопределённости состояния объекта Лазарев В.Л. предложил использовать для построения контроля над объектом половину энтропийного интервала неопределённости и рассматривать его как энтропийный потенциал объекта [9].

Чертеж модели неопределённостей для симметричного распределения рассогласования выходного параметра дана на фиг. 4, а, где использованы следующие обозначения.

410 - симметричная модель равномерного распределения;

415 и 420 - параметрический и энтропийный интервалы неопределённости для симметричной модели распределения

Коэффициент энтропии симметричного распределения вводится как отношение энтропийного интервала 420 неопределённости рассогласования выходного параметра к его параметрическому интервалу 415, равных удвоенным значениям энтропийного потенциала симметричного распределения $2\Delta_{Hs}$ и среднего квадратического отклонения 2σ . Формула для определения коэффициента энтропии симметричного распределения имеет вид

$$K_{Hs} = \frac{\Delta_{Hs}}{\sigma}. \quad (30)$$

Коэффициент энтропии симметричного распределения K_{Hs} , равный отношению энтропийного потенциала симметричного распределения выходного параметра к среднему квадратическому отклонению выходного параметра относительно среднего значения, представляет собой безразмерный нормированный признак симметричной модели распределения, используемого для оценки положения математического ожидания. Коэффициент энтропии симметричного распределения так же, как энтропийный потенциал симметричного распределения базируются на условной энтропии распределения при условии получения оценки среднего значения, равного математическому ожиданию, неопределённость которого моделируется равномерным симметричным распределением.

Отличительная особенность распределений с несимметричной несмещённой плотностью распределения состоит в том, что плотность вероятности распределения равна нулю при отрицательных значениях выходного параметра. Так как предельное выражение под интегралом Шеннона (20) равно нулю

$$\lim_{z \rightarrow 0} (z \ln z) = \lim_{z \rightarrow 0} (\ln z^z) = \ln 0^0 = \ln 1 = 0$$

то для определения энтропии несимметрично распределённого несмещённого выходного параметра используется выражение вида

$$H_n(y) = - \int_0^{\infty} f_n(y) \ln f_n(y) dy. \quad (31)$$

При использовании плотности равномерного распределения в качестве модели несмещённой несимметричной плотности распределения выходного параметра интервал задаётся от 0 до его максимального значения Δ_{Hn} , принимаемого в качестве энтропийного потенциала несимметричного несмещённого распределения. Чертёж модели неопределённости для несимметричного распределения показано на фиг. 4б, где использованы следующие обозначения:

425 - несимметричная модель равномерного распределения;

430 и 435 - интервалы параметрической и энтропийной неопределённости для несимметричной модели распределения, равные корню квадратному второго начального момента $\sqrt{m_2}$ и энтропийному потенциалу Δ_{Hn} несимметричной модели распределения;

440 - дистанция положения центра распределения относительно начала отсчёта, равная математическому ожиданию M ;

Из рассмотрения фиг. 4а и фиг. 4б следует, что интервалы параметрической неопределённости 415 и 430 задают разные сущности распределений.

Из рассмотрения фиг. 4, а следует, что интервал 415 равный 2σ определяет среднеквадратический разброс распределения относительно центра распределения, заданного положением математическим ожиданием M . Из рассмотрения фиг. 4б следует, что интервал 430 задаёт расстояние от начала отсчёта до среднего квадратического значения. Интервал 430 равен корню квадратному из второго начального момента несимметричного распределения. Для несмещённого несимметричного распределения начало отсчёта совпадает с началом координат. Для несимметричного распределения интервал параметрической неопределённости 415, равный удвоенному среднему квадратическому разбросу 2σ выходного параметра, откладывается симметрично относительно центра распределения, который задан дистанцией 440, отложенной от начала отсчёта и равной математическому ожиданию M . Как следует из модели фиг. 4б, дистанции 415 и 430 имеют различные сущности для распределения выходного параметра.

Аналогично рассматриваются интервалы 420 и 430 для энтропийной неопределённости. Интервал энтропийной неопределённости 420 на фиг. 4а откладывается симметрично, относительно положения центра распределения, заданного его математическим ожиданием. Интервал энтропийной неопределённости 435 на фиг. 4 б откладывается от начала отсчёта несимметричного распределения.

Дифференциальная энтропия для определения неопределённости положения центра несимметричного распределения, рассчитывается как условная энтропия измерения при условии получения показания x_p , равного математическому ожиданию M

$$H_s(Y/M) = - \int_0^{\infty} f_n(y-M) \ln f_n(y-M) dy. \quad (32)$$

Так как условная энтропия (32) для определения интервала энтропийной неопределённости относительно центра распределений не равна энтропии несимметричного распределения (31), то интервалы энтропийной неопределённости для симметричной модели 420 и для несимметричной модели 435 та же имеют

различные значения. Интервал 420 откладывается относительно центра распределения и смещён по отношению к началу координат.

Таким образом, интервалы энтропийно неопределённости 420 и 435 для симметричной и несимметрично модели распределения имеют разные сущности по отношению к распределению выходного параметра.

Коэффициент энтропии K_{Hn} для несимметричного распределения параметра x равен отношению интервала энтропийной неопределённости 435 к интервалу параметрической неопределённости 430 выходного параметра, которые равны энтропийному потенциалу несимметричного распределения Δ_{Hn} и корню квадратному второго начального момента $\sqrt{m_2}$ соответственно.

Формула для определения коэффициента энтропии несимметричного распределения имеет вид

$$K_{Hn} = \frac{\Delta_{Hn}}{\sqrt{m_2}}. \quad (33)$$

Коэффициент энтропии несимметричного распределения (33), равный отношению энтропийного потенциала несимметричного распределения выходного параметра к корню квадратному, взятому от второго начального момента распределения выходного параметра, представляет собой безразмерный нормированный признак формы несимметричного распределения [15].

Энтропия несимметричного несмещённого распределения обладает свойством пропорциональности по отношению к энтропии симметризованного распределения, полученного посредством отражения несимметричного распределения относительно начала координат. Если $f_n(X, \alpha, \tau, \lambda)$ - плотность несимметричного распределения, то плотность соответствующего симметризованного распределения имеет вид

$$f(x, \alpha, \beta, \lambda) = \begin{cases} 0,5 \cdot f_n(Y, \alpha, \beta, \lambda) & \text{при } y \geq 0, \\ 0,5 \cdot f_n(|-Y|, \alpha, \beta, \lambda) & \text{при } y < 0. \end{cases} \quad (34)$$

Так как для симметризованного распределения происходит увеличение диапазона выходного параметра в два раза, то справедлива линейная пропорциональность для энтропии симметризованного и несимметричного распределений вида

$$H_s(x, \alpha, \beta, \lambda) = H_n(y, \alpha, \beta, \lambda) + \ln 2 \quad (35)$$

Так как для симметризованного распределения справедливо выражение (28) для условной энтропии измерения при условии получения показания x_p равного нулю, то записав логарифм произведения как сумму логарифмов, получим для энтропии симметризованного распределения выражение вида

$$H_s(y, \alpha, \beta, \lambda) = \ln 2 + \ln \Delta_{Hn}. \quad (36)$$

Сопоставляя выражение (35) и выражение (36) получим, что для модели несимметричного распределения выходного параметра следует обеспечить равенство энтропии распределения и логарифма энтропийного потенциала несимметричного распределения

$$H_n(y, \alpha, \beta, \lambda) = \ln \Delta_{Hn}. \quad (37)$$

Формула для расчёта энтропийного потенциала несимметричного распределения Δ_{Hn} , при известной энтропии $H_n(x, \alpha, \beta, \lambda)$ примет вид

$$\Delta_{Hn} = \exp(H_n(y, \alpha, \beta, \lambda)). \quad (38)$$

Таким образом, из выражения (38) следует, что энтропийный потенциал несимметричного несмещённого распределения равен экспоненте с показателем, равным энтропии несимметричного несмещённого распределения выходного параметра.

Так как среднее квадратическое отклонение σ_s для симметризованного относительно начала отсчёта распределения параметра x , равно корню квадратному от второго начального момента m_2 , рассчитанному для исходного несимметричного несмещённого распределения выходного параметра y

$$\sigma_s = \sqrt{m_2}, \quad (39)$$

то коэффициент энтропии несимметричного распределения можно получить как коэффициент энтропии симметризованного распределения, энтропия которого определена свойствами несимметричного распределения.

Поскольку интервалы энтропийной и параметрической неопределённости пропорциональны масштабам распределения, то отношение интервалов для несмещённых несимметричных распределений выходного параметра не зависит от масштаба распределения и полностью определяется параметрами формы.

Таким образом, коэффициент энтропии несимметричных распределений представляет собой независимый признак формы несмещённых несимметричных распределений [15]. Объединение информационного признака формы, в качестве которого использован коэффициент энтропии несимметричных распределений, с вероятностными признаками формы асимметрии и эксцесса позволило получить энтропийно-параметрическое пространство признаков для отображения координат траекторий возможного положения объекта при несимметричном несмещённом распределении выходного параметра.

Возможные положения объекта в координатном энтропийно-параметрическом пространстве признаков несимметричных несмещённых распределений выходного параметра даны на фиг. 5 в виде эпюры

проекций траекторий распределений выходного параметра:

фиг. 5а - проекция траекторий на плоскость, заданную признаками асимметрии и коэффициента энтропии несимметричного распределения;

фиг. 5б - проекция траекторий на плоскость, заданную признаками эксцесса и коэффициента энтропии несимметричного распределения.

