

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035395**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.06.05

(51) Int. Cl. **G06F 17/10** (2006.01)
G01R 19/25 (2006.01)

(21) Номер заявки
201690519

(22) Дата подачи заявки
2013.09.13

(54) СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(43) **2016.08.31**

(86) **PCT/BY2013/000008**

(87) **WO 2015/035491 2015.03.19**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"АЛЫТХЭВЕН ТЕХНОЛОДЖИ" (ВУ)**

(72) Изобретатель:
**Ермишин Сергей Михайлович,
Король Александра Вячеславовна
(RU)**

(74) Представитель:
**Королева С.В., Вашук Т.В.,
Емельянова В.А. (ВУ)**

(56) ERMISHIN S. ET AL.: "Increasing the accuracy of measurements based on the solution of Pauli's quantum equation", PROC. SPIE 8749, QUANTUM INFORMATION AND COMPUTATION XI, 87490V (MAY 28, 2013) BALTIMORE, MARYLAND, USA, APRIL 29, 2013 - 2013.04.29-05.03, BELLINGHAM, WASH.: SPIE, 2013, US, vol. 8749, 29 April 2013 (2013-04-29), pages 1-15, XP008167469, DOI: 10.1117/12.2015729 ISBN: 978-0-8194-9540-2, the whole document
EP-A9-1975590

(57) Заявленные технические решения, объединенные единым изобретательским замыслом, относятся к метрологии, а именно к цифровым измерениям, которые совмещены с математической обработкой результатов этих измерений, и могут быть использованы в самых различных областях техники. Задачей, на решение которой направлены предложенные способ и устройство, является достижение высокой точности измерений. Способ проведения измерений физической величины включает регистрацию двумя средствами измерений значения одной и той же физической величины в виде аналоговых сигналов, преобразование этих сигналов в цифровую форму, математическую обработку результатов и последующее преобразование цифровых сигналов в аналоговые. Аналого-цифровой комплекс для проведения измерений физической величины (квантовый трансдюсер или квантовый преобразователь) включает два средства измерений, как минимум один преобразователь аналогового сигнала в цифровую форму, средство для проведения вычислений и как минимум один преобразователь из цифровой в аналоговую форму, при этом средство для проведения вычислений выполнено в виде четырех функциональных блоков.

B1**035395****035395****B1**

Заявленные способ проведения измерений и аналого-цифровой комплекс для его осуществления относятся к метрологии, а именно к цифровым измерениям параметров различных видов (напряжения, силы тока, сопротивления, давления, температуры, частоты, времени и т.д.), которые совмещены с математической обработкой полученных результатов. Заявленные технические решения объединены единым изобретательским замыслом и могут быть использованы в самых различных областях техники.

Известен способ измерения электрических и неэлектрических параметров [1]. Способ основан на проведении измерений посредством двух измерительных преобразователей, статические характеристики которых представляют в виде линейно-независимых функций. На каждом преобразователе проводят измерение исследуемого параметра с неконтролируемым параметром. Проводят градуировки коэффициентов статической характеристики преобразователей путем измерения значений трех образцовых мер, однородных с исследуемым параметром. Используют значения образцовой меры, однородной с неконтролируемым параметром, и вычисляют значения исследуемого параметра, обеспечивая независимость результата измерения от значений неконтролируемого параметра и упомянутых коэффициентов.

Однако этот способ имеет невысокую точность измерений вследствие недостаточной точности представления зависимости между измеряемыми и истинными значениями величины. Кроме того, способ довольно трудоемок и сложен в применении, поскольку требует данных об истинных значениях параметра (образцовой меры) с эталонной точностью.

Наиболее близким аналогом (прототипом) предлагаемой группы изобретений является способ измерения параметров сигналов телевизионного вещания и аналого-цифровой комплекс для реализации указанного способа [2].

Известный способ включает фиксацию телевизионных сигналов, их аналого-цифровое преобразование, промежуточное запоминание результатов измерений, их математическую обработку на персональной электронно-вычислительной машине применительно к задаваемой информационно-индикационной модели и преобразование результатов измерений в аналоговую форму.

Недостатком указанного способа является сравнительно низкая точность и узкая применимость, поскольку он рассчитан на измерение и обработку только телевизионных сигналов и помимо указанных выше действий требует дополнительного осуществления целого ряда специфических операций.

Известный аналого-цифровой комплекс для реализации способа измерения параметров сигналов телевизионного вещания содержит устройство ввода, аналого-цифровой преобразователь, ПЭВМ и программный блок. В комплексе предусмотрена возможность расширенной комплектации, предназначенной для отображения измеряемых параметров на экране дисплея и восстановления аналоговой формы измеряемого сигнала посредством цифро-аналогового преобразователя.

Аналого-цифровой комплекс, как и способ, для осуществления которого он служит, недостаточно универсален. Использование его для проведения измерений физических величин, отличных от телевизионных сигналов, требует его значительной переработки и усовершенствования. По сути дела, в каждом конкретном случае для измерения каждой конкретной физической величины требуется радикальное переоснащение измерительного комплекса, что равносильно созданию нового.

Задачей, на решение которой направлена заявляемая группа изобретения, является повышение точности измерений.

Поставленная задача решается способом проведения измерений физической величины, включающим регистрацию двумя средствами измерений значения одной и той же физической величины в виде аналоговых сигналов, преобразование этих сигналов в цифровую форму, математическую обработку результатов и последующее преобразование цифровых сигналов в аналоговые. При этом каждому из результатов, полученных каждым из двух средств измерений, задают норму неопределенности, что в совокупности с самими результатами представляет собой исходные данные в цифровой форме для математической обработки, при этом математическая обработка осуществляется путем преобразования исходных данных в аналоги коэффициентов и неизвестных в квантовом уравнении Паули со спинорным компонентом Штерна-Герлаха, решения полученных уравнений и вычисления аналогов спинового числа и соответствующей ему вероятности, которые затем преобразуют в искомым уточненный результат измерений физической величины.

Т.е. значения измеряемой величины, одновременно полученные двумя средствами измерений, с помощью математической обработки преобразуют в форму, менее зависимую от влияния величин, которые связаны как с проявлениями случайных эффектов, так и с неточностью поправки результата на систематические погрешности, а затем преобразуют обратно в исходную измеряемую величину, но более высокоточную.

