

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В
СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро



(10) Номер международной публикации
WO 2021/242139 A1

(43) Дата международной публикации
02 декабря 2021 (02.12.2021)

(51) Международная патентная классификация:
G05B 13/00 (2006.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2021/000191

(22) Дата международной подачи:
06 мая 2021 (06.05.2021)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(30) Данные о приоритете:
2020118571 26 мая 2020 (26.05.2020) RU

(72) Изобретатель; и

(71) Заявитель: ПОЛОСИН, Виталий Германович
(POLOSIN, Vitaliy Germanovich) [RU/RU]; ул. Кубан-
ская 2-я, д. 29 Пенза, 440031, Penza (RU).

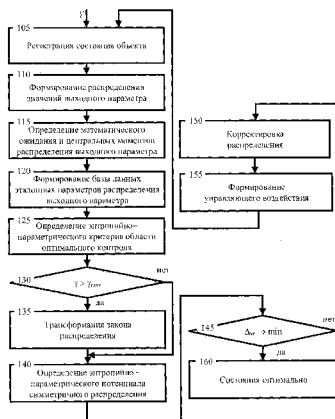
(81) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,

(54) Title: METHOD FOR MONITORING THE STATE OF A STOCHASTIC SYSTEM

(54) Название изобретения: СПОСОБ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЕМ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ



- 105 Record state of object
110 Generate distribution of output parameter values
115 Determine mathematical expectation and central moments of the output parameter distribution
120 Generate database of reference parameters of the output parameter distribution
125 Determine entropic-parametric criterion of optimal monitoring region
130 $y > y_{opt}$
135 Transform law of distribution
140 Determine entropic-parametric potential of symmetrical distribution
145 $den \rightarrow min$
150 Correct distribution
155 Generate control action
160 Optimal state
да yes
нет no

(57) Abstract: The invention relates to methods for organizing monitoring of a stochastic system and can be used in monitoring systems, inter alia, in the fields of power engineering, medicine and metallurgy and in the food industry, the chemical industry and other branches of industry. The technical result of the invention consists in optimizing and providing more complete monitoring of the state of a stochastic system. A method for monitoring the state of a stochastic system consists in providing tracking of a reference distribution by comparing uncertainty intervals and distribution characteristics with target distribution reference values, making it possible to monitor and adjust the shape and scale of the distribution of an output parameter of the system in a targeted fashion. This result is achieved in that when organizing monitoring, an array of values of an output parameter of the system is recorded and the shape of an asymmetrically distributed mixture of said array is checked and discrepancy of the entropic-parametric uncertainty of the state of the system is minimized by correcting the scaling parameters of the state of uncertainty by altering the setting parameters of a regulator.

(57) Реферат: Изобретение относится к способам организации контроля над стохастической системой и может быть использовано в системах контроля в энергетике, медицине, металлургической, пищевой, химической и других отраслях промышленности. Технический результат изобретения заключается в оптимизации и повышении полноты контроля состоянием стохастической системы. Способ контроля состоянием системой состоит в обеспечении отслеживания эталонного распределения за счет сравнение интервалов неопределенностей и признаков распределения с эталонными значениями целевого распределения, что позволяют контролировать и целенаправленно изменять форму и масштаб распределения выходного параметра системы. Результат достигается за счет того, что при организации контроля для зарегистрированного массива значений выходного параметра системы проводят проверку формы несимметрично распределенной смеси массива и минимизируют расхождение энтропийно-параметрической неопределенности состояния системы путем коррекции параметров масштабирования состояния неопределенности изменением настроечных параметров регулятора.



WO 2021/242139 A1

SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликована:

- с отчётом о международном поиске (статья 21.3)
- до истечения срока для изменения формулы изобретения и с повторной публикацией в случае получения изменений (правило 48.2(h))

Способ контроля состоянием стохастической системы

Предлагаемое изобретение относится к области контроля сложными стохастическими системами, и может быть использовано в энергетике, медицине, пищевой, химической, металлургической и других отраслях промышленности, повышении надёжности контроля в социально-экономических системах. Целью изобретения является повышение эффективности контроля состояния сложной стохастической системы.

Системы контроля стохастического распределения широко распространены в практических промышленных процессах, цель которых состоит в отслеживании трека вероятности выхода для негауссовых систем [1, 2, 3]. Существуют различные технические приложения, в которых требуются контроль над треком вероятности выходного параметра системы при наличии случайных возмущений. Примерами процессов контроля вероятностного распределения являются: контроль распределением частиц по размерам в химическом машиностроении, контроль распределением пламени в энергетических установках, контроль распределения биологических параметров в медицине, производство пленки, микротехнологии, контроль доменной структуры веществ, контроль распределения параметров для различных отраслей промышленности [4]. На современном этапе развития контроль неопределённости распределения системы строится на основе контроля моментов ответа стохастической системы [1, 2].

Наиболее близким к предполагаемому изобретению является способ контроля и управления динамической системы [5], заключающийся в том, что осуществляется регистрация состояния объекта, формирование выборки y_i значений выходного параметра $y(t)$, определение математического ожидания M и центральных моментов второго μ_2 и четвёртого μ_4 порядка, 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, минимизацию энтропийно-параметрического потенциала, корректировку закона распределения и формирование управляющего воздействия.

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

В качестве недостатков данного способа контроля и управления динамической системой следует отметить: ограничение моделей поведения системы только набором симметричных форм распределений выходного параметра; отсутствие анализа состояния неопределённости при несимметричном распределении выходного параметра системы; отсутствие возможности анализа формы и масштаба несимметричного распределения, что не обеспечивает контроль над состоянием системы по совпадению распределения выходного параметра и целевого распределения с известными параметрами.

Краткое описание чертежей

На фигуре 1 приведена схема процесса, реализующего известный способ контроля и управления динамической системой.

На фигуре 2 приведены чертежи неопределённостей для распределения

- а) чертежи неопределённостей для несимметричного гамма распределения;
- б) чертежи неопределённостей для несимметричной смеси распределений.

На фигуре 3 приведена схема процесса, реализующего предлагаемый способ контроля состояния стохастической системы.