фиг. 5в - проекция траекторий на плоскость, заданную признаками асимметрии и эксцесса несимметричного распределения.

На проекциях эпюры использованы следующие обозначения:

505 - точка положения оптимального состояния системы при несимметричном распределении выходного параметра;

510 - точка положения реального состояния системы при несимметричном распределении выходного параметра;

515 - граница зоны контроля в пространстве энтропийно - параметрических признаков несимметричного распределения выходного параметра;

520 - кривые положения системы при использовании для выходного параметра целевого распределения из форм семейства Вейбулла-Гнеденко;

525 - кривые положения системы при использовании для выходного параметра целевого распределения из форм семейства гамма распределений;

530 - кривые положения системы при использовании для выходного параметра целевого распределения из форм логарифмического нормального распределения;

535 - точка положения системы при использовании формы несимметричного экспоненциального распределения выходного параметра, совпадающего с распределением Пирсона χ^2 с тремя степенями свободы;

540 - точка положения системы при использовании для выходного параметра отражённого относительно центра нормального распределения;

545, 550 - точки положения системы при использовании для выходного параметра симметричных форм логистического и нормального распределений;

555, 560, 565 - кривые положения системы при использовании для выходного параметра целевого распределения из форм распределений Парето при различных смещениях x_0 левой границы возможных значений которой соответствуют значения 0,9, 1,1 и 1,3.

В пространстве энтропийно-параметрического потенциала точка положения оптимального состояния системы 505 определяется целевой плотностью несимметричного распределения выходного параметра и совпадает с положением априорно известной несимметричной модели распределения. На фиг. 5 точка оптимального состояния системы 505 при несимметричном распределении находится на кривой 520 возможных положений системы при использовании для выходного параметра целевого распределения из форм семейства гамма распределений. Реальное состояние системы 510 отличается от его оптимального положения 505 вследствие действия внешних влияющих дестабилизирующих факторов и постоянно меняющихся внутренних свойств системы: внутренних связей, параметров элементов и среды, составляющих систему.

Точка положения реального состояния системы 510 находится вблизи оптимального состояния. Так как реальное состояние не совпадает с возможными моделями её состояния, то точка положения реального состояния 510 располагаться вблизи кривых возможных положений системы. Для реального состояния 510 возможно изменение свойств системы, которые отображаются в изменении формы и масштаба модели распределения выходного параметра.

По этой причине при проведении мониторинга и контроля важно определить переход системы в новое состояние из-за изменения свойств модели. Так как возможные состояния модели находятся вблизи оптимального состояния, то в энтропийно-параметрическом пространстве признаков выделяется граница области контроля 515с известными допустимыми формами моделей несимметричных распределений выходного параметра, которые хранятся в базе данных эталонных параметров распределения выходного параметра. При выходе системы за пределы области контроля происходит трансформация закона распределения управляемого параметра за счёт изменения настроечных параметров регулятора. Для реального состояния системы выбирается наиболее близко расположенная модель, после чего определяются её параметры.

Автор предлагаемого изобретения убеждён в том, что отображение положения объекта в координатном энтропийно-параметрическом пространстве признаков несимметричных несмещённых распределений выходного параметра позволяет реализовать новые возможности при мониторинге и контроле над стохастической системой.

Описание алгоритма мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения выходного параметра

Схема процесса на фиг. 6 иллюстрирует новые возможности и особенности предлагаемого способа мониторинга и контроля над стохастической системой при несимметричной несмещённой целевой плотности распределения выходного параметра. Для реализации новых возможностей в предполагаемом изо-

бретении проводятся следующие действия, иллюстрируемые в виде этапов процесса мониторинга и контроля на фиг. 6:

этапа 605 определения координат пространства признаков формы для несимметричной плотности распределения;

этапа 610 формирования пространства оптимального состояния системы;

этапа 615 определения дистанции между положениями возможных моделей и реального состояний;

этапа 620 выбора формы модели из условия минимума дистанции между моделью и реальным состоянием;

этапа 625 определения масштаба модели распределения выходного параметра стохастической системы;

этапа 630 сохранения параметров модели распределения в базе данных;

этапа 635 определения рассогласования параметров модели реального и оптимального состояния стохастической системы;

этапа 640 оптимизации рассогласования параметров модели;

этапа 645 картирования положения системы в пространстве признаков распределения выходного параметра.

Определение координат пространства признаков формы для несимметричной несмещённой плотности распределения выходного параметра стохастической системы

Первое действие, иллюстрируемое этапом 605 схемы процесса на фиг. 6 заключается в определении координат пространства признаков формы для несимметричной плотности распределения. Координаты пространства заданы безразмерными признаками формы распределения и рассчитываются по формуле матричного вектора (12). В качестве параметрических признаков формы распределения использованы асимметрия и эксцесс, характеризующие скошенность и островершинность распределения. Третья координата задана независимым информационным признаком формы распределения - коэффициентом энтропии несимметричного распределения. Отображение распределения выходного параметра системы в трёхмерном пространстве признаков форм распределения обеспечивает контроль положения системы по отношению к возможным функциональным состояниям. Такие параметры как второй начальный момент, третий центральный момент и энтропийно-параметрический потенциал несимметричной плотности распределения выходного параметра системы определяются по формулам (13), (14) и (15) соответственно.

Формирования пространства оптимального состояния стохастической системы

Основная цель действия, иллюстрируемого этапом 610 схемы процесса на фиг. 6, состоит в том, чтобы получить положения моделей и положение состояния несимметричного распределения выходного параметра системы в нормированном пространстве координат оптимального состояния 505 с несимметричным распределением выходного параметра. Схема процесса формирования пространства оптимального состояния стохастической системы дана на фиг. 7 в виде этапов 715, 720, 725 и 730.

Из фиг. 7 следует, что первое отличительное действие предполагаемого способа мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения выходного параметра содержит

этап 715 задания границ зоны контроля в пространстве признаков оптимального состояния при несимметричном распределении выходного параметра стохастической системы;

этап 720 определения нормированных координат положения для состояния распределения выходного параметра в пространстве признаков оптимального состояния стохастической системы;

этап 725 определения критерия для состояния стохастической системы в пространстве признаков оптимального состояния;

этап 730 определения нормированных координат положений возможных моделей в пространстве признаков оптимального состояния;

Суть схемы процесса формирования пространства оптимального состояния системы состоит в определении координат возможных моделей вблизи оптимального состояния в пределах границы контроля.

Этап 715 схемы процесса на фиг. 7 состоит в задании границ зоны контроля в пространстве признаков оптимального состояния с помощью выражения (16). Для оптимального состояния существует зона работоспособных состояний, которые отслеживаются по форме выходного параметра. Интервалы изменения признаков для зоны контроля заданы с помощью произведения значения признака оптимального состояния (Sk_0 , Ex_0 , K_{Hn0}) на коэффициенты интервалов признаков a , b , c . Тогда положение возможных значений в энтропийно-параметрическом пространстве состояний выходного параметра ограничено значениями признаков $Sk_0(1\pm a)$, $Ex_0(1\pm b)$, $K_{Hn0}(1\pm c)$ по признакам асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии несимметричных распределений.

Границы интервалов признаков возможных моделей могут быть определены двумя способами. Первый способ состоит в моделировании объекта и получении границ параметров на основе модели с использованием метода Монте-Карло наложением на модели выходного параметра и моделей дестабилизирующих факторов. В этом случае признаки оптимального состояния Sk_0 , Ex_0 , K_{Hn0} определены свойствами модели системы. Другой подход связан с накоплением статистических данных о стохастической системе и оценке интервалов признаков зоны контроля при условии, что система (или подобные систе-

мы) находится в работоспособном состоянии для контролируемого режима работы. В этом случае в качестве оптимальных энтропийно-параметрических признаков системы Sk_0 , Ex_0 и K_{Hn0} принимаются оценки среднего значения признаков, полученных из проводимых ранее наблюдений. В качестве интервалов признаков в статистике используют средние квадратические оценки разброса. Так как в способах анализа и статистического накопления используются различные методы оценки интервалов признаков, то для задания границы зоны контроля удобно использовать ограничения интервалов признаков $Sk_0(1 \pm a)$, $Ex_0(1 \pm b)$, $K_{Hn0}(1 \pm c)$ с указанием вектора признаков оптимального состояния $[Sk_0, Ex_0, K_{Hn0}]^T$ и вектора коэффициентов разброса $[a, b, c]^T$. Граница зоны контроля устанавливается из условия, что внутри границы находится не менее 95% рабочих состояний при воздействии различных дестабилизирующих факторов. Выход за границу контроля рассматривается как переход в неработоспособное состояние, требующее коррекции параметров и матриц вероятностей взаимосвязей стохастической системы. При задании границы контроля в виде сферы, параметр γ_{max} радиуса границы в диапазоне от 1 до 3. Если коэффициенты разброса определены для значений среднего квадратического разброса, то для нахождения 95% работоспособных состояний параметр радиуса границы γ_{max} имеет значение, равное 2,8. При известных границах допустимых состояний системы в пространстве энтропийно-параметрических признаков в качестве рабочего пространства удобно использовать пространство, центрированное относительно заданного оптимального состояния и нормированное к разбросу признаков асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии несимметричных распределений выходного параметра.