Решение указанной задачи обеспечивается также аналого-цифровым комплексом для проведения измерений физической величины, включающим два средства измерений, как минимум один преобразователь аналогового сигнала в цифровую форму, как минимум один преобразователь из цифровой в аналоговую форму и средство для проведения вычислений, которое выполнено в виде четырех функциональных блоков. Выходы первого и второго средств измерений соединены с входами преобразователя аналогового сигнала в цифровую форму. Выходы преобразователя аналогового сигнала в цифровую форму подсоединены к входам первого функционального блока, предназначенного для преобразования

исходных данных в аналогии коэффициентов и неизвестных в квантовом уравнении Паули со спинорным компонентом Штерна-Герлаха, решения полученных уравнений и вычисления аналогов спинового числа и соответствующей ему вероятности. Выходы первого блока соединены с входами второго и третьего блоков, предназначенных для индикации на измерительных шкалах аналогов спинового числа и его вероятности соответственно. Выходы второго и третьего блоков соединены с входом четвертого блока, предназначенного для преобразования аналогов спинового числа и соответствующей ему вероятности в искомый уточненный результат измерений физической величины, а выход четвертого блока соединен с входом преобразователя из цифровой в аналоговую форму.

На чертежах представлены:

фиг. 1. - принципиальная схема заявленного аналого-цифрового комплекса;

фиг. 2. - схема алгоритма решения.

Аналого-цифровой комплекс для проведения измерений физической величины включает первое средство измерения 1 и второе средство измерения 2, преобразователь аналогового сигнала в цифровую форму 3, преобразователь цифрового сигнала в аналоговую форму 9 и средство для проведения вычислений 4, которое выполнено в виде четырех функциональных блоков 5-8, соединенных между собой следующим образом. Вход блока 5, предназначенного для преобразования исходных данных в аналогии коэффициентов и неизвестных в квантовом уравнении Паули со спинорным компонентом Штерна-Герлаха, решения полученных уравнений и вычисления аналогов спинового числа и соответствующей ему вероятности, соединен с выходом преобразователя аналогового сигнала в цифровую форму. Выход блока 5 соединен с входами блоков 6 и 7, предназначенных для индикации на измерительных шкалах аналогов спинового числа и его вероятности соответственно. Выходы блоков 6 и 7 соединены с входом блока 8, предназначенного для преобразования аналогов спинового числа и соответствующей ему вероятности в искомый уточненный результат измерений физической величины, а выход блока 8 соединен с входом цифроаналогового преобразователя 9.

Реализация способа на этом устройстве осуществляется следующим образом.

Сигналы от средств измерения (далее "СИ") 1 и 2 поступают в аналого-цифровой преобразователь 3, с выходов которого, уже в цифровой форме, их подают на входы функционального блока 5 средства для проведения вычислений 4.

Математически задачу, решаемую первым блоком 5, можно представить как расчет ограниченного набора спинорных чисел множества $\{\bar{S}\} = \{S_1, \dots, S_i, \dots, S_n\}$, $i=1, \dots, n$ и соответствующих им вероятностей $\{\bar{P}\} = \{P_1 | S_1, \dots, P_i | S_i, \dots, P_n | S_n\}$, $i=1, \dots, n$ на основе результатов измерений первого СИ (x_0), второго СИ (y_0), а также приписанных им относительных расширенных неопределенностей (погрешностей) dx и dy соответственно.

Для решения этой задачи вначале осуществляется преобразование исходных данных в аналогии коэффициентов и неизвестных в квантовом уравнении Паули со спинорным компонентом Штерна-Герлаха следующим образом.

Ограничим размерность координат квантового уравнения Паули двухмерной системой координат в соответствии с исходными данными измерительной задачи, которая рассматривает два СИ. На основе анализа размерности переменных квантового уравнения Паули и исходных данных x_0 , y_0 , dx , dy измерительной задачи повышения точности двух СИ для первого СИ, которому соответствует результат измерений x_0 и приписанная относительная расширенная неопределенность (погрешность), выраженная в процентах dx , получена таблица замещения, представленная ниже.

Таблица 1. Таблица замещения переменных квантового уравнения Паули и исходных данных измерительной задачи для уравнения, соответствующего первому СИ

Переменные исходного квантового уравнения Паули		Переменные аналога уравнения Паули на основе исходных данных измерительной задачи	
Обозначение	Название	Выражение	Примечание
$\hat{p}$	Оператор импульса	$\frac{1}{3dx\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\frac{y^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{(x_0 + y_0)}{2} \cdot \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}\right)}{16dx^2 \cdot \text{const}}}$	Const – константа, имеющая размерность величины x , равная 1

$\hbar$	Постоянная Планка	$\frac{\pi}{2}$	Безразмерная константа
e	Заряд электрона	e (см. Таблицу 2)	Безразмерная константа, зависящая от dx, dy
m	Масса	$2 * x_0 * \frac{dx}{100}$	
A	Потенциал электрического поля	$\frac{(\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2})^2}{0.27 dx^3 \sqrt{2\pi}}$	
φ	Потенциал магнитного поля	$\frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2 * x_0 * \frac{dx}{100} * 2 * y_0 * \frac{dy}{100}}$	
t	Время	$\hat{t}$	Произвольная величина, имеющая размерность времени, одинаковая для исходных данных dx, dy, x_0, y_0 одной измерительной задачи
B	Вектор напряженности магнитного поля	$(dx \left(\frac{2 * dx * dy * const^3}{x_0 * y_0} - x_0 \right); dy \left(\frac{2 * dx * dy * const^3}{x_0 * y_0} - y_0 \right))$	Const – константа, имеющая размерность величины x , равная 1
$\hat{S} \cdot B$	Произведение оператора спина на вектор B	$\bar{S} \cdot B$	Произведение спинового множества на вектор B
$g = \frac{e}{2mc}$	Спиновое гиромагнитное отношение	C (см. Таблицу 2)	Безразмерная константа, зависящая от dx, dy, x_0, y_0

Далее в формулах нормирующие коэффициенты, равные 1, не будут указываться для сокращения записи.

Таблица замещения переменных квантового уравнения Паули и исходных данных измерительной задачи для уравнения, соответствующего второму СИ, с результатом измерений y_0 и приписанной отно-

сительной расширенной неопределенности (погрешности), выраженной в процентах dy , получается путем простой замены переменных $x_0 \rightarrow y_0$, $dx \rightarrow dy$.

Значение безразмерных констант, соответствующих в таблице замещения переменным квантового уравнения Паули, заряд электрона e и спиновое гиромагнитное отношение g представлены в табл. 2. Данные табл. 2 были получены на основе анализа размерности переменных квантового уравнения Паули и исходных данных измерительной задачи исходя из условий единой для первого и второго СИ нормировки квадрата модуля волновой функции.