На фигуре 4 приведена схема процесса определения рассогласования неопределённости состояния системы.

На фигуре 5 приведена диаграмма пространства энтропийной и параметрической неопределённостей состояния системы.

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

Классические схемы контроля состояния неопределённости системы при известном распределении выходного параметра построены на оценке рассогласований математического ожидания, дисперсии или среднего квадратического разброса стохастического выходного параметра системы при условии, что выходной параметр распределён по нормальному закону [6].

Недостаток классических схем контроля состоит в том, что для стохастических систем характерны асимметричные не Гауссовы плотности распределения. Задача отслеживания плотности распределения для негауссовых систем может быть решена на основе контроля набора статистической информации, характеризующей рассогласование состояния системы относительно заданного целевого распределения. Контроль направлен на то, чтобы статистические параметры распределения выходного параметра системы соответствовали статистическим параметрам целевого распределения.

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 на фигуре 1 иллюстрирует этапы для известного способа контроля и управления динамической системой заключающегося в том, что осуществляется регистрация состояния объекта на этапе 105; формирование выборки значений выходного параметра $y(t)$ на этапе 110; определение параметров распределения – математического ожидания, второго и четвёртого центральных моментов – на этапе 115; формирование базы данных эталонных параметров распределений выходного параметра на этапе 120; определение энтропийно–параметрического критерия области оптимального управления на этапе 125; проверку состояния объекта принадлежности области оптимального управления на этапе 130; трансформацию закона распределения на этапе 135; определение величины энтропийно–параметрического потенциала на этапе 140; минимизация величины энтропийно–параметрического потенциала на этапе 145; корректировка реальных параметров закона распределения выходного параметра на этапе 155; формирование управляющего воздействия на этапе 155; информирование об оптимальности состояния на этапе 160.

Известного способа контроля динамической системы имеет следующие недостатки.

1. Отсутствует анализа асимметрии распределения, что ограничивает возможность контроля в пространстве коэффициента энтропии и контрэксцесса только симметричных форм плотности распределения выходного параметра системы.
2. Отсутствует контроля масштаба неопределённости несимметричного распределения выходного параметра системы, так как минимизация энтропийно–параметрического потенциала направлена на уменьшение разброса среднего значения распределения выходного параметра.
3. Отсутствует возможность отслеживание и оптимизация трека распределения выходного параметра по отношению к треку целевого распределения.

Основной недостаток известного способа контроля состоит в том, что уменьшение состояния неопределённости системы путём минимизации энтропийно–параметрического потенциала реализует процесс минимизации рассогласования центра распределения в независимости от его формы и положения. При этом одинаковое положение центра распределения возможно при различных значениях формы и масштаба распределения.

Таким образом, известный способ контроля и управления, построенный на основе минимизации энтропийно–параметрического потенциала, *не обеспечивает контроль формы и масштаба* состояния неопределённости системы и целенаправленное изменение распределения выходного параметра к целевому распределению.

Предлагаемое изобретение направлено на *обеспечение контроля состояния неопределённости стохастической системы* путём контроля рассогласования интервалов энтропийной и параметрической неопределённостей несимметричного распределения выходного параметра.

По мнению автора предполагаемого изобретения, для обеспечения отслеживания распределения для негауссовых систем относительно эталонного распределения возможно посредством оценки интервалов неопределённости распределения выходного параметра, характеризующих состояние стохастической системы. Дистанции интервалов информационных и параметрических неопределённостей распределений случайных параметров пропорциональны параметру масштаба распределения. Отношение дистанций интервалов неопределённостей содержит дополнительную информацию о форме распределения. Следовательно, контроль интервалов информационных и параметрических неопределённостей распределения позволяет оценивать форму и масштаб распределения. Сравнение интервалов неопределённостей и признаков, полученных на их основе, с эталонными значениями целевого распределения позволяют контролировать и целенаправленно изменять форму и масштаб распределения выходного параметра системы для обеспечения отслеживания эталонного распределения.

Способ контроля состоянием стохастической системы основан на анализе состояния неопределённости и целенаправленном изменении распределения выходного параметра к целевому распределению стохастической системы, при котором осуществляют регистрацию выходные параметры; формирование массива значений выходного параметра y_i ; определение математического ожидания M , второго μ_2 , четвёртого μ_4 центральных моментов распределения выходного параметра; трансформацию закона распределения выходного параметра посредством изменения настроек системы; отличающийся тем, что осуществляют определение параметрических признаков формы асимметрии Sk , эксцесса Ex для несимметричного распределения выходного параметра системы по формулам;

$$Sk = \frac{\mu_3}{\mu_2 \sqrt{\mu_2}}, \quad (1)$$

$$Ex = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3, \quad (2)$$

где μ_2 , μ_3 , μ_4 – второй, третий и четвёртый центральные моменты для распределения выходного параметра определены по формуле:

$$\mu_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - M)^k, \quad (3)$$

здесь N – число значений в выборке выходного параметра; k – порядок центрального момента; M – математическое ожидание выходного параметра:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i. \quad (4)$$

определение коэффициента энтропии K_H для несимметричной плотности распределения выходного параметра системы по формулам:

$$K_H = \frac{\Delta_H}{\Delta_P}, \quad (5)$$

где Δ_P и Δ_H параметрический и энтропийный интервалы неопределённости системы:

$$\Delta_P = \sqrt{\mu_2}, \quad (6)$$

$$\Delta_H = 0,5 \cdot \exp(-H(Y)), \quad (7)$$

где $H(Y)$ – информационная энтропия массива значений выходного параметра Y , равная математическому ожиданию логарифма вероятности для массива значений Y :

$$H(Y) = E(-\ln P_Y(Y)) \quad (8)$$

определение критерия формы для области контроля состояния неопределённости стохастической системы при несимметричном распределении выходного параметра

$$\gamma = \left(\left\| \begin{array}{c} \frac{Sk_1 - Sk_0}{\Delta Sk_0} \\ \frac{Ex_1 - Ex_0}{\Delta Ex_0} \\ \frac{K_{H1} - K_{H0}}{\Delta K_{H0}} \end{array} \right\| \leq \alpha_{кр} \right) \quad (9)$$