Примеры проекций зоны контроля на нормированном пространстве признаков оптимального состояния показаны на фигурах 9, 10 и 11, где использованы следующие обозначения объектов: 505 - точка положения оптимального состояния при несимметричном распределении выходного параметра; 510 - точка положения реального состояния системы при несимметричном распределении выходного параметра; 515 - граница зоны контроля; 520, 525 и 530 - кривые положения системы при использовании для выходного параметра целевых распределений из форм семейства Вейбулла-Гнеденко, семейства гамма распределения и форм логарифмического нормального распределения, соответственно; 535 - точка положения модели системы при использовании формы несимметричного экспоненциального распределения выходного параметра, совпадающего в параметром Пирсона χ^2 с тремя степенями свободы; 910, 920 и 930 - иллюстрируют точки положения возможных моделей состояний системы при использовании форм семейства Вейбулла-Гнеденко, семейства гамма распределения и логарифмического нормального распределения, соответственно; 915, 925 и 935 - точки положения моделей состояний системы при использовании кривых положений системы 520, 525 и 530 в качестве распределений выходного параметра форм семейства Вейбулла-Гнеденко, семейства гамма распределения и логарифмического нормального распределения, соответственно. На эюре 9 дано дополнительно положение модели состояния системы 940 при использовании кривой форм семейства Парето-то 555. Так как формы распределения Парето находятся вне зоны контроля, то кривая положения 555 отсутствует на фиг. 10 и 11 других проекциях энтропийно-параметрического пространства, иллюстрируя возможное положение модели при неработоспособном состоянии системы.

Следующий этап 720 схемы процесса на фиг. 7 состоит в определении нормированных координат положения для состояния распределения выходного параметра в пространстве признаков оптимального состояния стохастической системы по формуле матричного вектора (17).

Для отображения состояния системы в пространстве признаков оптимального состояния на этапе 720 процесса на фиг. 7 определяются нормированные координаты положения состояния по формуле матричного вектора (17). Состояние системы выходного параметра на проекции оптимального состояния системы при несимметричном распределении выходного параметра показано на проекциях зоны контроля (фиг. 9, 10 и 11) в виде точки положения 510. Для иллюстрации использована точка состояния с признаками асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии несимметричного распределения выходного параметра, равными 2,1, 9 и 1,53, соответственно. При построении проекций положение оптимального состояния системы в энтропийно-параметрическом пространстве задано параметром формы a распределения из многообразия форм гамма семейства, равного 0,692. Проекция пространства оптимального состояния построены для признаков асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии несимметричного распределения оптимального состояния, равных 2,405, 8,674 и 1,65 соответственно. Форма модели оптимального состояния принята в качестве формы целевого распределения выходного параметра стохастической системы. Интервалы признаков асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии, рассчитанные для зоны контроля, равны 0,58, 3,5 и 0,225. Коэффициенты интервалов признаков a , b и c для зоны контроля равны 0,241, 0,404 и 0,136 соответственно. Коэффициенты и признаки точки положения 510 реального состояния системы при несимметричном распределении выходного параметра изменяются при проведении мониторинга и контроля.

На этапе 725 схемы процесса на фиг. 7 определяют критерий γ^* для состояния стохастической системы в пространстве признаков оптимального состояния по формуле

(18). Критерий позволяет осуществить проверку состояния объекта принадлежности зоне контроля.

Этап 730 состоит в определении нормированных координат положения возможных моделей в про-

странстве признаков оптимального состояния по формуле (19).

Формирование пространства оптимального состояния необходимо для обеспечения единства оптимальности управления в различных точках энтропийно-параметрического пространства. Дело в том, что в энтропийно-параметрическом пространстве минимальное расстояние зависит от значений признаков распределения и не учитывает интервалы допустимых изменений относительно оптимального состояния, что снижает качество контроля при выборе параметров модели. В целях унификации данных при различных состояниях следует учитывать интервалы контроля вблизи оптимального состояния.

В зоне контроля оптимального состояния количество различных форм моделей ограничено различием параметра формы возможных моделей. При контроле формы до третьей значащей цифры в зоне контроля возможно 300 моделей из семейства форм гамма распределения с параметрами формы в интервале от 0,55 до 0,85 и 150 моделей из семейства Вейбулла-Гнеденко с параметрами формы от 0,8 до 0,95. Определение координат возможных моделей по формуле (19) в пространстве оптимального состояния относится к формированию пространства.

Определение дистанций между положениями возможных моделей и реального состояний в нормированном центрированном пространстве признаков оптимального состояния стохастической системы

Третье отличительное действие схемы процесса на фиг. 6, иллюстрируемое этапом 615, состоит в определении дистанции между положением возможных моделей и реального состояний для несимметричных распределений выходного параметра стохастической системы в нормированном пространстве координат оптимального состояния. Положениям возможных моделей из отдельных семейств соответствуют модели на пересечении кривых семейства распределений и перпендикуляра из точки положения 510 реального состояния системы при несимметричном распределении выходного параметра к кривой положений системы при использовании семейства возможных моделей.

Выбор формы модели стохастической системы из условия минимума дистанции между положениями модели и реального состояний.

Четвёртое отличительное действие, осуществляемое этапом 620 схемы процесса на фиг. 6, состоит в выборе формы модели из условия минимума дистанции между моделью и реальным состоянием. Модели выбираются из семейства форм распределения и оценки параметра формы модели из базы данных моделей.

При построении мониторинга и контроля стохастической системой при несмещённой целевой плотности распределения выходного параметра в качестве основных параметров контроля принимаются форма распределения и её размах. Обеспечение контроля достигается за счёт использования семейств распределений, содержащих параметры формы и размаха.

Существующие алгоритмы позволяют оценить форму распределения выходного параметра только приближённо. Дело в том, что параметрические признаки формы асимметрии и эксцесса не позволяют получить форму при использовании нескольких подсемейств обобщённых распределений. Близкое расположение траекторий кривых в пространстве только параметрических признаков асимметрии и эксцесса не обеспечивают однозначный выбор формы модели.

В предлагаемом изобретении качество выбора формы осуществляется из условия минимума (21) между положением модели и состояния системы. Качество выбора формы обеспечено за счёт различности несимметричных распределений энтропийно-параметрического пространстве признаков и перехода в пространство оптимального состояния системы. При выборе модели распределения параметрам формы присваиваются их специфические значения.

Определение масштаба модели распределения выходного параметра стохастической системы

Следующее отличительное действие предполагаемого изобретения состоит в определении масштаба распределения выходного параметра стохастической системы на этапе 625 схемы процесса фиг. 6. Схема процесса определения параметра масштаба распределения выходного параметра дана на фиг. 8 в виде этапов 805, 810 и 815. Из фиг. 8 следует, что четвёртое отличительное действие предполагаемого способа мониторинга и контроля стохастической системы при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения содержит

определение на этапе 805 энтропийно-параметрического потенциала несимметричной плотности распределения выходного параметра;

формирование на этапе 810 энтропийно-параметрического потенциала несимметричной модели плотности распределения выходного параметра;

определение на этапе 815 параметра масштаба λ из условия минимума (24) разницы энтропийно-параметрических потенциалов для несимметричной модели и реального состояния плотности распределения выходного параметра.

Для пояснения действий, осуществляемых при определении масштаба модели распределения выходного параметра стохастической системы на фиг. 12 дана проекция пространства энтропийной и параметрической неопределённости несимметричных распределений выходного параметра, где даны следующие обозначения:

505 и 510 - точки положения оптимального и реального состояния системы при несимметричном распределении выходного параметра;

- 1205 - начало координат пространства энтропийной и параметрической неопределённостей;
- 1210 - дистанция энтропийно-параметрического потенциала Δ_{HP} выходного параметра;
- 1215 - точка положения модели с выбранной формой распределения и энтропийно-параметрическим потенциалом выходного параметра;
- 1220 - линия масштабов модели с выбранной формой распределения;
- 1225 - эквипотенциаль энтропийно-параметрического потенциала Δ_{HP}^* выходного параметра;
- 1230 - дистанция энтропийно-параметрического потенциала Δ_{HP}^* оптимального состояния;
- 1235 - эквипотенциаль энтропийно-параметрического потенциала Δ_{HP} оптимального состояния системы;
- 1240 - точка положения модели с выбранной формой распределения и энтропийно-параметрическим потенциалом оптимального состояния системы;
- 1245 - линия масштабов модели с формой оптимального состояния.

Пространство энтропийной и параметрической неопределённостей несимметричных распределений выходного параметра на фиг. 12 задано проекцией координаты энтропийного потенциала несимметричного распределения Δ_{HP} и координаты интервала параметрической неопределённости, равной корню квадратному второго начального момента $\sqrt{m_2}$ распределения выходного параметра.

В пространстве энтропийной и параметрической неопределённостей несимметричных распределений выбранной модели распределения соответствует линия масштабов модели 1220 с выбранной формой распределения, на которой различным дистанциям от начала координат 1205 до точек прямой 1220 соответствуют различные масштабы λ распределения выходного параметра. Наклон линии 1220 полностью определен отношением коэффициентом энтропии несимметричного распределения, определённого из выражения (33).

Точка положения оптимального состояния системы 505 находится на линии масштабов модели 1245 с формой оптимального состояния распределения, которая определена коэффициентом энтропии несимметричного распределения оптимального состояния. Для формы модели оптимального состояния возможно множество моделей с различными масштабами. Если коэффициент энтропии выбранной модели несимметричного распределения отличается от коэффициента энтропии несимметричного распределения оптимального состояния, то линии масштабов выбранной модели 1220 и модели оптимального состояния 1245 существуют как отдельные объекты.