Таблица 2. Значение безразмерных констант, соответствующих в таблице замещения переменным квантового уравнения

Переменные квантового уравнения Паули		Значение безразмерных констант				
Обозначение	Название	Выражение				Примечание
e	Заряд электрона	$\tilde{e}$	dx/dy			
			0.25	0.5	0.75	1
		Значение константы	0.984	0.635	0.86	0.3846
$g = \frac{e}{2mc}$	Спиновое гиромагнитное отношение	C	dx/dy			
		Значение константы				
		x_0/y_0	0.25	0.5	0.75	1
		0.25	1	0.9743	0.008371	0.58352
		0.5	0.74245	0.27491	0.000047	0.003813
		0.75	0.62893	0.46274	0.28134	0.079367
		1	0.529346	0.43727	0.473923	0.402734
$g = \frac{e}{2mc}$	Спиновое гиромагнитное отношение	C	dy/dx			
		Значение константы				
		x_0/y_0	0.25	0.5	0.75	1
		0.25	0.72947	0.000374	0.23664	0.97364
		0.5	0.45724	0.02743	0.34269	0.876392
		0.75	0.372487	0.476634	0.765437	0.70362
		1	0.529346	0.43727	0.473923	0.402734

Как видно из табл. 2 значение спинового гиромагнитного отношения g отличается для уравнения, соответствующего первому и второму СИ. Промежуточные значения безразмерных констант, кроме обозначенных в табл. 2, можно получить либо округлением до ближайших значений, либо путем использования известных методов интерполяции.

Набор спинорных чисел $\{\tilde{S}\} = \{S_1, \dots, S_i, \dots, S_n\}$, $i=1, \dots, n$ и соответствующие им вероятности $\{\tilde{P}\} = \{P_1 | S_1, \dots, P_i | S_i, \dots, P_n | S_n\}$, $i=1, \dots, n$ являются одновременно переменными исходного квантового уравнения Паули и переменными его скорректированного аналога. При этом в исходном квантовом уравнении Паули присутствует два параметра, которые из анализа размерности связаны с квантовыми параметрами: набором спинорных чисел $\{\tilde{S}\}$ и соответствующими им вероятностями $\{\tilde{P}\}$ в скорректиро-

ванном аналоге квантового уравнения (см. табл. 3).

Таблица 3. Таблица замены переменных исходного квантового уравнения Паули и квантовых переменных аналога, скорректированного по размерности в соответствии с условиями измерительной задачи уравнения

Переменные исходного квантового уравнения Паули		Квантовые переменные скорректированного аналога уравнения Паули	
Обозначение	Название	Вид замены	Название
$\{\bar{X}\} = \{x_1, x_2\}$	Координата частицы в соответствующей размерности	$S \leftrightarrow \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$	Спин
$ \psi ^2(\bar{X}, t)$	Квадрат модуля волновой функции от координат частицы	$ \psi ^2(S, \hat{t}) = P_+ S_+$	Квадрат модуля волновой функции от спина

Далее в блоке 5 осуществляется решение полученных уравнений и вычисление аналогов спинового числа и соответствующих им вероятностей следующим образом.

Рассмотрим уравнение Паули:

$$i\hbar \frac{\partial \psi(\bar{X}, t)}{\partial t} = \left[\frac{1}{2m} \left(\hat{p} - \frac{e}{c} A \hat{I} \right)^2 + e \hat{I} \varphi - g \cdot \hbar (\sigma B) \right] \psi(\bar{X}, t) \quad (1)$$

где $\hat{I}$ - единичный оператор.

Раскрывая оператор σ в (1) получаем:

$$i\hbar \frac{\partial \psi(\bar{X}, t)}{\partial t} = \left[\frac{1}{2m} \left(\hat{p} - \frac{e}{c} A \hat{I} \right)^2 + e \hat{I} \varphi - \frac{g \cdot \hbar^2}{2} (\hat{s} \cdot B) \right] \psi(\bar{X}, t) \quad (2)$$

Используя таблицу замещения переменных квантового уравнения Паули и исходных данных измерительной задачи (табл. 1) и таблицу замены переменных исходного квантового уравнения Паули и квантовых переменных аналога (табл. 3), получаем скорректированный по размерности в соответствии с условиями измерительной задачи аналог уравнения Паули (3), соответствующий первому СИ:

$$\begin{aligned}
i \frac{\pi}{2} \frac{\partial \psi(\bar{S}, t)}{\partial t} = & \left[\frac{1}{2 * x_0 * \frac{dx}{100} (dx^2 + dy^2) |x_0 - y_0|} \left(\frac{1}{0.03 * dx \sqrt{2\pi}} \exp(- \right. \right. \\
& \left. \left. - \frac{\left(\sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2} \right)}{18 dx^2} \right) - \right. \\
& \left. - 2 * x_0 * \frac{dx}{100} * \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2.7 \cdot 10^{-7} \cdot dx^3 \sqrt{2\pi}} C)^2 + \tilde{t} \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2 * x_0 * \frac{dx}{100} * 2 * y_0 * \frac{dy}{100}} - \right] \\
& - s * C * \sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}} \left(\frac{dx \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - x_0 \right)}{dy \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - y_0 \right)} \right) \psi(\bar{S}, t)
\end{aligned}$$

(3)

Волновая функция в этом уравнении после замены переменных в соответствии с табл. 3 зависит не от координаты, а от спинового значения, при этом квадрат модуля волновой функции равен вероятности для данного спина.

Направление вектора спина в системе аналога квантовой системы имеет фиксированные значения угла относительно направления аналога магнитного поля. Эти значения - $\pi k/3$, где k - натуральное число. Соответственно для фиксированных входных данных значения проекции спинового вектора разделяются на группу кратных целочисленному значению или группу, кратную значению, деленному пополам. Эти группы являются аналогом разделения на бозоны и фермионы для спина. При этом в уравнении (2) возможно появление виртуального аналога 0-бозона (Бозона Хиггса).

Время в аналоге квантового уравнения (2) является величиной, одинаковой для исходных данных x_0, y_0, dx, dy одной измерительной задачи. Для следующей измерительной задачи появляется вторая точка времени и так далее.

Пример реализации в блоке 5 математических функций в виде алгоритма приведен на фиг. 2, а также в виде нижеприведенной программы.