где Sk_0 , Ex_0 , K_{H0} – оптимальные признаки формы асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии для оптимального состояния неопределённости системы; ΔSk_0 , ΔEx_0 , ΔK_{H0} – разбросы признаков формы асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии относительно их оптимальных значений; $\alpha_{кр}$ – критическое значение формы;

проверку принадлежности формы распределения области оптимального состояния системы, и если неравенство (3) верно при $\gamma \neq 0$, то выполняют трансформацию закона распределения выходного параметра посредством изменения настроек системы; и если неравенство (3) ложно при $\gamma = 0$, то проводят определение рассогласования интервала неопределённости состояния системы путём

– определения энтропийно-параметрического интервала неопределённости Δ_{HP} состояния системы по формуле

$$\Delta_{HP} = \sqrt{\Delta_H^2 + \Delta_P^2} \quad (10)$$

– определения энтропийно-параметрического интервала неопределённости Δ_{HP0} оптимального состояния стохастической системы по выражению

$$\Delta_{HP0} = \sqrt{\Delta_{H0}^2 + \Delta_{P0}^2} \quad (11)$$

где Δ_{H0} и Δ_{P0} – энтропийный и параметрический интервалы неопределённости оптимального состояния;

– определения рассогласования энтропийно-параметрического интервала неопределённости стохастической системы по формуле

$$\delta\Delta_{HP} = \Delta_{HP} - \Delta_{HP0} \quad (12)$$

минимизацию рассогласования энтропийно-параметрического интервала неопределённости $\delta\Delta_{HP}$ стохастической системы: формирование управляющего воздействия для коррекции параметров масштабирования состояния неопределённости стохастической системы за счёт изменение настроек регулятора, визуализацию состояния неопределённости стохастической системы.

Введённые действия с их связями проявляют новые свойства, расширяют функциональные возможности известного способа и позволяют обеспечить контроль состоянием неопределённости стохастической системы путём

– целенаправленного изменение распределения выходного параметра к целевому эталонному распределению системы;

– проверки *формы* несимметричного распределения выходного параметра:

– оценки интервалов информационных и параметрических неопределённостей для определения соответствия масштаба и формы распределения выходного параметра относительно целевого эталонного распределения;

– отслеживания рассогласования энтропийно–параметрического интервала неопределённости распределения выходного параметра относительно энтропийно-параметрического интервала неопределённости целевого распределения.

Свойства стохастической системы определены вероятностью образования множества случайных состояний. Изменение свойств системы связано с изменением вероятности наблюдаемых состояний. Состояние системы контролируют по неопределённости значений выходного параметра, для которого форма и масштаб распределения содержат информацию о состоянии системы.

Положение интервалов информационной и параметрической неопределённостей при несимметричном распределении выходного параметра иллюстрирует фигура 2.

На фигуре 2, а несимметричное распределение выходного параметра 210 задано смещённым Гамма распределением. На фигуре 2, б несимметричное распределение выходного параметра 210 задано смесью распределений. На фигуре 2, а и на фигуре 2, б одинаковые объекты имеют одинаковые обозначения: 210 – несимметричное распределение выходного параметра; 215 и 220 – модели интервалов параметрической и энтропийной неопределённости; 225 и 230 – дистанции интервалов параметрической и информационной неопределённости, соответственно.

Дистанции 225 и 230 моделей параметрической 215 и информативной 220 неопределённостей независимо характеризуют состояние неопределённости стохастической системы при несимметричном распределении выходного распределения 210. Так как обе модели неопределённости зависят от масштаба распределения, то для характеристики масштаба использован энтропийно-параметрический интервал неопределённости.

В работе [5] показано, что несимметричные несмещённые распределения характеризует коэффициент энтропии несмещённого распределения, равный интервалу энтропийной неопределённости несимметричного распределения, отнесённому к корню квадратному второму начального момента несмещённого распределения. Дистанция 230 интервала энтропийной неопределённости откладывается от начала ненулевой плотности несимметричного распределения, так как квадрат дистанции 230 пропорционален второму начальному моменту несмещённого несимметричного распределения. Дистанция интервала энтропийной неопределённости для несимметричного распределения пропорциональна среднему квадратическому значению разниц значений параметра y_i и смещения распределения λ . Особенность интервала энтропийной неопределённости несимметричного распределения в том, что его величина не зависит от смещения несимметричного распределения и пропорциональна масштабу распределения.

Для контроля масштаба несимметричных распределений выгодно использовать дистанцию энтропийно-параметрической неопределённости как признак масштаба распределения. Тогда оценка рассогласование масштабов распределения выходного параметра состояния системы будет пропорциональна рассогласованию интервалов энтропийно-параметрических неопределённостей этих состояний.

Таким образом, для контроля состояния неопределённости стохастической системы при несимметричном распределении выходного параметра достаточно осуществить контроль формы распределения посредством контроля признаков формы распределения и

контроль масштаба распределения посредством контроля рассогласования энтропийно-параметрических интервалов.

Схемы процесса на фигуре 3 иллюстрируют новые возможности и особенности предлагаемого способа контроля состоянием неопределённости стохастической системы. Для реализации новых возможностей в предполагаемом изобретении проводятся следующие действия, иллюстрируемые в виде этапов 310, 315, 320, 325, 330, 335, 340, 345 на фигуре 3 схемы процесса контроля состояния неопределённости стохастической системы: этапа 310 определения параметрических признаков формы для несимметричного распределения, этапа 315 определения коэффициента энтропии несимметричного распределения, этапа 320 определения критерия формы распределения состояния неопределённости системы, этапа 325 проверки принадлежности формы распределения области оптимального состояния, этапа 330 определения рассогласования интервала неопределённости стохастической системы, этапа 335 минимизации рассогласования интервала неопределённости стохастической системы, этапа 340 формирования управляющего воздействия для корректировки рассогласования интервала неопределённости, этапа 345 визуализации состояния неопределённости стохастической системы.