Если коэффициент энтропии несимметричного распределения выходного параметра K_{HP}^* отличается от коэффициента энтропии выбранной модели несимметричного распределения, то точки положения 510 реального состояния системы при несимметричном распределении выходного параметра находится вне линии масштабов 1220 выбранной модели. На фиг. 12 проекции пространства энтропийной и параметрической неопределённостей несимметричных распределений схематично показана схема определения масштаба для модели распределения с выбранной формой, поясняющая действия схемы на фиг. 8 процесса определения масштаба модели распределения выходного параметра.

На этапе 805 схемы процесса 8 определяется энтропийно-параметрический потенциал несмещённой плотности распределения выходного параметра по формуле (14).

Согласно формуле (33) коэффициент энтропии несимметричного распределения выходного параметра пропорционален отношению энтропийного потенциала несмещённого распределения к корню квадратному второго начального момента распределения. Иллюстрация отношения (33) в пространстве энтропийной параметрической неопределённостей несимметричных распределений выходного параметра дана на фиг. 12, где положения объектов показаны схематично для иллюстрации процессов определения и минимизации параметра масштаба распределения.

Дистанция от точки 1205 начала координат пространства энтропийной и параметрической неопределённостей на фиг. 12 до положения точки 510 реального состояния системы равна энтропийно-параметрическому потенциалу стохастической системы. Для определения энтропийно-параметрического потенциала несимметричного распределения выходного параметра через координаты пространства неопределённостей использована формула (22).

На фиг. 12 энтропийно-параметрическому потенциалу выходного параметра Δ_{HP}^* соответствует дистанция 1210 от начала координат 1205 до точки положения реального состояния системы 510. Пунктирная линия 1225 является эквипотенциалью энтропийно-параметрического потенциала выходного параметра. Эквипотенциаль соответствует точкам положения моделей, для которых модуль энтропийно-параметрического потенциала равен модулю энтропийно-параметрического потенциала выходного параметра.

Для реального состояния 510 наилучшее соответствие параметра масштаба для модели 1215, расположенной на линии 1220 масштабов моделей с выбранной формой таким образом, что дистанция между точками 510 положения реального состояния и 1215 положения модели с выбранной формой в пространстве энтропийной и параметрической неопределённости минимально. При малых углах рассогласования точка 1215 положения модели с выбранной формой находится как пересечение линии 1220 масштабов

модели и эквипотенциали энтропийно-параметрического потенциала выходного параметра. Для определения параметра масштаба λ модели с выбранной формой необходима взаимосвязь параметра масштаба λ модели и энтропийно-параметрического потенциала выходного параметра.

По этой причине на этапе 810 схемы процесса на фиг. 8 проводится формирование энтропийно-параметрического потенциала несимметричной модели плотности распределения выходного параметра.

Энтропийно-параметрический потенциал для модели распределения выходного параметра равен дистанции между началом координат 1205 и положением модели 1215 в пространстве энтропийной и параметрической неопределённости. Формула для определения энтропийно-параметрический потенциал модели Δ_{HP}^λ через координаты пространства неопределённостей имеет вид

$$\Delta_{HP}^\lambda = \sqrt{(\Delta_{HP}^\lambda)^2 + m_{2\lambda}} \quad (40)$$

Если форма модели выбрана, то однозначно известен коэффициент энтропии K_{HP}^λ для модели несимметричного распределения. Квадрат потенциала энтропии несимметричного распределения равен произведению коэффициент энтропии на второй начальный момент $m_{2\lambda}$ несимметричного распределения модели распределения выходного параметра.

Для энтропийно-параметрического потенциала несимметричной модели распределения выходного параметра справедлива формула (23), согласно которой для плотности выходного параметра возможно множество моделей, отличающихся различными параметрами масштаба распределения. Для большинства несимметричных распределений энтропийно-параметрический потенциал пропорционален параметру масштаба модели λ . Тогда определив дистанцию от начала координат 1205 до точки положения модели 1215 при известной форме модели получим значение масштаба λ распределения выходного параметра.

Этап 815 схемы процесса на фиг. 8 состоит в определении параметра масштаба λ из условия (24) минимума разницы энтропийно-параметрического потенциала для несимметричной модели и реального состояния плотности распределения выходного параметра.

Процесс выбора параметра формы иллюстрирует фиг. 12. Очевидно, что наилучшее совпадение между моделью и реальным состоянием распределения системы можно достичь при совпадении точек положения модели 1215 с выбранной формой и реального состояния 510 системы. Так как из-за действия дестабилизирующих внешних факторов положение точки 510 реального состояния системы находится вне линии 1220 моделей выбранной формой, то точки положения модели 1215 соответствует минимальная дистанция между точками положения реального состояния системы 510 и линией 1220 выбранной формы модели. При малом различии коэффициента энтропии модели и реального состояния, угол между линией формы модели и линией формы реального состояния не превышает $1 \dots 5^\circ$. В этом случае масштаб модели выбирается из условия (24) минимума разницы энтропийно-параметрических потенциалов несимметричной модели и реального состояния распределения выходного параметра

Сохранения параметров модели стохастической системы в базе данных

Цель мониторинга состоит в сохранении восстанавливаемой информации о состоянии объекта при минимальном объёме переданных данных. По этой причине на этапе 630 схемы процесса на фиг. 6 обеспечивается сохранение параметров модели в базе данных. Сохранение признаков и распределения позволяет обеспечить восстановление информации о состоянии системы.

Определение рассогласования энтропийно-параметрических потенциалов модели реального и оптимального состояний стохастической системы

Следующее действие, иллюстрируемое этапом 635 схемы процессов на фиг. 6, состоит в определении рассогласования модели реального и оптимального состояния стохастической системы.

Для оптимального состояния второй начальный момент m_2^o и энтропийный потенциал Δ_{HP}^o несимметричного распределения выходного параметра, характеризующие интервалы энтропийной и параметрической неопределённости, имеют свои индивидуальные значения. В пространстве энтропийной и параметрической неопределённости на фиг. 12 оптимальному состоянию системы при несимметричном распределении выходного параметра соответствует точка положения 505. Дистанция 1230 от начала координат 1205 до точки 505 положения оптимального состояния системы равна энтропийно-параметрическому потенциалу оптимального состояния системы Δ_{HP}^o .

Для моделей с выбранной формой распределения соответствует множество точек на линии масштабов модели 1220, отличающихся масштабом распределения. Модель наиболее приближена к оптимальному состоянию, если дистанция между точкой 505 положения оптимального состояния системы и точкой 1240 положения модели оптимального состояния на линии 1220 масштабов модели с выбранной формой минимальна. Точка 1240 положения модели оптимального состояния определяется пересечением линии масштабов модели 1220 и эквипотенциали 1235 энтропийно-параметрического потенциала оптимального состояния системы.

Если энтропийно-параметрические потенциалы оптимального Δ_{HP}^o и реального Δ_{HP}^* состояний стохастической системы различны, то модели реального и оптимального состояний, заданные точками 1215 и 1240, расположенные на фиг. 12 на линии масштабов модели 1220, имеют различный масштаб при од-

ной той же форме. По этой причине на этапе 635 схемы процессов на фиг. 6 проводится определение рассогласования модели реального и оптимального состояния системы. Для определения рассогласования рассчитывается разница дистанций 1210 и 1230 энтропийно-параметрических потенциалов выходного параметра и оптимального состояния по формуле (25).

Для оценки дистанции между точками положения модели 1215 с энтропийно-параметрическим потенциалом реального состояния и точкой положения 505 оптимального состояния системы рассчитывается рассогласования квадратов интервалов энтропийной и параметрической неопределённости по формуле

$$\delta\Delta_{HP}^2 = (\Delta_{Hn}^{\lambda} - \Delta_{Hn}^{\circ})^2 + (\sqrt{m_2^{\lambda}} - \sqrt{m_2^{\circ}})^2. \quad (41)$$

Возведя в квадрат слагаемые выражения (41) и перегруппировав слагаемые, получим, что рассогласование квадратов энтропийной и параметрической неопределённости определяется разницей между суммой квадратов энтропийно-параметрических потенциалов и удвоенной суммой произведений энтропийных и параметрических неопределённости

$$\delta\Delta_{HP}^2 = ((\Delta_{Hn}^{\lambda})^2 + m_2^{\lambda}) + ((\Delta_{Hn}^{\circ})^2 + m_2^{\circ}) - 2(\Delta_{Hn}^{\lambda}\Delta_{Hn}^{\circ} + \sqrt{m_2^{\lambda} \cdot m_2^{\circ}}). \quad (42)$$

В выражении (42) первые два слагаемые представляют собой энтропийно-параметрические потенциалы для модели реального и оптимального состояний. Заменяв энтропийные неопределённости с помощью выражения (40) через интервалы параметрических неопределённости, получим формулу для расчёта рассогласования квадратов интервалов энтропийной и параметрической неопределённости

$$\delta\Delta_{HP}^2 = (\Delta_{HP}^{\lambda})^2 + (\Delta_{HP}^{\circ})^2 - 2(K_{Hn\lambda} K_{Hn0} + 1)\sqrt{m_2^{\lambda} \cdot m_2^{\circ}}. \quad (43)$$

Минимизация выражения (43) позволяет минимизировать рассогласование между моделью реального состояния и оптимальным состоянием.