Пример использования алгоритма в программе расчета, написанной на языке программирования C:

```

#include<stdio.h>
#include<math.h>

#define C(i,j) c[(i-1)*(N-1)+j-1]
#define D(i,j) d[(i-1)*(N-1)+j-1]
#define F(i,j) f[(i)*(N-1)+j-1]
#define Y(i,j) y[(i)*(N-1)+j-1]
#define Q(i,j) q[(i-1)*(N-1)+j-1]
#define P(i,j) p[(i-1)*(N-1)+j-1]
#define V(i,j) v[(i-1)*(N-1)+j-1]

double c1=0.57384
double c2=0.27482

#include"1.h"

void main()
{ double id=10,x0=0.5,z,dz, fi;
  int i=0,j,n=5, s;
  setlocale(0,"");
  FILE *fout,*fin;
  fout=fopen("out.txt" ,"w");
  fin=fopen("in.txt" ,"r");
  fscanf(fin,"%lf",&x);
  fscanf(fin,"%lf",&dx);
  fscanf(fin,"%lf",&y);
  fscanf(fin,"%lf",&dy);
  solvpaul(x, y, dx, dy, &fi, &s); //начало блока 5
  funcalg(x, y, dx, dy, fi, s, &z); // начало блока 8
  fprintf(fout,"%lf \n",z);
}

double h = 0;
int N;
int n;

//Правые части уравнений Паули(Используются в расчете блока 5)
double ff(int i,int j,dx,dy,x,y)
{
  double a = double(i)*h;
  double b = double(j)*h;

```

```

        return (1/(2*x*dx*(dx*dx+dy*dy)*abs(x-y)))*((1/(0.03*dx*sqrt(2*3.14)))*exp(-
(sqrt((a*a-y*y-x*x+(x+y)*(x+y)/2)/2+(x+y)/2-
(x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)))/(18*dx*dx)-
2*x*dx*((x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)*c1)/(2.7*Pow(10,-
7)*dx*dx*dx*sqrt(2*3.14))*((1/(0.03*dx*sqrt(2*3.14)))*exp(-(sqrt((a*a-y*y-
x*x+(x+y)*(x+y)/2)/2+(x+y)/2-(x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)))/(18*dx*dx)-
2*x*dx*((x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)*c1)/(2.7*Pow(10,-
7)*dx*dx*dx*sqrt(2*3.14)))+(x*dx*dx+y*dy*dy)/((dx*dx+dy*dy)*(4*dx*x*dy*y))-a*c2*-
(sqrt((a*a-y*y-x*x+(x+y)*(x+y)/2)/2+(x+y)/2-
(x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)))*dx*((2*dx*dy)/(x*y)-x));
    }
    double g(int i,int j)
    {
        double x = double(i)*h;
        double y = double(j)*h;
        return (1/(2*x*dx*(dx*dx+dy*dy)*abs(x-y)))*((1/(0.03*dx*sqrt(2*3.14)))*exp(-
(sqrt((a*a-y*y-x*x+(x+y)*(x+y)/2)/2+(x+y)/2-
(x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)))/(18*dx*dx)-
2*x*dx*((x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)*c1)/(2.7*Pow(10,-
7)*dx*dx*dx*sqrt(2*3.14))*((1/(0.03*dx*sqrt(2*3.14)))*exp(-(sqrt((a*a-y*y-
x*x+(x+y)*(x+y)/2)/2+(x+y)/2-(x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)))/(18*dx*dx)-
2*x*dx*((x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)*c2)/(2.7*Pow(10,-
7)*dx*dx*dx*sqrt(2*3.14)))+(x*dx*dx+y*dy*dy)/((dx*dx+dy*dy)*(4*dx*x*dy*y))-a*c1*-
(sqrt((a*a-y*y-x*x+(x+y)*(x+y)/2)/2+(x+y)/2-
(x*dx*dx+y*dy*dy)/(dx*dx+dy*dy)))*dx*((2*dx*dy)/(x*y)-x))*sin(b);
    }
    // матрицы для решения уравнений
    void fill_c(double*c)
    {
        for (int j = 1; j < N; j++)
            for (int i = 1; i < N; i++) C(i,j) = 0;
        for (int i = 1; i < N; i++) C(i,i) = 4;
        for (int i = 1; i < N-1; i++) C(i,i+1) = -1;
        for (int i = 2; i < N; i++) C(i,i-1) = -1;
    }

```

```

}
void fill_cl(double *c, int k, int l)
{
    for (int j = 1; j < N; j++)
        for (int i = 1; i < N; i++) C(i,j) = 0;
    for (int i = 1; i < N; i++) C(i,i) = 4 - 2.0*cos(double(2*i-1)*3.1415926/double(1<k));
    for (int i = 1; i < N-1; i++) C(i,i+1) = -1;
    for (int i = 2; i < N; i++) C(i,i-1) = -1;
}
int InvMatrix(int size, double *a, double *x);
int solvpaul(double x,double y, double dx, double dy, double &z, int &s)//Решение аналога
уравнения Паули(блок 5)
{
    h = 1.0/double(100);
N=100;
    double *vv = new double[N-1];
double *f;double *c;double *d;double *q;double *v;double *p;double *y;
int W=(N-1)*(N-1);
int WE=(N+1)*(N-1);
c = new double[W];d = new double[W];f = new double[WE];
q = new double[W];p = new double[W];v = new double[W];
y = new double[WE];
fill_c(c);
for (int i = 1; i < N; i++) F(0,i) = g(0,i);
for (int i = 1; i < N; i++) F(N,i) = g(N,i);
    for (int j = 1; j < N; j++)
    {
        for (int i = 1; i < N; i++)
        {
            F(j,i) = ff(i,j)*h*h;
        }
        F(j,1) += g(j,0);
        F(j,N-1) += g(j,N);
    }
    for (int j = 1; j < N; j++)
        for (int i = 1; i < N; i++)

```

```

{
    Q(j,i) = F(j,i);
}
for (int j = 1; j < N; j++)
    for (int i = 1; i < N; i++) P(j,i)=0.0;
InvMatrix(N-1,c,d);
for (int j = 2; j <= N-2; j+= 2)
{
    for (int i = 1; i < N; i++)
    {
        P(j,i) = 0;
        for (int s = 1; s < N; s++) P(j,i) += D(i,s)*Q(j,s);
    }
}
for (int j = 2; j <= N-2; j+= 2)
{
    for (int i = 1; i < N; i++)
        Q(j,i) = 2.0*P(j,i) + Q(j-1,i)+Q(j+1,i);
}
for (int k = 2; k < n;k++)
{

    int t = 1<<k;
    int m = 1<<(k-1);
    for (int j= t; j <= N-t; j+= t)
    {
        for (int i = 1; i < N; i++)
            V(j,i) = Q(j,i) + P(j-m,i)+P(j+m,i);
    }
    for (int l = 1; l <= m; l++)
    {
        fill_cl(c,k,l);
        InvMatrix(N-1,c,d);

        for (int j= t; j <= N-t; j+= t)

```

```

{
    for (int i = 1; i < N; i++)
    {
        double r = 0;
        for (int s = 1; s < N; s++) r += D(i,s)*V(j,s);
        vv[i-1] = r;
    }
    for (int i = 1; i < N; i++) V(j,i) = vv[i-1];
}
}
for (int j= t; j <= N-t; j+= t)
{
    for (int i = 1; i < N; i++)
        P(j,i) = P(j,i) + V(j, i);
    for (int i = 1; i < N; i++)
        Q(j,i) = 2.0*P(j,i) + Q(j-m, i)+Q(j+m,i);
}
}
for (int i = 1; i < N; i++)
{
    Y(0,i) = F(0,i);
    Y(N,i) = F(N,i);
}
for (int k = n; k >= 2; k--)
{
    int m = 1 << (k-1);
    int t = 1 << k;
    for (int j = m; j <= N-m; j += 2*m)
    {
        for (int i = 1; i < N; i++)
            V(j,i) = Q(j,i) + Y(j-m,i) + Y(j+m,i);
    }
    for (int l = 1; l <= m; l++)
    {
        fill_cl(c,k,l);
    }
}