Определение параметрических признаков формы для несимметричного распределения выходного параметра системы

Первое отличительно действие, иллюстрируемое этапом 310 схемы процесса на фигуре 3, состоит в определении параметрических признаков формы несимметричного распределения системы по формулам (1) и (2), соответственно. Признаки асимметрии и эксцесса принято называть первым и вторым признаками формы вероятностных распределений, характеризующими асимметричность и островершинность распределения.

Признаки формы асимметрии и эксцесса представляют собой эффективный инструмент контроля асимметрии и островершинности как отдельных смещённых несимметричных распределений, так и различных смесей симметричных и несимметричных распределений, которые образуются в сложных стохастических системах.

Определение коэффициента энтропии для несимметричной плотности распределения выходного параметра системы.

Отношение дистанций 225 и 230 интервалов параметрической и информационной неопределённости представляют коэффициент энтропии несимметричной плотности распределения. По этой причине на этапе 315 схемы процесса на фигуре 3 проводится определение коэффициента энтропии несимметричного распределения.

Определение критерия формы распределения для области контроля состояния неопределённости стохастической системы

Отличительное действие, иллюстрируемое этапом 320 схемы процесса на фигуре 3, состоит в определении критерия формы распределения состояния неопределённости стохастической системы по формуле (3). Критерий формы, построенный на основе признаков формы асимметрии и эксцесса для несимметричной плотности распределения выходного параметра, позволяет из всего многообразия возможных несимметричных форм состояний неопределённости системы выделить формы несимметричного распределения выходного параметра, соответствующие оптимальному состоянию неопределённости системы. Критерий записан как неравенство между нормой вектора и критического значения формы $\alpha_{кр}$, выраженное Булево соотношение (9).

Значения признаков формы асимметрии Sk_0 , эксцесса Ex_0 и значение коэффициента энтропии K_{H0} для оптимального состояния неопределённости системы, разбросы ΔSk_0 , ΔEx_0 и K_{H0} признаков асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии априорно определены на основе усреднения многократного эксперимента или методом Монте-Карло для модели стохастической системы. Разброс признаков формы обусловлен как внешними случайными воздействиями, так и множеством случайно образующихся стохастических связей системы.

Проверка принадлежности формы распределения области оптимального состояния системы.

Этап 325 схемы процесса на фигуре 3 иллюстрирует проверку принадлежности формы распределения области оптимального состояния. Если критерий формы γ превышает своё максимальное значение γ_{max} , то проводят трансформацию закона распределения выходного параметра системы посредством изменения настроек системы и её параметров.

Определение рассогласования интервалов неопределённости состояния системы

Следующее отличительное действие, иллюстрируемое этапом 330 фигуры 3, состоит в определении рассогласования интервалов неопределённости стохастической системы. Развёрнутая схема процесса определения рассогласования интервалов неопределённости состояния стохастической системы дана на фигуре 4, из которой следует, что на этапе 410 происходит определение интервалов энтропийно-параметрической неопределённости состояния системы по формулам (10). На следующем этапе 415 определяют энтропийно-параметрический интервал неопределённости оптимального состояния системы по

формуле (11). Затем, на этапе 420, определение рассогласование интервалов энтропийно-параметрических неопределённостей состояний системы.

Минимизация рассогласования энтропийно-параметрического интервала неопределённости стохастической системы

Этап 335 схемы процесса на фигуре 3 иллюстрирует минимизацию рассогласования неопределённости стохастической системы путём корректировки распределения на этапе 150 и формирования управляющего воздействия на этапе 340 для корректировки рассогласования интервалов неопределённостей системы за счёт *изменения настроек регулятор*. Этап 345 иллюстрирует визуализацию состояния неопределённости стохастической системы посредством сигнальных индикаторов или схемы на экране дисплея.

Процесс минимизации рассогласования интервалов информационной Δ_{II} и параметрической Δ_p неопределённостей иллюстрирует диаграмма пространства энтропийной и параметрической неопределённостей состояний системы на фигуре 5, где даны следующие обозначения: 510 и 515 – положения оптимального и реального состояний неопределённостей системы; 520 и 525 – дистанции энтропийно-параметрического интервалов неопределённости оптимального и реального состояний системы; 530 и 535 – эквипотенциалы энтропийно-параметрических интервалов неопределённостей оптимального и реального состояний системы 540 – положение системы после коррекции рассогласования масштаба неопределённости; 545 – дистанция, равная рассогласованию неопределённости системы.

Положение оптимального состояний неопределённостей системы 510 определено эталонной моделью выходного параметра системы, для которого значения интервалов энтропийной и параметрической неопределённостей хранятся в базе данных эталонных параметров. Коэффициент энтропии для эталонной форма модели определяет наклон дистанции 520 энтропийно-параметрического интервала оптимального состояния. Положение 515 реального состояний неопределённостей системы определено значениями энтропийного Δ_{II} и параметрического $\Delta_p = (\mu_2)^{-0.5}$ интервалов, рассчитанных по массиву Y выборочных данных выходного параметра. Наклон дистанции 515 энтропийно-параметрического интервала неопределённости реального состояний системы определён коэффициентом энтропии реального состояния системы, который равен отношению неопределённостей (5).

Вследствие воздействия влияющих факторов положение 515 реального состояния отлично от положения 510 оптимального состояния. Дистанция 545 характеризует рассогласование интервалов энтропийно-параметрических неопределённостей оптимального и

реального состояний системы. Пунктирные линии иллюстрируют эквипотенциали 530 и 535, точки которых имеют одинаковые значения энтропийно-параметрических интервалов неопределённости оптимального и реального состояний системы. Переход системы из положения 515 реального состояния в положение 540 состояние системы после коррекции рассогласования масштаба неопределённости иллюстрирует минимизацию рассогласования неопределённости стохастической системы, выполняемую на этапе 345 схемы процесса на фигуре 3. Сохранившееся рассогласование после коррекции системы, иллюстрируемое положениями 510 и 540 состояния системы, можно достичь только за счёт коррекции формы системы.

В большинстве случаев состояние неопределённости стохастической системы образовано вследствие действия нескольких как независимых, так и коррелирующих причин. При влиянии различных воздействий распределение выходного параметра характеризуется смесью симметричных и несимметричных распределений.