Коэффициент энтропии несимметричного распределения модели равен сумме коэффициента энтропии оптимального состояния и рассогласования коэффициентов энтропии

$$K_{Hn\lambda} = K_{Hn0} + \Delta K_{Hn}$$

Второй начальный момент модели равен второму начальному моменту оптимального состояния и его рассогласования с учётом приближения для корня квадратного

$$\sqrt{m_2^{\lambda} m_2^{\circ}} = \sqrt{m_2^{\circ}} \sqrt{m_2^{\circ} + \Delta m_2} = m_2^{\circ} \sqrt{1 + \frac{\Delta m_2}{m_2^{\circ}}} = m_2^{\circ} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta m_2}{m_2^{\circ}}\right) = m_2^{\circ} + \frac{1}{2} \Delta m_2.$$

Квадрат энтропийно-параметрического потенциала связан и пропорционален второму начальному моменту

$$(\Delta_{HP}^{\circ})^2 = (K_{Hn0}^2 + 1)m_2^{\circ} \quad (44)$$

Тогда после преобразования выражения (44) с учётом равенства (44) получим формулу для рассогласования квадратов интервалов энтропийной и параметрической неопределённости вида

$$\delta\Delta_{HP}^2 = (\Delta_{HP}^{\lambda})^2 - (\Delta_{HP}^{\circ})^2 - 2K_{Hn0} m_2^{\circ} \cdot \Delta K_{Hn} - (K_{Hn0}^2 + 1)\Delta m_2. \quad (45)$$

Из полученного выражения следует, что при равенстве энтропийно-параметрических потенциалов модели и оптимального состояния рассогласования квадрата интервалов энтропийной и параметрической неопределённости определяется рассогласованием вторых начальных моментов и коэффициентов энтропии несимметричных распределений. Таким образом, выражение (45) более жёсткое условие для определения и минимизации рассогласования, чем формула (25).

Минимизация рассогласования энтропийно-параметрических потенциалов модели относительно оптимального состояния

Следующее действие, иллюстрируемое этапом 640 схемы процессов на фиг. 6, состоит в минимизации рассогласования энтропийно-параметрических потенциалов модели и оптимального состояния системы, осуществляемое в соответствии с условием:

$$\delta\Delta_{HP} \rightarrow \min$$

Минимизация рассогласования (11) энтропийно-параметрических потенциалов достигается посредством целевой корректировки закона распределения и формирования управляющего воздействия для коррекции связей стохастической системы.

Положения объектов в пространстве энтропийно-параметрической неопределённости на фиг. 12 даны схематично для иллюстрации процессов определения и минимизации параметра масштаба распределения.

Картирование состояния стохастической системы в энтропийно-параметрическом пространстве признаков выходного параметра

Для визуализации состояния системы на этапе 645 схемы процесса на фиг. 6 происходит картирование положения стохастической системы в пространства признаков распределения выходного параметра и в виде проекций зоны контроля на нормированные координаты пространства признаков оптимального состояния. На этапе 260 формируется сообщение относительно оптимальности состояния объекта.

Возможную реализацию материального средства, с помощью которого выполняется действие заяв-

ленного способа, иллюстрирует схема технического устройства, приведённая на фиг. 13.

Описание схемы устройства мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения

Для пояснения предполагаемого изобретения на фиг. 13 дана функциональная схема устройства мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения, где использованы следующие обозначения:

- 1310 - подсистема неконтролируемых процессов стохастической системы;
- 1315 - связи неконтролируемых процессов стохастической системы с контролируемым процессом выходного параметра стохастической системы;
- 1317 - связи влияющих факторов с контролируемым процессом выходного параметра стохастической системы;
- 1320 - контролируемый процесс стохастической системы;
- 1325 - влияющие факторы искусственного и естественного происхождения;
- 1330 - регистрирующее устройство;
- 1335 - устройство формирования распределения выходного параметра;
- 1340 - блок определения признаков формы распределения выходного параметра;
- 1345 - блок определения энтропийно-параметрического потенциала выходного параметра;
- 1350 - устройство формирования пространства оптимального состояния;
- 1355 - устройство выбора формы модели;
- 1360 - блок определения параметра масштаба модели;
- 1365 - устройство картирования состояния стохастической системы;
- 1370 - база данных;
- 1375 - устройство проверки принадлежности состояния стохастической системы зоне контроля оптимального состояния;
- 1380 - блок трансформации распределения;
- 1385 - устройство воспроизведения меры ЭПП целевого распределения;
- 1390 - блок целевой корректировки формы распределения;
- 1395 - блок формирования управляющего воздействия для регулировки связей стохастической систем.

В стохастической системе на фиг. 13 выделены подсистема неконтролируемых процессов 1310 стохастической системы, контролируемый процесс 1320, связи 1315 неконтролируемых процессов стохастической системы с контролируемым процессом стохастической системы и связи 1317 влияющих факторов с контролируемым процессом стохастической системы. Воздействие на контролируемый процесс 1320 возможно за счёт изменения связей 1315 неконтролируемых процессов стохастической системы и за счёт изменения связей 1317 влияющих факторов искусственного и естественного происхождения.

Регистрирующего устройства 1330 проводит регистрацию выходного параметра контролируемого процесса стохастической системы. Устройство формирования распределения выходного параметра 1335 осуществляет процесс формирования выборки $[Y]$ значений выходного параметра стохастической системы, полученных с регистрирующего устройства 1330. Блок определения признаков формы 1340 предназначен для вычисления признаков формы выходного распределения стохастической системы: асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии несимметричных несмещённых распределений. Значения признаков формы передаются в устройство формирования пространства оптимального состояния 1350, на выходе которого формируются матричный вектор $[\xi^*]$ нормированных координат положения для состояния распределения выходного параметра и матрица $[\xi]$ нормированных координат положений возможных моделей для состояний распределения выходного параметра в пространстве нормированных признаков формы оптимального состояния стохастической системы. Номер строки матрицы $[\xi]$ нормированных координат соответствует номеру s возможной модели стохастической системы. Номера столбцов матрицы $[\xi]$ определяют нормированные координаты положений возможных моделей состояния стохастической системы. Матричный вектор $[\xi^*]$ и матрица $[\xi]$ нормированных координат положений возможных моделей передаются на устройство выбора формы модели 1355, на выходе которого устанавливается номер s формы возможной модели состояния стохастической системы. Так как номера моделей имеют свой специфический номер s , то для моделей известны параметры и признаки формы распределения.

Блок 1345 схемы на фиг. 13 иллюстрирует процесс определения энтропийно-параметрического потенциала выходного параметра стохастической системы по формуле (22). Энтропийно-параметрический потенциал Δ_{HP}^* несимметричного несмещённого распределения выходного параметра стохастической системы характеризует положение среднего значения. Устройство 1385 предназначено для воспроизведения меры энтропийно-параметрического потенциала целевого распределения. Рассогласование состояния системы $\delta\Delta_{HP}$ оценивается по разнице энтропийно-параметрического потенциала выходного параметра Δ_{HP}^* и энтропийно-параметрического потенциала целевого распределения Δ_{HP} .

Рассогласование энтропийно-параметрического потенциала реального и оптимального состояний системы, соответствующее разнице оценок средних значений выходного и целевого распределений, и

используется блоком 1395 формирования управляющего воздействия χ для регулировки связей 1315 стохастической систем. При формировании управляющего воздействия χ так же учитывается положение модели s реального состояния системы. Согласно номеру модели s блок 1390 обеспечивает целевую корректировку формы распределения, которая учитывается блоком 1395 при формировании управляющего воздействия для регулировки связей стохастической систем. Таким образом, при минимизации рассогласования энтропийно-параметрического потенциала модели относительно оптимального состояния посредством целевой коррекции связей стохастической системы учитывается отклонение формы модели от оптимального состояния.

По значениям энтропийно-параметрического потенциала Δ_{HP}^* выходного параметра и известному номеру s формы модели реального состояния с помощью устройства 1360 проводится определение параметра масштаба модели χ из условия минимизации разницы энтропийно-параметрических потенциалов модели с номером s и состояния плотности распределения выходного параметра.

Устройство 1365 используются для картирования состояния стохастической системы в энтропийно-параметрическом пространстве признаков выходного параметра. Картирование проводится по известным параметрам формы (α, β) модели s и параметру масштаба λ . Для обеспечения процесса мониторинга проводится запись в базу данных 1370 номер s , параметры формы (α, β) и масштаба λ модели распределения выходного параметра для реального состояния стохастической системы.

Устройство 1375 проверки принадлежности состояния стохастической системы зоны контроля оптимального состояния позволяет контролировать выход системы из зоны контроля по изменению признаков формы выходного распределения. Блок 1380 трансформации распределения предназначен для формирования сообщения η о необходимости трансформации распределения для возврата системы в зону контроля. Трансформацию распределения можно достичь изменением свойств системы за счёт изменения настроечных параметров регулятора, расположенного в подсистеме неконтролируемых процессов 1310 стохастической системы, изменением состава влияющих факторов 1325 или изменением выбора оптимального состояния, относительно которого устанавливается мониторинг и контроль над стохастической системой.

Из рассмотрения схемы на фиг. 13 следует, что для обеспечения устойчивости системы блок 1395 формирует управляющее воздействие для регулировки связей 1315 неконтролируемых процессов стохастической системы и связей 1317 влияющих факторов с контролируемым процессом выходного параметра стохастической системы.