```

```

InvMatrix(N-1,c,d);
for (int j= m; j <= N-m; j+= 2*m)
{
    for (int i = 1; i < N; i++)
    {
        double r = 0;
        for (int s = 1; s < N; s++) r += D(i,s)*V(j,s);
        vv[i-1] = r;
    }
    for (int i = 1; i < N; i++) V(j,i) = vv[i-1];
}
}
for (int j= m; j <= N-m; j+= 2*m)
{
    for (int i = 1; i < N; i++) Y(j,i) = P(j,i) + V(j,i);
}
}
fill_c(c);
InvMatrix(N-1,c,d);
for (int j = 1; j <= N-1; j +=2)
{
    for (int i = 1; i < N; i++)
    {
        double r = 0;
        for (int s = 1; s < N; s++)
            r += (D(i,s))*(Q(j,s)+Y(j-1,s)+Y(j+1,s));
        vv[i-1] = r;
    }
    for (int i = 1; i < N; i++) Y(j,i) = vv[i-1];
}
for (int j = 1; j < N-1; j++)
{
    for (int i = 1; i < N-1; i++)
    {
        if(Y[i,j]=Y[j,i])

```

```

        {z=%Y[i,j];
        s=round(2*i/12.375)/2.;

        }
    }
}

delete c; delete d; delete f; delete q; delete p; delete v; delete y;
    delete vv;
return 0;
} // Конец вычислений блока 5. На выходе из блока 5 получаем значения z и s, как
значения функции вероятности и спиновое значение соответственно.
#define mItem(a, i, j) a[(i) * size + j]
int InvMatrix(int size, double *a, double *x) // Функция нахождения обратной матрицы
{
    int i, j, k;
    double p;

    for (i = 0; i < size; i++)
        for (j = 0; j < size; j++)
            mItem(x, i, j) = (i == j);

    /* Gauss forward move */
    for (i = 0; i < size; i++)
    {
        if (fabs(p = mItem(a, i, i)) < 1e-100)
            return 0;

        for (k = 0; k < size; k++)
        {
            mItem(a, i, k) /= p;
            mItem(x, i, k) /= p;
        }

        for (j = i + 1; j < size; j++)
        {

```

```

        p = mItem(a, j, i);
        for (k = 0; k < size; k++)
        {
            mItem(a, j, k) -= p * mItem(a, i, k);
            mItem(x, j, k) -= p * mItem(x, i, k);
        }
    }
}

for (k = 0; k < size; k++)
    for (i = size - 1; i >= 0; i--)
    {
        p = mItem(x, i, k);
        for (j = i + 1; j < size; j++)
            p -= mItem(x, j, k) * mItem(a, i, j);
        mItem(x, i, k) = p/mItem(a, i, i);
    }

return 1;
}

double max(double x,double y){
    if(x>y)return x;
    return y;
}

double min(double x,double y){if(x<y)return x;
return y;}

int funcalg(double x, double y, double dx, double dy, double fi, double s, double *z0)
{double o1, o2, q, l=d1[1]/(1+(d2[1]*1.)/100),r=d1[1]/(1-(d2[1]*1.)/100),x0=x,dx0=x*dx;
int nnn, i;
dx=dx/100;dy=dy/100;
if(dy*y>dx*x)
{dx0=y*dy;
x0=dy;}
l=max(y/(1+dy*1.),x/(1+dx*1.));
r=min(x/(1-dx*1.),x/(1-dx*1.));
o1=(r-l)/2;
o2=x+y;

```

```

o2/=n;
if(l>r)
{
return 0;
}
else
{
if((x0-((o2+o1)*1.)/2)>=0)
{
*z0=(l+min(x0,r))*1./2;
return 1;
}
else
{
*z0=(r+max(x0,l))/2
return 1;
}
}
}

```

Используя исходные данные одной измерительной задачи x_0 , y_0 , dx , dy , получаем два различных аналога уравнения Паули для двух СИ. Выражение (4) представляет собой уравнение для первого СИ, выражение (5) уравнение для второго СИ.

$$i \frac{\pi}{2} \frac{\partial \psi(\bar{S}, t)}{\partial t} = \left[\frac{1}{2 * x_0 * \frac{dx}{100}} \left(\frac{1}{0.03 * dx \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \frac{\sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + (x_0 + y_0)^2}{2}} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{18 dx^2} \right) - \right. \right. \\
\left. \left. - 2 * x_0 * \frac{dx}{100} * \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2.7 \cdot 10^{-7} dx^3 \sqrt{2\pi}} C_1 \right)^2 + \tilde{e} \hat{I} \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2 * x_0 * \frac{dx}{100} * 2 * y_0 * \frac{dy}{100}} - \right]$$

$$-s * C_1 * \sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2} \left(\frac{dx \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - x_0 \right)}{dy \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - y_0 \right)} \right)} \psi_1(\bar{S}, t) \quad (4)$$

$$i \frac{\pi}{2} \frac{\partial \psi(\bar{S}, t)_2}{\partial t} = \frac{1}{2 * y_0 * \frac{dy}{100}} \left(\frac{1}{0.03 * dy \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \frac{\sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}}{18 dy^2} \right) - \right. \\ \left. - 2 * y_0 * \frac{dy}{100} * \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2.7 \cdot 10^{-7} dy^3 \sqrt{2\pi}} C_2 \right)^2 + \tilde{\epsilon} \hat{I} \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2 * x_0 * \frac{dx}{100} * 2 * y_0 * \frac{dy}{100}} - \\ - s * C_2 * \sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2} \left(\frac{dy \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - y_0 \right)}{dx \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - x_0 \right)} \right)} \psi_2(\bar{S}, t) \quad (5)$$

Аналог массы в квантовом уравнении, который в таблице замещения (табл. 1) выражается для первого СИ $2 * x_0 * dx / 100$ и для второго СИ $2 * y_0 * dy / 100$, служит цели нормировки квадрата волновой функции для первого СИ $\psi_1(\bar{S}, t)$ и второго СИ $\psi_2(\bar{S}, t)$, которая необходима дальнейшего соотнесения их по минимаксному критерию при решении системы уравнения (4, 5). Коэффициент С в табл. 2, как указывалось выше, сформирован исходя из условия нормировки квадрата волновой функции уравнений для разных СИ.