Таким образом, проводимые действия позволяют обеспечить контроль состоянием неопределённости стохастической системы путём коррекции формы и масштаба состояния неопределённости системы и целенаправленного изменение распределения выходного параметра к целевому распределения, принятому в качестве эталона.

Литература

1. Jian-Qiao Sun, 2006. Stochastic Dynamics and Control. Monograph Series on Non-linear Science and Complexity / Elsevier B.V. 2006. – 410 p.
2. 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, P. 55–60.
3. Пухликов А. В. Задачи управления распределениями в динамических системах // Автоматика и телемеханика. – 1995. – №4. – С. 77 – 87.
4. Пухликов А. В. Задачи управления распределениями // Нелинейная динамика и управление. ФИЗМАТЛИТ – №2, – 2010.
5. Пат. 2565367 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. Лукас В.А. Теория управления техническими системами. – Издательство Уральского государственного горного университета. Екатеринбург. – 2005г. – 676 с.
7. Polosin V.G., 2020, Mapping distributions in the entropy-parametric space / Journal of Physics: Conf. Ser., 1515 032044, doi:10.1088/1742-6596/1515/3/032044.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ контроля состоянием стохастической системы, основанный на анализе состояния неопределённости и целенаправленном изменении распределения выходного параметра к целевому распределению стохастической системы, при котором осуществляют регистрацию выходные параметры; формирование массива значений выходного параметра y_i ; определение математического ожидания M , второго μ_2 , четвёртого μ_4 центральных моментов распределения выходного параметра; трансформацию закона распределения выходного параметра посредством изменения настроек системы; **отличающийся тем, что** осуществляют определение параметрических признаков формы асимметрии Sk , эксцесса Ex для несимметричного распределения выходного параметра системы по формулам:

$$Sk = \frac{\mu_3}{\mu_2 \sqrt{\mu_2}},$$

$$Ex = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3,$$

где μ_2 , μ_3 , μ_4 – второй, третий и четвёртый центральные моменты для распределения выходного параметра определены по формуле:

$$\mu_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - M)^k,$$

здесь N – число значений в выборке выходного параметра; k – порядок центрального момента; M – математическое ожидание выходного параметра:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i.$$

определение коэффициента энтропии K_H для несимметричной плотности распределения входного параметра системы по формулам:

$$K_H = \frac{\Delta_H}{\Delta_p},$$

где Δ_p и Δ_H параметрический и энтропийный интервалы неопределённости системы:

$$\Delta_p = \sqrt{\mu_2},$$

$$\Delta_H = 0,5 \cdot \exp(-H(Y)),$$

где $H(Y)$ – информационная энтропия массива значений выходного параметра Y , равная математическому ожиданию логарифма вероятности для массива значений Y :

$$H(Y) = E(-\ln P_Y(Y))$$

определение критерия формы для области контроля состояния неопределённости стохастической системы при несимметричном распределении выходного параметра

$$\gamma = \left(\left\| \begin{array}{c} \frac{Sk_1 - Sk_0}{\Delta Sk_0} \\ \frac{Ex_1 - Ex_0}{\Delta Ex_0} \\ \frac{K_{H1} - K_{H0}}{\Delta K_{H0}} \end{array} \right\| \leq \alpha_{кр} \right)$$

где Sk_0, Ex_0, K_{H0} – оптимальные признаки формы асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии для оптимального состояния неопределённости системы; $\Delta Sk_0, \Delta Ex_0, \Delta K_{H0}$ – разбросы признаков формы асимметрии, эксцесса и коэффициента энтропии относительно их оптимальных значений; $\alpha_{кр}$ – критическое значение формы;

проверку принадлежности формы распределения области оптимального состояния системы, и если неравенство (3) верно при $\gamma \neq 0$, то выполняют трансформацию закона распределения выходного параметра посредством изменения настроек системы; и если неравенство (3) ложно при $\gamma = 0$, то проводят определение рассогласования интервалов неопределённости состояния системы путём

-- определения энтропийно-параметрического интервала неопределённости Δ_{HP} состояния системы по формуле

$$\Delta_{HP} = \sqrt{\Delta_H^2 + \Delta_P^2}$$

-- определения энтропийно-параметрического интервала неопределённости Δ_{HP0} оптимального состояния стохастической системы по выражению