Формирование управляющего воздействия блоком 1395 для регулировки связей 1315 и 1317 проводится при условии отличного от нуля номера модели s и/или отличного от нуля рассогласования энтропийно-параметрического потенциала. Блок 1390 целевой корректировки формы закона распределения предназначен для формирования кода S управляющего воздействия, зависящего от положения модели реального состояния системы в энтропийно-параметрическом пространстве и заданного номером s . Заявитель обращает внимание, что определение номера s модели реального состояния позволяет целенаправленно изменять форму распределения к его целевой форме путём дифференцированного регулирования связей 1315 и 1317 согласно коду S . При этом пропорциональное регулирование связей с учётом кода S обеспечивает минимизацию рассогласования энтропийно-параметрического потенциала для обеспечения масштаба модели стохастической системы масштабу её целевого распределения.

Оптимальное состояние стохастической системы - это состояние, отслеживаемое системой и заданное целевой плотностью распределения с известными параметрами формы и масштаба. Энтропийно-параметрический потенциал оптимального состояния стохастической системы также задан целевым распределением выходного параметра.

Реальное состояние стохастической системы - состояние системы в текущий момент времени, характеристики которого определяются по выборке значений выходного параметра. Параметры распределения значений выходного параметра устанавливаются для модели реального состояния. Поэтому выбор формы и масштаба модели осуществляется по отношению к реальному состоянию стохастической системы.

Контроль направлен на обеспечение минимального рассогласования оценки энтропийно-параметрического потенциала контролируемого распределения выходного параметра для модели реального и оптимального состояний стохастической системы.

Оптимизация системы происходит путём минимизации рассогласования энтропийно-параметрического потенциала между оптимальным и реальным состоянием за счёт изменения параметров модели реального состояния и формирования управляющего воздействия для регулирования связей 1315 и 1317, изображённого на фиг. 13.

Предполагаемое изобретение может быть также использовано для мониторинга и контроля при эволюции системы или её циклическом изменении. Так как для таких систем происходит переход из одного оптимального состояния в другое оптимальное состояние, то очевидно, что на различных этапах эволюции системы контроль производится относительно различных оптимальных состояний, для которых априорно проводится задание границы зон контроля.

Таким образом, предлагаемый способ мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения устраняет переход системы в нерабочее состояние из-за многозначности выбора форм несимметричных моделей и обеспечивает устойчивость системы посредством контроля соответствия формы и масштаба модели её реальному состоянию в энтропийно-параметрическом пространстве признаков несимметричного распределения выходного параметра.

Источники информации

1. Лукас В.А. Теория управления техническими системами. – Издательство Уральского государственного горного университета. Екатеринбург. – 2005г. – 676 с.
2. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Якоалев А.В. Теория автоматического управления техническими системами. М.: Изд-во МГТУ, 1993. – 492 с.
3. Патент RU 2168763 Российская Федерация. Устройство для измерения характеристик случайных процессов / Сытько И.И., Сытько Е.Н., Волков А.В., Аврменко С.Г. – № 99107746/09 заявки, заявлен 19.04.1999; опубл. 10.06.2001.
4. Wang, H., 2003. Control of conditional output probability density functions for general nonlinear and non-Gaussian dynamic stochastic systems. IEE Proceedings: Control Theory and Applications 150 (1), 55–60.

5. Пат. 2 565 367 Российская Федерация. Способ контроля и управления динамической системой / Полосин В.Г., Бодин О.Н. – заявка № 2014111833/08; заявлен 27.03.2014; опубл. 20.10.15 Бюл. №29.
6. Sun Jian-Qiao Stochastic Dynamics and Control. Monograph Series on nonlinear Science and Complexity. Elsevier. AE Amsterdam, The Netherlands, First edition, 2006, 417 p.
7. Guoa L., Wang H., Wang A.P. Optimal probability density function control for NARMAX stochastic systems / Autovatica, Vol. 44, 2008, pp. 1904–1911.
8. Rose, C. and Smith, M.D. Mathematical Statistics with Mathematica, Springer-Verlag, New York – 2002 – 481 p.
9. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/> date.
10. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: Наука, 2001. – 298 с.
11. Патент RU №2296356 Российская Федерация. Способ контроля и управления динамической системой / Лазарев В.Л. – № 2005124236/09 заявки; заявл. 29.07.2005; опубл. 27.03.2007, Бюл. №9.
12. Полосин В.Г., Бодин О.Н. Критерии оптимального управления динамической системой. / Труды МФТИ. – 2015. – Том 7, № 3 (27). – С.131-139.
13. Пат. 2 334 262 Российская Федерация. Способ контроля и управления состоянием неопределённости системы // Лазарев В.Л. – № 2007116079/09 заявки; заявлен 27.04.07; опубл. 20.09.2008 Бюл. №26.
14. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешности результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат. 1985г. – 248 с.
15. Polosin V.G. Mapping distributions in the entropy–parametric space. International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies ICMSIT-2020, St. Petersburg, 4 March, 2020, Journal of Physics: Conference Series (JPCS). Publication number: ICMSIT-2020-4042.
16. Полосин В.Г., Тертычная С.В. Анализ результатов измерения объёмной активности радона с помощью распределения Вейбулла–Гнеденко. / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико–математические науки. №1 (9), 2009, С. 127–133.
17. Микляев П.С. Закономерности миграции и эсхалации радона из грунтов на территории г.Москвы: дис. на соискание степени канд. геолого-минералог. наук. / М., 2002. – 170 с.

18. Пат. 2532365, Российская Федерация. Способ мониторинга загрязнений природных сред техногенными источниками / Девятова А.Ю., Рапута В.Ф. Опубликовано: 10.11.2014, Бюл. № 31.
19. Самуленков Д.А., Мельникова И.Н., Донченко В.К., Сапунов М.В. Исследование загрязнений атмосферы с помощью лидарного мониторинга / Учёные записки Российского Государственного Гидрометеорологического университета., Санкт-Петербург, № 48, 2017, – С. 266-280.
20. Донцова Т.И. Балансный метод оценки загрязнений воздушной среды крупных городов на принципах биосферной совместимости / Волгоград, Дис. канд. техн. наук. 2016.
21. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьёв. - Москва: Наука, 1965. – 524 с.
22. Каштанов В. А., Медведев А. И. Теория надежности сложных систем. Москва: Физматлит, 2010., 607 с.
23. Русев В.Н. Актуальность теоретического исследования распределения Вейбулла–Гнеденко для расчета оценок технологической надежности нефтегазового оборудования // НТЖ «Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности». – 2013. – №11. – С. 46–49.
24. ГОСТР 50779.27–2017. (МЭК 61649: 2008) Статистические методы. Распределение Вейбулла. Анализ данных. Москва. Стандартиформ. 2017. 58 с.
25. Ярмоленко И.В., Хуковский М.В., Кирдин И.Я. Исследование свойств логнормального распределения при анализе результатов радоновых обследований / Актуальные проблемы ограничения облучения населения от природных источников ионизирующих излучений. Радон. М., 2000, С. 17 – 20.
26. Elandt-Johnson R., Johnson N. Survival models and data analysis. — New York: John Wiley & Sons, 1999. 457 p.
27. Ярмоненко С. П., Вайнсон А. А. Радиобиология человека и животных. М., Высш. шк., 2004. –54 с.
28. Романовский М.Ю., Романовский Ю.М. Введение в эконофизику. Статистические и динамические модели. М. Ижевск: институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. – 280 с.
29. Яковлева Т.В., Обзор методов обработки магнитно-резонансных изображений и развитие нового двухпараметрического метода моментов, Компьютерные исследования и моделирование, 2014, том 6, выпуск 2, 231–244.

30. Ali H. R., Dariush A. and other, Lymphocyte density determined by computational pathology validated as a predictor of response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer: secondary analysis of the ARTemis trial / *Annals of Oncology* 28: 1832–1835, 2017.
31. Бекман И.Н. Радиационная и ядерная медицина: физические и химические аспекты. Радиохимия. М., Щёлково: Издатель Мархотин., Том 7. 2012.- 400 с.
32. Котина Е.Д. Некоторые вопросы моделирования динамических процессов в радионуклидных исследованиях. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2013. – 150 с
33. Матвеев А.В. Моделирование кинетики радиофармпрепаратов при функциональном исследовании мочевыводительной системы / *Международный журнал медицины и психологии (International Journal of Medicine and Psychology)* 2019, Том 2, №3, С. 56 – 58.
34. Национальное руководство по радионуклидной диагностике / под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. – В 2-х т. – Томск: STT, 2010, Т.2. – 418 с.
35. Варфоломеев С.Д., Гуревич К.Г. Биокинетика: Практический курс. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 1999. – 720 с.
36. Белов А.А., Курдяков А.П. Дескрипторные системы и задачи управления. – М.: Физматлит, 2015. – 275 с.
37. Shannon K.E. The mathematical theory of communication. Work on information theory and cybernetics / Ed. R.L. Dobrushina, O.B. Lupanova, M., 1963., 829 p.
38. Новицкий П.В. Понятие энтропийного значения погрешности. – измерительная техника, 1966, № 7, С.11 – 14.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения выходного параметра, содержащее регистрирующее устройство для регистрации выходного параметра контролируемого процесса стохастической системы;

устройство формирования распределения выходного параметра;