Для упрощения разложим уравнения (4, 5) на мнимую и действительную части. Тогда система уравнений для действительной части имеет вид:

$$\begin{aligned}
& -\frac{\pi}{2} \frac{\partial |\psi(\vec{S}, t)_1| \sin \arg \psi(\vec{S}, t)_1}{\partial t} = \left[\frac{1}{2 * x_0 * \frac{dx}{100}} \left(\frac{1}{0.03 * dx \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{\sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}}{18 dx^2} \right) \right) - \right. \\
& - 2 * x_0 * \frac{dx}{100} * \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2.7 \cdot 10^{-7} dx^3 \sqrt{2\pi}} C_1)^2 + \tilde{e} \hat{I} \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2 * x_0 * \frac{dx}{100} * 2 * y_0 * \frac{dy}{100}} - \\
& - s * C_1 * \sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}} \left(\frac{dx \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - x_0 \right)}{dy \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - y_0 \right)} \right) \right] |\psi_1(\vec{S}, t)| \cos \arg \psi(\vec{S}, t)_1 \\
& -\frac{\pi}{2} \frac{\partial |\psi(\vec{S}, t)_2| \sin \arg \psi(\vec{S}, t)_2}{\partial t} = \left[\frac{1}{2 * y_0 * \frac{dy}{100}} \left(\frac{1}{0.03 * dy \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{\sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}}{18 dy^2} \right) \right) - \right. \\
& - 2 * y_0 * \frac{dy}{100} * \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2.7 \cdot 10^{-7} dy^3 \sqrt{2\pi}} C_2)^2 + \tilde{e} \hat{I} \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2 * x_0 * \frac{dx}{100} * 2 * y_0 * \frac{dy}{100}} - \\
& - s * C_2 * \sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}}{2} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}} \left(\frac{dy \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - y_0 \right)}{dx \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - x_0 \right)} \right) \right] |\psi_2(\vec{S}, t)| \cos \arg \psi(\vec{S}, t)_2 \quad (6)
\end{aligned}$$

А из мнимой части уравнений получаем следующую систему:

$$\begin{aligned}
\frac{\pi}{2} \frac{\partial |\psi(\vec{S}, t)_1| \cos \arg \psi}{\partial t} = & \left[\frac{1}{2 * x_0 * \frac{dx}{100}} \left(\frac{1}{0.03 * dx \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \frac{\sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + (x_0 + y_0)^2}{2}} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{18 dx^2} \right) \right) - \right. \\
& - 2 * x_0 * \frac{dx}{100} * \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2.7 \cdot 10^{-7} dx^3 \sqrt{2\pi}} C_1)^2 + \tilde{e} \hat{I} \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2 * x_0 * \frac{dx}{100} * 2 * y_0 * \frac{dy}{100}} - \\
& - s * C_1 * \left. \sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + (x_0 + y_0)^2}{2}} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2} \left(\frac{dx \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - x_0 \right)}{dy \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - y_0 \right)} \right) \right] |\psi_1(\vec{S}, t)| \sin \arg \psi \\
\\
\frac{\pi}{2} \frac{\partial |\psi(\vec{S}, t)_2| \cos \arg \psi(\vec{S}, t)_2}{\partial t} = & \left[\frac{1}{2 * y_0 * \frac{dy}{100}} \left(\frac{1}{0.03 * dy \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \frac{\sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + (x_0 + y_0)^2}{2}} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{18 dy^2} \right) \right) - \right. \\
& - 2 * y_0 * \frac{dy}{100} * \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2.7 \cdot 10^{-7} dy^3 \sqrt{2\pi}} C_2)^2 + \tilde{e} \hat{I} \frac{\frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}}{2 * x_0 * \frac{dx}{100} * 2 * y_0 * \frac{dy}{100}} - \\
& - s * C_2 * \left. \sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + (x_0 + y_0)^2}{2}} + \frac{x_0 + y_0}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2} \left(\frac{dy \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - y_0 \right)}{dx \left(\frac{2 * dx * dy}{x_0 * y_0} - x_0 \right)} \right) \right] |\psi_2(\vec{S}, t)| \sin \arg \psi(\vec{S}, t)_2 \quad (7)
\end{aligned}$$

В этом разложении выделим четыре уравнения для волновой функции, которые будем решать совместно, используя для этого краевые условия. В решении нас интересует действительная часть волновых функций.

Для нахождения краевых условий заметим, что при $x=y$ вероятность оценивания истинного значения измеряемой величины стремится к 1, и одновременно предположим, что соответствующее такой оценке истинного значения измеряемой величины спиновое число всегда будет 0. Такое краевое условие представлено в уравнении:

$$|\psi(0, t_0)| = \frac{1}{0.03 dx * x_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2} \right)}{18(dx * x_0 * 0.02)^2}} \quad (8)$$

$$k = \frac{x_c}{y_c}.$$

Обозначим коэффициент

Тогда краевое условие (6) переписывается в виде (7) для общего случая:

$$|\psi(0, t_0)| = \frac{e^{-\frac{k}{18(dx \cdot x_0 \cdot 0.02)^2}}}{0.03 dx \cdot x_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}\right)}{18(dx \cdot x_0 \cdot 0.02)^2}} \quad (9)$$

В системе уравнений 6, 7 существует неопределенность, связанная с возможным положительным или отрицательным направлением спина. Однако эта неопределенность не приводит к неоднозначности в процессе решения, поскольку решения в первом уравнении системы и во втором должны быть не только с одним спиновым числом, но и однонаправленными для получения одной волновой функции.

Находим значение $S_{\max}$ из пересечения графиков квадрата модулей волновых функций, такое, что

$$|\psi_{\max}(S_{\max}, t_0)|^2 = \max_i \{|\psi_1(S_i, t_0)|^2, |\psi_2(S_i, t_0)|^2\}, i = 1, \dots, n \quad (10)$$

Искомое спиновое число S_0 , соответствующее оценке истинного значения измеряемой величины, получается путем округления значения $S_{\max}$ до ближайшего из множества возможных значений спина (0, 1/2, 1, 3/2, ...). Значение квадрата волновой функции при этом остается прежним, соответствующим значению $S_{\max} |\psi_{\max}(S_{\max}, t_0)|^2$.

После проведения в блоке 5 указанных выше расчетов вычисленные значения аналогов спинового числа и его вероятности с выходов блока 5 подают на входы блоков 6 и 7, в которых производят индикацию этих величин на измерительных шкалах. Выходы блоков 6 и 7 подсоединены к входам блока 8. В этом блоке решают задачу, обратную той, которую решают в блоке 5: рассчитывают оценку истинного значения результата измерений (z) и его расширенную неопределенность (погрешность) (dz) на основе исходных данных о максимальной вероятности $P_k |S_k = \mathcal{M}_{AX} (P_i | S_i \in \{\bar{P}\})$, где $k \in \{1, \dots, n\}$ для ограниченного набора спинорных чисел $\{\bar{S}\}$.