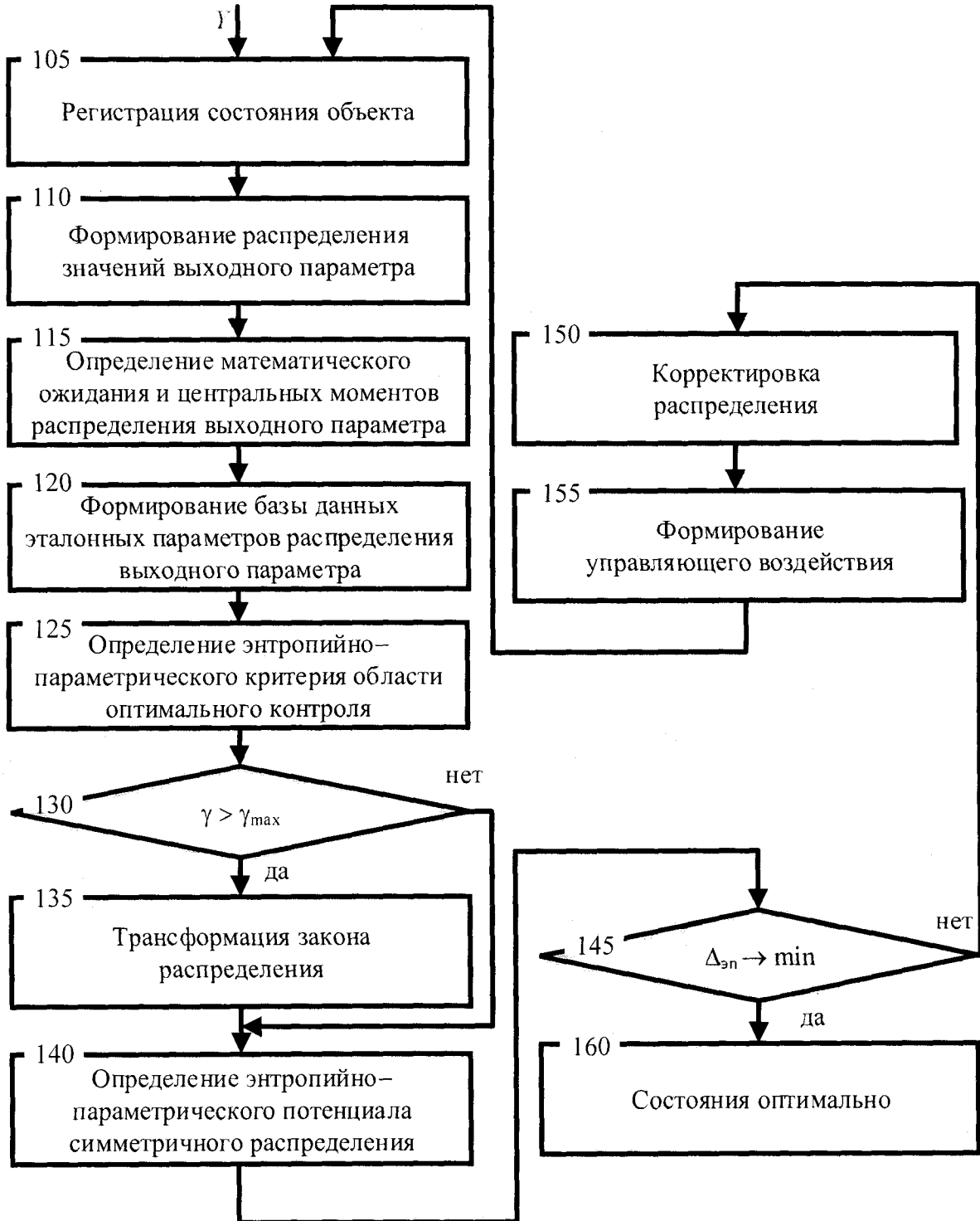
$$\Delta_{HP0} = \sqrt{\Delta_{H0}^2 + \Delta_{P0}^2}$$

где Δ_{H0} и Δ_{P0} – энтропийный и параметрический интервалы неопределённости оптимального состояния;

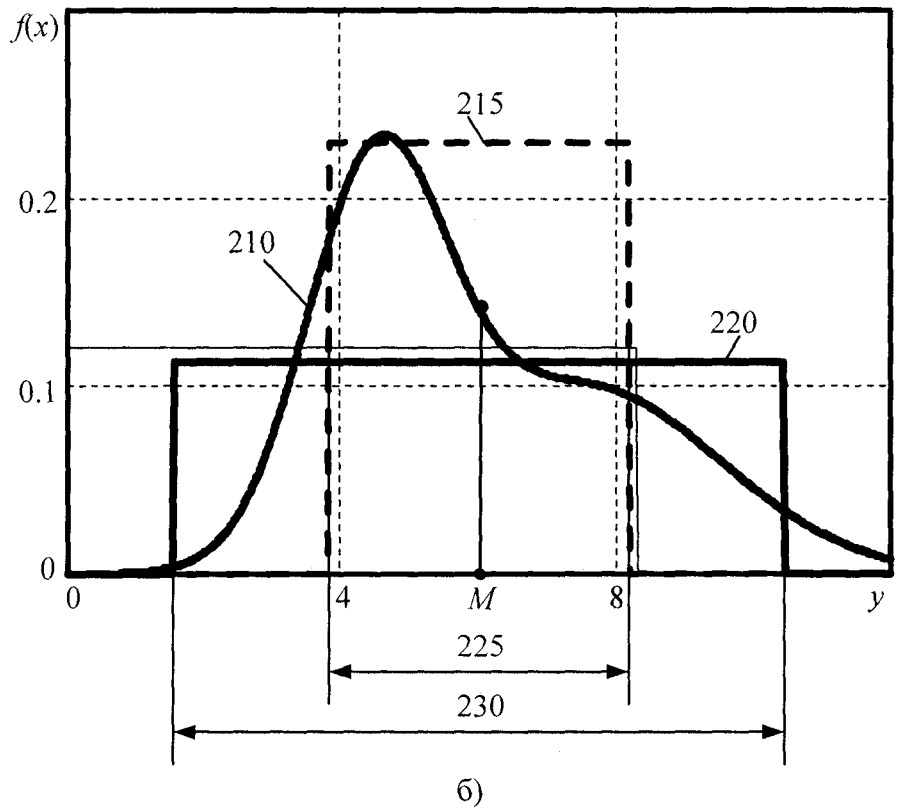
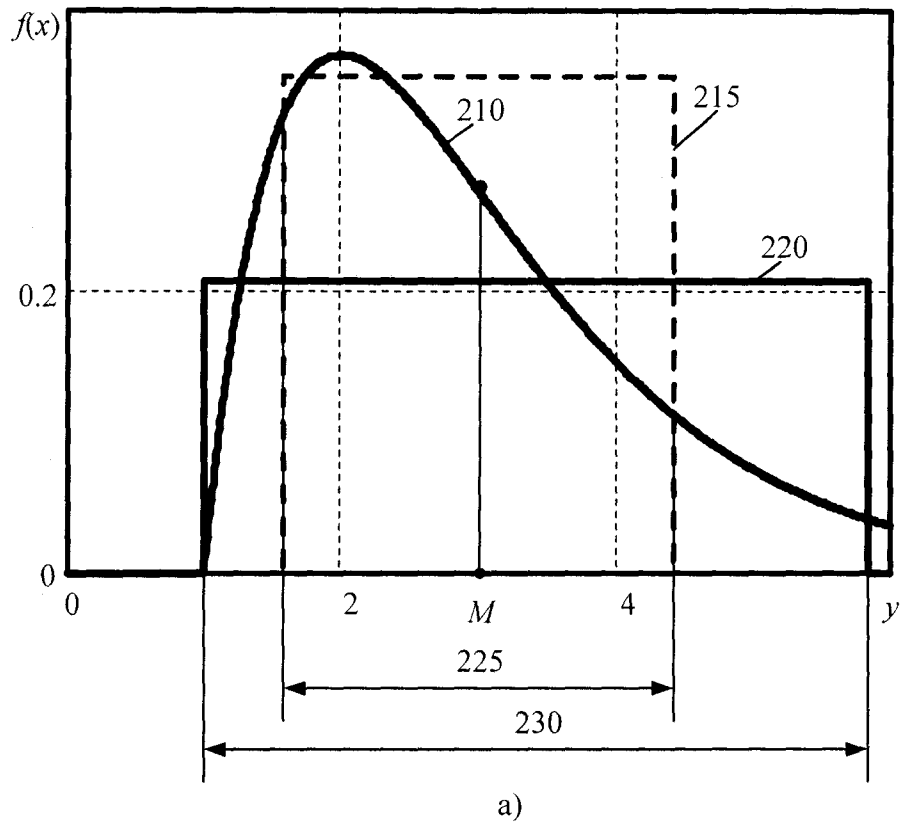
-- определения рассогласования энтропийно-параметрического интервала неопределённости стохастической системы по формуле