блок определения признаков формы распределения выходного параметра, предназначенного для определения координат пространства признаков формы выходного распределения стохастической системы - асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии несимметричного несмещённого распределения;

устройство формирования пространства оптимального состояния с возможностью задания границы зоны контроля в пространстве признаков оптимального состояния, определения нормированных координат положения для состояния распределения выходного параметра в пространстве оптимального состояния стохастической системы, определения критерия для состояния стохастической системы в пространстве признаков оптимального состояния, определения нормированных координат положений возможных моделей стохастической системы в пространстве признаков оптимального состояния и формирования вектора нормированных координат положения возможных и оптимальных моделей;

блок проверки принадлежности состояния стохастической системы зоне контроля оптимального состояния и устройства предупреждения о необходимости трансформации распределения при её выходе из зоны контроля;

устройство выбора формы модели, с возможностью определения дистанции между положениями возможных моделей и реального состояния в нормированном центрированном пространстве признаков оптимального состояния стохастической системы и возможностью выбора модели стохастической системы из условия минимума дистанций между положениями модели и реального состояния, заданного номером s формы возможной модели состояния стохастической системы;

блок определения энтропийно-параметрического потенциала выходного параметра и блока определения масштаба модели;

устройство воспроизведения меры энтропийно-параметрического потенциала целевого распределения и определения рассогласования энтропийно-параметрического потенциала модели реального и оптимального состояния стохастической системы;

блок целевой корректировки формы распределения предназначенного для формирования кода S управляющего воздействия, зависящего от положения модели реального состояния системы в энтропий-

но-параметрическом пространстве;

блок формирования управляющего воздействия для регулировки связей стохастической системы, обеспечивающих минимизацию рассогласования энтропийно-параметрического потенциала модели относительно оптимального состояния и формирования управляющего воздействия для регулировки коэффициентов связей неконтролируемых процессов стохастической системы и коэффициентов связей влияющих факторов с контролируемым процессом стохастической системы;

устройство картирования состояния стохастической системы для отображения текущего состояния контролируемого процесса в энтропийно-параметрическом пространстве признаков выходного параметра и формирования базы данных для сохранения данных мониторинга состояния стохастической системы.

2. Способ мониторинга и контроля над стохастической системой при несмещённой несимметричной целевой плотности распределения выходного параметра, осуществляемый устройством по п.1 и включающий этапы регистрации состояния стохастической системы и формирования выборки y_i значений выходного параметра $y(t)$ стохастической системы, определение координат пространства признаков формы-асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии несимметричного распределения - для несимметричной несмещённой плотности распределения выходного параметра стохастической системы по формуле матричного вектора

$$[Sk^* \quad Ex^* \quad K_{Hn}^*] = \left[\frac{\mu_3^*}{(\sigma^*)^3}, \frac{\mu_4^*}{(\sigma^*)^4}, \frac{\Delta_{Hn}^*}{m_2^*} \right]$$

где m_2^* - второй начальный момент;

σ^* - среднее квадратический разброс;

μ_3^* и μ_4^* - третий и четвёртый центральные моменты;

Δ_{Hn}^* - энтропийный потенциал несимметричной несмещённой плотности распределения выходного параметра, определяемый по формуле

$$\Delta_{Hn}^* = \Delta y \cdot \exp \left(- \sum_{j=1}^m p_j \cdot \ln p_j \right)$$

где m - число интервалов группирования;

Δy - интервал группирования выходного параметра;

p_j - статистическая частота попадания отсчётов в j -й интервал группирования;

формирование пространства оптимального состояния стохастической системы включающее в себя следующие действия:

задание границы зоны контроля в пространстве признаков оптимального состояния при несимметричном распределении выходного параметра стохастической системы

$$\sum_i (\xi_{iy})^2 = \gamma_{\max},$$

где γ_{\max} - радиус зоны контроля;

ξ_{iy} - координаты границы контроля;

определение нормированных координат положения для состояния распределения выходного параметра в пространстве признаков оптимального состояния стохастической системы по формуле матричного вектора

$$[\xi^*] = [\xi_1^* \quad \xi_2^* \quad \xi_3^*]^T = \left[\frac{Sk^* - Sk_0}{a \cdot Sk_0}, \frac{Ex^* - Ex_0}{b \cdot Ex_0}, \frac{K_{Hn}^* - K_{Hn0}}{c \cdot K_{Hn0}} \right]^T$$

где Sk_0 , Ex_0 , K_{Hn0} - асимметрия, эксцесс и коэффициент энтропии несимметричной плотности распределения для оптимального состояния системы;

a , b , c - коэффициенты интервалов признаков для зоны контроля;

определение критерия для состояния стохастической системы в пространстве признаков оптимального состояния по формуле

$$\gamma^* = \sum_i (\xi_i^*)^2;$$

определение нормированных координат положений возможных моделей стохастической системы в пространстве признаков оптимального состояния по формуле матричного вектора

$$[\xi_s] = \left[\begin{array}{ccc} \xi_{1s} & \xi_{2s} & \xi_{3s} \end{array} \right]^T = \left[\begin{array}{ccc} \frac{Sk_s - Sk_0}{a \cdot Sk_0} & \frac{Ex_s - Ex_0}{b \cdot Ex_0} & \frac{K_{Hns} - K_{Hn0}}{c \cdot K_{Hn0}} \end{array} \right]^T$$

где Sk_s , Ex_s , K_{Hns} - асимметрия, эксцесс и коэффициент энтропии несимметричной плотности распределения для оптимального состояния системы;

s - номер модели стохастической системы;

$$s = \begin{cases} \{1, 2, 3, \dots\} & \text{для возможных состояний,} \\ 0 & \text{для оптимального состояния;} \end{cases}$$

проверки состояния стохастической системы принадлежности зоне контроля оптимального состояния и, если это необходимо, трансформации закона распределения управляемого параметра за счёт изменения настроечных параметров регулятора,

определение дистанций между положениями возможных моделей и реальных состояний в нормированном центрированном пространстве признаков оптимального состояния стохастической системы по формуле

$$\Delta L_s = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\xi_i^* - \xi_{is})^2};$$

выбор формы модели стохастической системы из условия минимума дистанции между положениями модели и реального состояний

$$\Delta L_s \rightarrow \min;$$

определение масштаба модели распределения выходного параметра стохастической системы, включающее в себя следующие действия:

определение энтропийно-параметрического потенциала Δ_{HP}^* несимметричной плотности распределения выходного параметра стохастической системы

$$\Delta_{HP}^* = \sqrt{(\Delta_{HP}^*)^2 + m_2^*}$$

формирование энтропийно-параметрического потенциала несимметричной модели плотности распределения выходного параметра стохастической системы

$$\Delta_{HP}^\lambda = \sqrt{(K_{HP}^2 + 1) \cdot m_{2\lambda}},$$

где $m_{2\lambda}$ и K_{HP} - второй начальный момент и коэффициент энтропии несимметричной модели распределения выходного параметра;

определение параметра масштаба из условия минимума разницы энтропийно-параметрических потенциалов для несимметричной модели и реального состояния плотности распределения выходного параметра стохастической системы

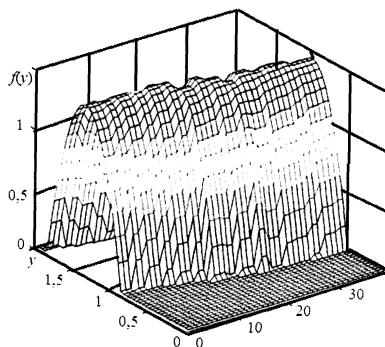
$$|\Delta_{HP}^\lambda - \Delta_{HP}^*| \rightarrow \min;$$

сохранение параметров модели стохастической системы в базе данных;

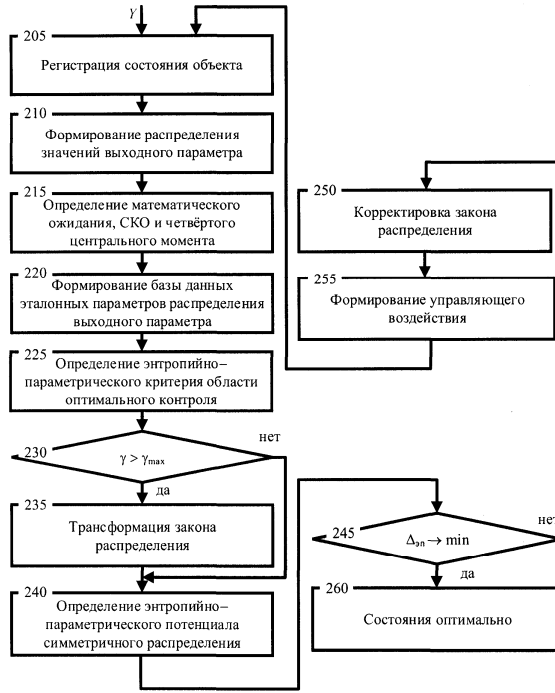
определение рассогласования энтропийно-параметрических потенциалов модели реального и оптимального состояний стохастической системы

$$\delta \Delta_{HP} = |\Delta_{HP}^\lambda - \Delta_{HP}^*| \rightarrow \min;$$

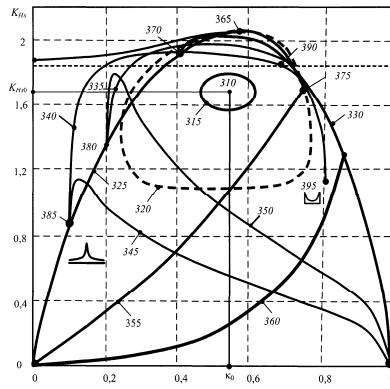
минимизацию рассогласований энтропийно-параметрических потенциалов модели относительно оптимального состояния посредством целевой корректировки закона распределения, формирования управляющего воздействия для коррекции связей стохастической системы, картирование состояния стохастической системы в энтропийно-параметрическом пространстве признаков выходного параметра и формирования базы данных эталонных параметров закона распределения выходного параметра стохастической системы.