Математически это производят так.

Для решения обратной задачи - расчета оценки истинного значения результата измерений (z) и его расширенной неопределенности (погрешности) (dz) с найденным значением спина S_0 - воспользуемся квазиклассическим приближением уравнения Шредингера. В общем виде для точек, где энергия частицы не равна потенциалу поля, решение представимо в виде

$$\psi(x) = \frac{c}{\sqrt{p(x)}} e^{\left[\pm \frac{i}{\hbar} \int p dx\right]} \quad (11)$$

Вблизи точек, где энергия равна потенциалу поля, уравнение Шредингера можно приближенно заменить уравнением с линейным потенциалом $U(x) = U'(x_0)(x - x_0)$, которое сводится к уравнению Эйри. Его решения:

$$\psi(x) = K \sqrt{\frac{\xi}{p(x)}} Z_{1/3}(\xi) \quad (12)$$

где $Z_{1/3}(\xi)$ - любое решение уравнения Бесселя с индексом 1/3 и

$$\xi = \int_{x_1}^x p dx \quad (13)$$

Рассмотрим аналоги квантовых уравнений с замещением переменных в соответствии с табл. 1, безразмерными константами, взятыми в соответствии с табл. 2, и заменой переменных в соответствии с табл. 3.

При значении $|x_0 - y_0| > \frac{1}{2} \min\left(\frac{2x_0 dx}{100}, \frac{2y_0 dy}{100}\right)$ в качестве решения уравнения Бесселя берем

$$\psi = \frac{z + \frac{x_0 + y_0}{4} \cdot 0.6 + 0.4 \cdot \frac{\min\left(\frac{y}{1 - dy \cdot 1}, \frac{x}{1 - dx \cdot 1}\right) - \max\left(\frac{y}{1 + dy \cdot 1}, \frac{x}{1 + dx \cdot 1}\right)}{4}}{\sqrt{3 dx \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-\left(\sqrt{\frac{z^2 - y_0^2 - x_0^2}{2} + \frac{(x_0 + y_0)^2}{2}} + \frac{(x_0 + y_0)}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}\right)}{18 dx^2}} \quad (14)$$

в случае

$$|x_0 - y_0| \leq \frac{1}{2} \min\left(\frac{2x_0 dx}{100}; \frac{2y_0 dy}{100}\right)$$

$$\psi = \frac{z + \frac{x_0 + y_0}{4} * 0,6 + 0,4 * \frac{\min\left(\frac{y}{1 - dy * 1}, \frac{x}{1 - dx * 1}\right) - \max\left(\frac{y}{1 + dy * 1}, \frac{x}{1 + dx * 1}\right)}{4}}{\sqrt{\frac{1}{3dx\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\sqrt{\frac{s^2 - y_0^2 - x_0^2 + (x_0 + y_0)^2}{2}} + \frac{(x_0 + y_0)}{2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2})^2}{18dx^2}}}}$$

(15)

Приравниваем квадрат модуля этого значения к ранее рассчитанному значению вероятностной функции $[(\psi_{\max}(S_{\max}, t_0)]^2$.

Решаем уравнение относительно z .

В результате полученное решение может быть как между исходными значениями x , y , так и отклоненным в одну сторону относительно обоих измерений или даже совпадать с одним из них. Это соответствует теоретическим и экспериментальным данным. Идеальное значение должно принадлежать отрезку пересечения интервала погрешности. Если пересечение интервалов погрешности - пустое множество, то входные данные (x , y , dx , dy) неверны, измерительные приборы работают некорректно.

То есть, если выполнено условие

$$\min(x_0*(1+dx/100), y_0*(1+dy/100)) < \max(x_0*(1-dx/100), y_0*(1-dy/100)),$$

(16)

то входные данные не верны, и расчет проводиться не будет. Если значение id не принадлежит отрезку

$$[\max(x_0*(1-dx/100), y_0*(1-dy/100)) ; \min(x_0*(1+dx/100), y_0*(1+dy/100))],$$

(17)

то по входным данным определить это будет невозможно, и расчет будет проведен, но такая ситуация может возникнуть только при неисправных измерительных приборах, так как она соответствует выпадению значения id из доверительного интервала.

После проведения в блоке 8 описанных выше расчетов и вычисления уточненного результата измерений физической величины эти данные подают на вход преобразователя сигнала из цифровой формы в аналоговую 9, с выхода которого и поступает уточненный результат в аналоговой форме.

Пример реализации в блоке 8 математических функций в виде алгоритма приведен на фиг. 2 и программы на стр. 8-13.

Предложенные способ измерений и аналого-цифровой комплекс для его реализации были апробированы при измерении избыточного давления в закрытом трубопроводе СИ первичными измерительными преобразователями избыточного давления со стандартным токовым выходом 4-20 мА. В качестве первого и второго СИ были использованы первичные измерительные преобразователи, при градуировке которых выходной уровень токового сигнала на выходе 20 мА установлен для верхнего предела измерений 630 кПа, а нижний 4 мА - для соответственно 126 кПа.

Результат измерений, полученный первым СИ, равнялся $x=318,15$ КПа, чему соответствовал выходной сигнал токового выхода 10,10 мА, а приписанная ему относительная расширенная неопределенность (погрешность), выраженная в процентах, $dx=1\%$. Для второго СИ результат измерений составил $y=315,00$ КПа, а выходной сигнал токового выхода 10,00 мА и расширенная неопределенность (погрешность), выраженная в процентах, $dy=0,8\%$. Для проверки полезного эффекта - повышения точности измерений от реализации предложенного способа измерений и аналого-цифрового комплекса для его реализации - использовался датчик избыточного давления в качестве эталона с верхним пределом измерений 630 кПа и приведенной относительной неопределенностью (погрешностью), выраженной в процентах, $dz=0,075\%$, результат измерения избыточного давления которого составил $z=314,99$ КПа, а относительная погрешность для измеряемой величины, выраженная в процентах, $dz=0,15\%$.