$$\delta \Delta_{HP} = \Delta_{HP} - \Delta_{HP0}$$

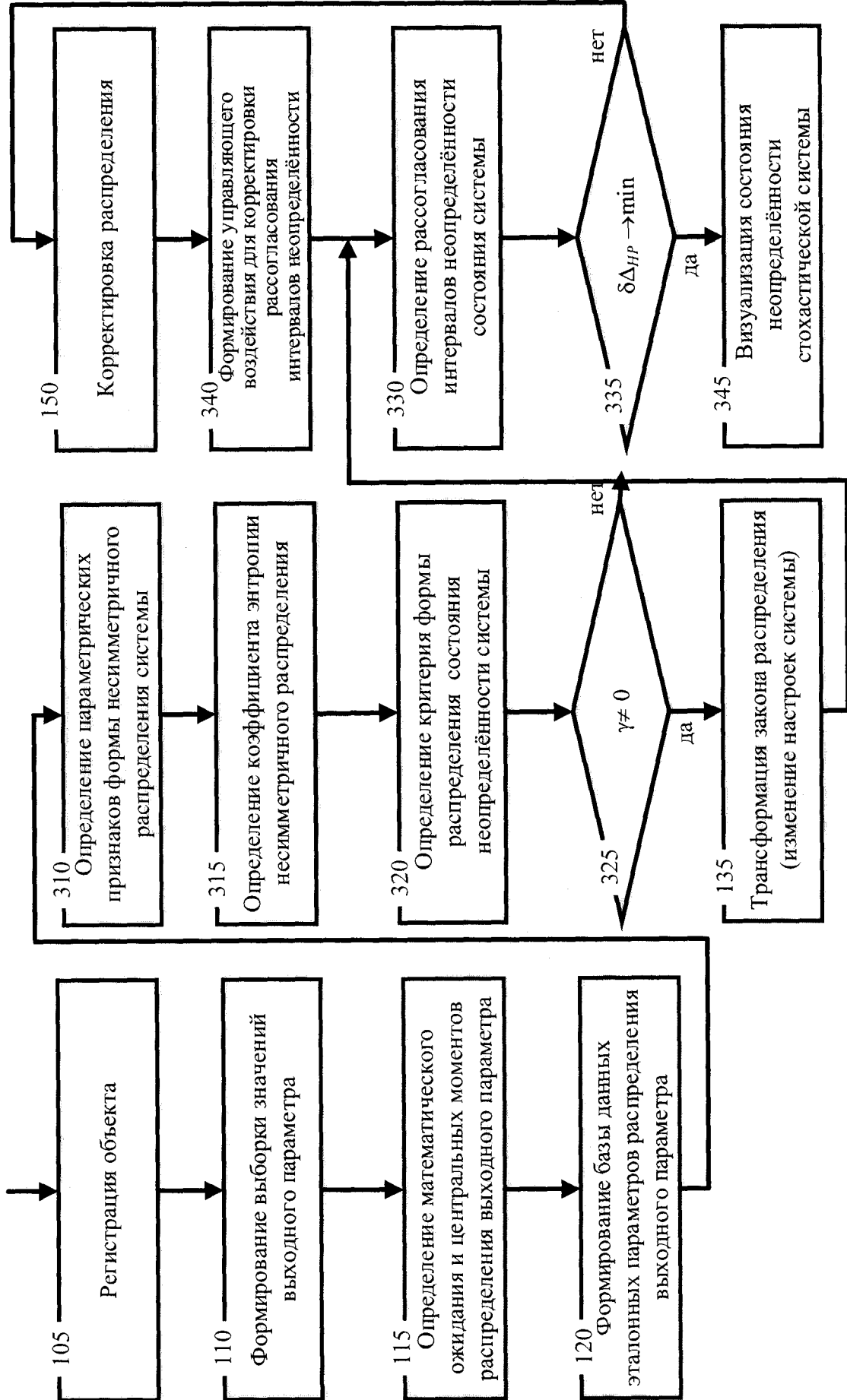
минимизацию рассогласования энтропийно-параметрического интервала неопределённости $\delta \Delta_{HP}$ стохастической системы; формирование управляющего воздействия для коррекции параметров масштабирования состояния неопределённости стохастической системы за счёт изменение настроек регулятора, визуализацию состояния неопределённости стохастической системы.