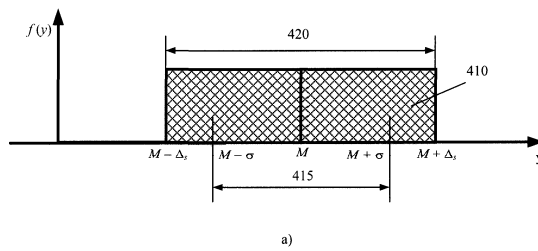
Фиг. 1



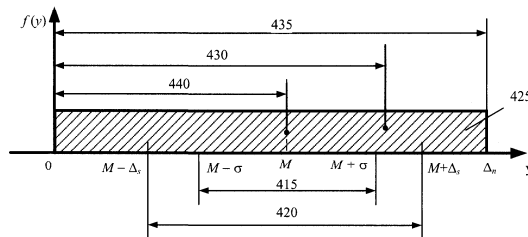
Фиг. 2



Фиг. 3

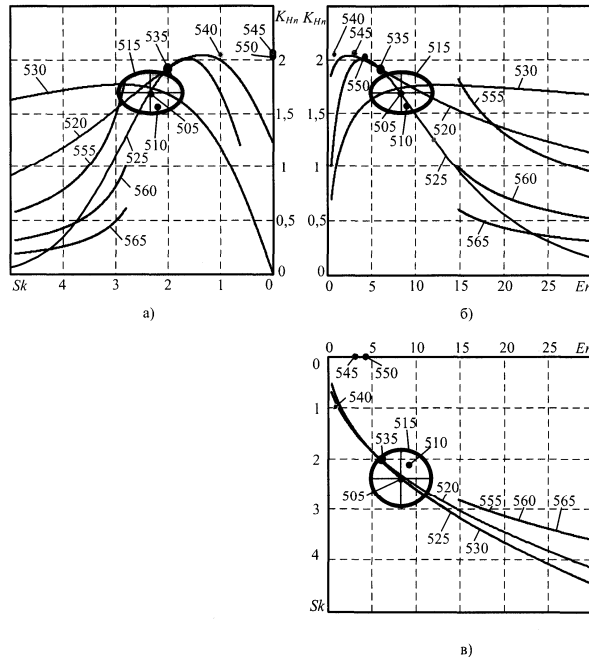


а)

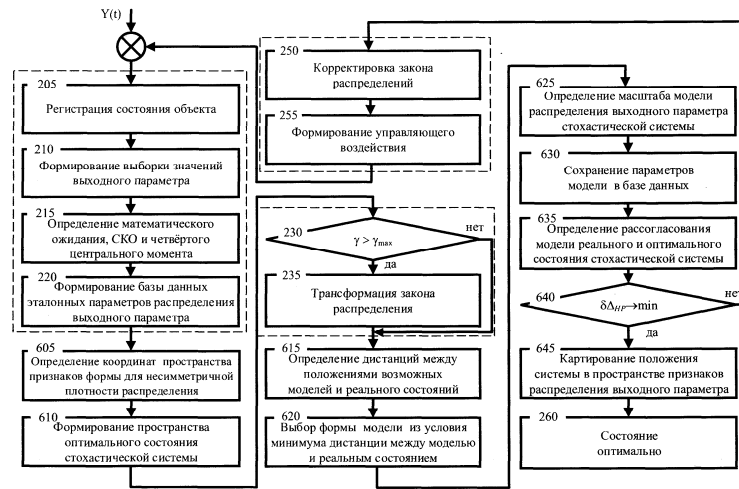


б)

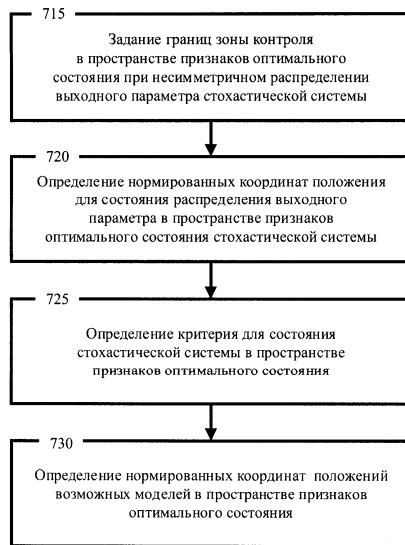
Фиг. 4



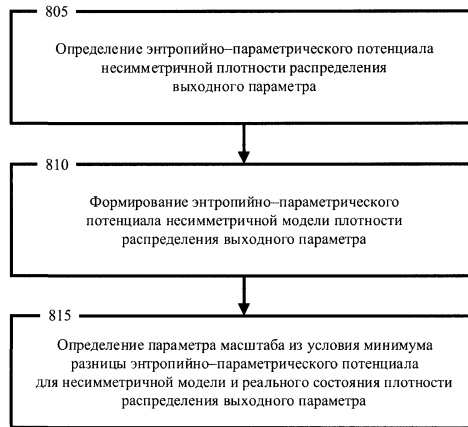
Фиг. 5



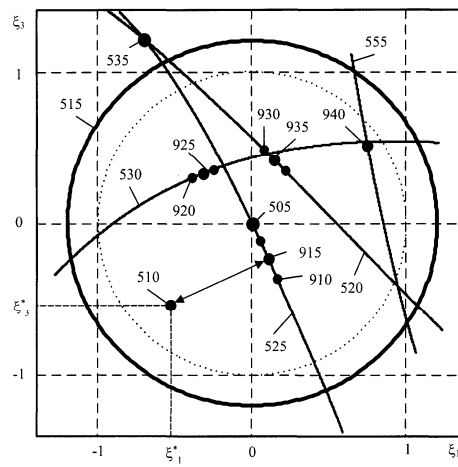
Фиг. 6



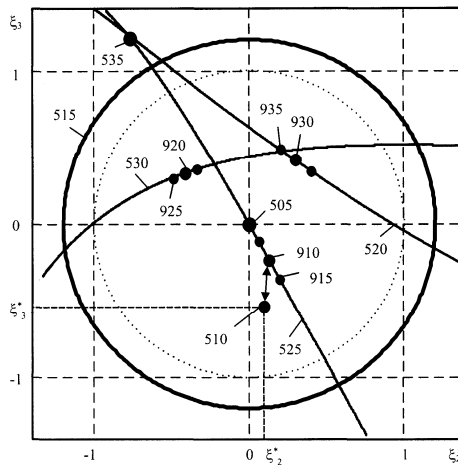
Фиг. 7



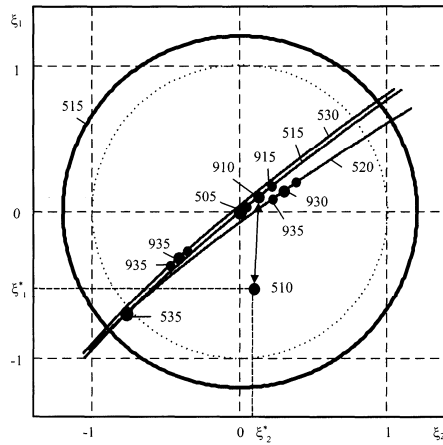
Фиг. 8



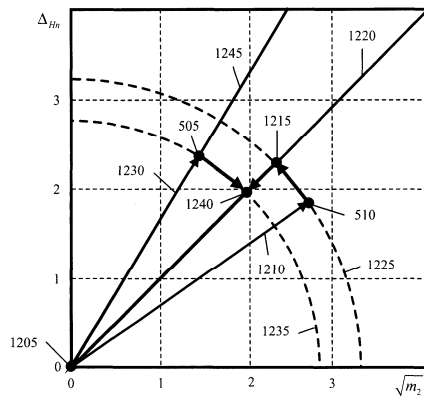
Фиг. 9



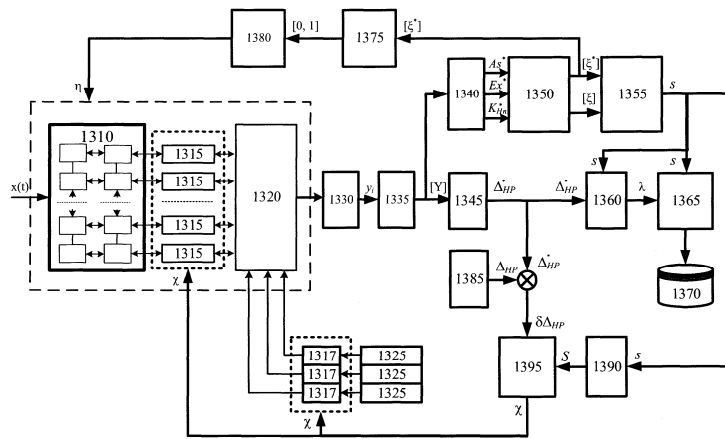
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13