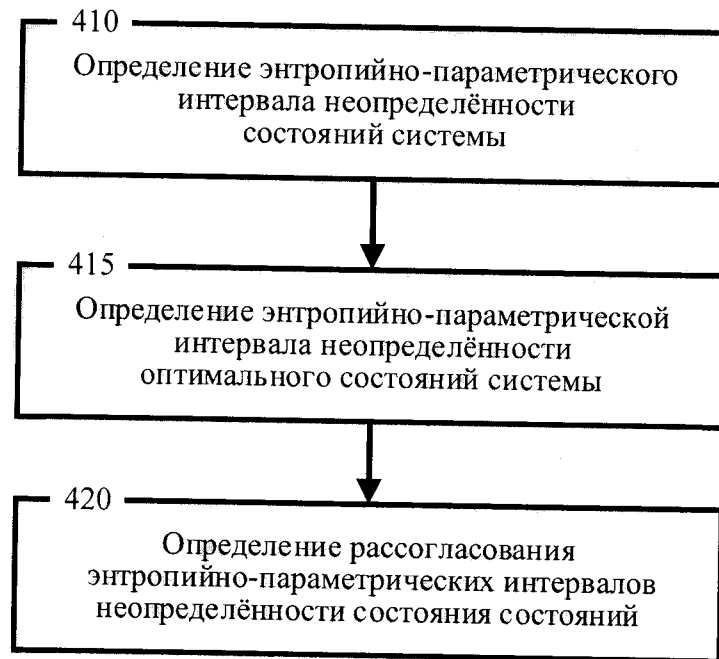
Фиг. 1



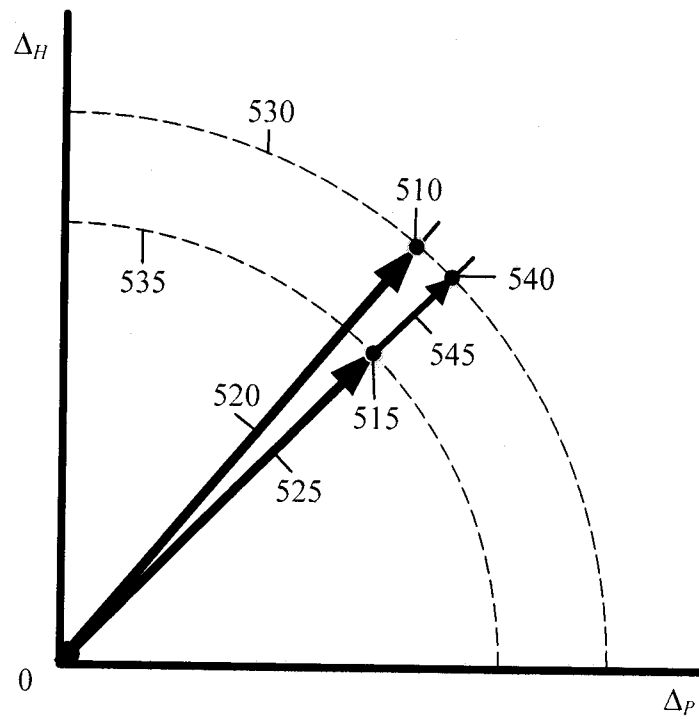
Фиг. 2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/RU 2021/000191

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G05B 13/00 (2006.01) According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G05B 13/00 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PatSearch (RUPTO Internal), USPTO, PAJ, Espacenet, Information Retrieval System of FIPS		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
D, A	RU 2565367 C1 (OBSCHESTVO S OGRANICHENNOY OTVETSTVENNOST'JU (OOO) "KARDIOVID") 20.10.2015, claim 1, figure 5	1
A	RU 2189067 C1 (LIPETSKY GOSUDARSTVENNY TEKHNIЧЕСKY UNIVERSITET) 10.09.2002	1
A	US 6532454 B1 (PAUL J. WERBOS) 11.03.2003	1
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 17 September 2021 (17.09.2021)		Date of mailing of the international search report 07 October 2021 (07.10.2021)
Name and mailing address of the ISA/ RU Facsimile No.		Authorized officer Telephone No.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2021/000191

<p>A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ <i>G05B 13/00 (2006.01)</i></p> <p>Согласно Международной патентной классификации МПК</p>														
<p>B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации) G05B 13/00</p> <p>Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки</p> <p>Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины) PatSearch (RUPTO Internal), USPTO, PAJ, Espacenet, Information Retrieval System of FIPS</p>														
<p>C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Категория*</th> <th>Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей</th> <th>Относится к пункту №</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D, A</td> <td>RU 2565367 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ (ООО) "КАРДИОВИД") 20.10.2015, пункт 1 формулы, фигура 5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 2189067 C1 (ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) 10.09.2002</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 6532454 B1 (PAUL J. WERBOS) 11.03.2003</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>			Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №	D, A	RU 2565367 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ (ООО) "КАРДИОВИД") 20.10.2015, пункт 1 формулы, фигура 5	1	A	RU 2189067 C1 (ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) 10.09.2002	1	A	US 6532454 B1 (PAUL J. WERBOS) 11.03.2003	1
Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №												
D, A	RU 2565367 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ (ООО) "КАРДИОВИД") 20.10.2015, пункт 1 формулы, фигура 5	1												
A	RU 2189067 C1 (ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) 10.09.2002	1												
A	US 6532454 B1 (PAUL J. WERBOS) 11.03.2003	1												
<p><input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы C. <input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении</p>														
<table border="0"> <tr> <td>* "А" "D" "E" "L" "O" "P"</td> <td> Особые категории ссылочных документов: документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным документ, цитируемый заявителем в международной заявке более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано) документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д. документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета </td> <td> "Т" "Х" "У" "&" </td> <td> более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста документ, являющийся патентом-аналогом </td> </tr> </table>			* "А" "D" "E" "L" "O" "P"	Особые категории ссылочных документов: документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным документ, цитируемый заявителем в международной заявке более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано) документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д. документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета	"Т" "Х" "У" "&"	более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста документ, являющийся патентом-аналогом								
* "А" "D" "E" "L" "O" "P"	Особые категории ссылочных документов: документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным документ, цитируемый заявителем в международной заявке более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано) документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д. документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета	"Т" "Х" "У" "&"	более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста документ, являющийся патентом-аналогом											
<p>Дата действительного завершения международного поиска 17 сентября 2021 (17.09.2021)</p>		<p>Дата отправки настоящего отчета о международном поиске 07 октября 2021 (07.10.2021)</p>												
<p>Наименование и адрес ISA/RU: Федеральный институт промышленной собственности, Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59, ГСП-3, Россия, 125993 Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37</p>		<p>Уполномоченное лицо: Плотников Т. Телефон № 8(495)531-65-15</p>												