В общем виде уравнение (3) выглядит так:

$$\frac{\pi}{2} i \frac{\partial \psi_1(s, t)}{\partial t} = H_1 \psi_1(s, t)$$

$$\frac{\pi}{2} i \frac{\partial \psi_2(s, t)}{\partial t} = H_2 \psi_2(s, t)$$

Использование конечно-разностные аппроксимации производной по времени для решения уравнения:

$$\psi_j^{n+1} = \frac{1 - i \frac{H\Delta t}{2}}{1 + i \frac{H\Delta t}{2}} \psi_j^n$$

Можно использовать трехдиагональный метод решения. Найдем s_0 , что удовлетворяет обоим уравнениям при условии, что

$$\frac{|\psi_1(s_0, t_0)|}{2 * x_0 * \frac{dx}{100}} = \frac{|\psi_2(s_0, t_0)|}{2 * x_0 * \frac{dx}{100}}$$

С краевыми условиями

$$|\psi_1(0, t_0)| = \frac{e^{-k}}{0.03 * dx * x_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}\right)}{18(dx * x_0 * 0.02)^2}} \approx 0$$

$$|\psi_2(0, t_0)| = \frac{e^{-k}}{0.03 * dy * y_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - \frac{dx^2 y_0 + dy^2 x_0}{dx^2 + dy^2}\right)}{18(dy * y_0 * 0.02)^2}} \approx 0$$

В результате решения численным методом получаем $|\psi_1(s, t_0)| = 0,644724$. Найдем s как точку пересечения. Получим $s = 1,0962$. После округления s равен 1, и вероятность этого 0,41567. Первая часть решения закончена.

$$|10,1 - 10| > \frac{1}{2} 0,08$$

Приравниваем расчет по формуле (10) к решению уравнения Паули, найденному выше как ключевое значение.

В результате получаем решение $z = 10,0018999 \text{ мА}$, которому соответствует результат измерений 315,06 кПа, совпадающий с учетом указанной расширенной неопределенности датчика, принятого в качестве эталона с референсным значением 314,99 кПа. Лучшей статистической оценкой для усреднения данных двух экспериментов с учетом неравноточности первого и второго СИ будет являться средневзвешенное, где в качестве веса будет использоваться величина обратная расширенной неопределенности (погрешности) датчиков, которая вычисляется по формуле.

$$Z = \frac{\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2}}{\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2}},$$

в результате получаем значение 9,088888.

Очевидно, что результат апробации предложенного способ измерений и аналого-цифровой комплекс для его реализации показал значительный полезный эффект повышение точности измерений от его реализации.

Источники информации.

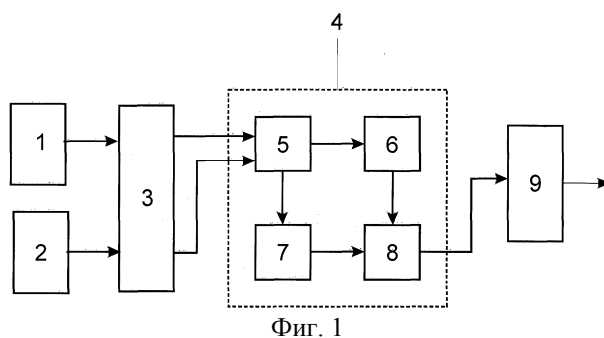
1. Авторское свидетельство SU 1649460 A1 15.05.91, G01R 19/00.
2. Патент RU 2107410 C1.

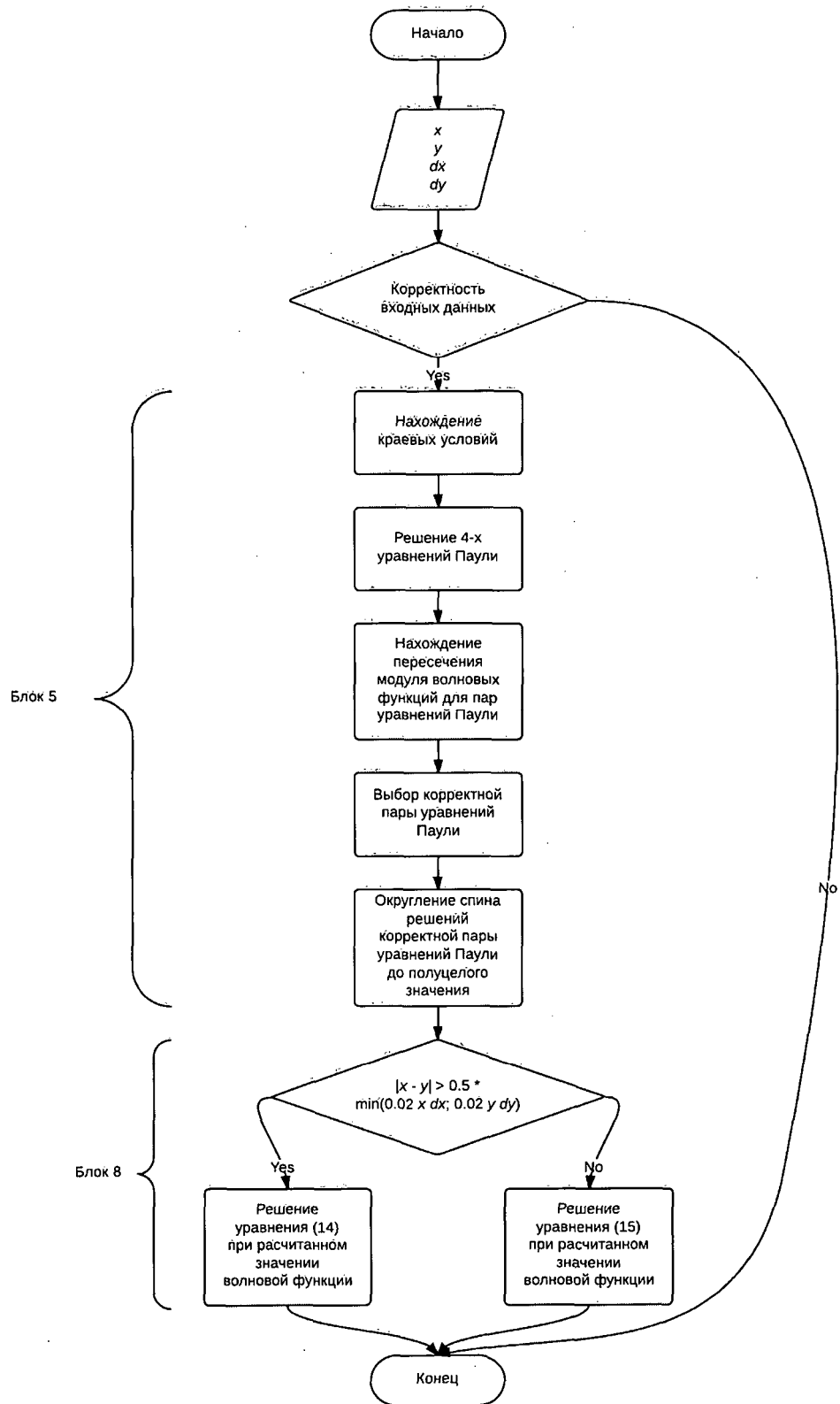
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ проведения измерений физической величины, включающий регистрацию средством измерения значений физической величины в виде аналоговых сигналов, преобразование этих сигналов в цифровую форму, математическую обработку результатов и последующее преобразование цифровых сигналов в аналоговые, отличающийся тем, что физическую величину, измеренную первичным измерительным преобразователем со стандартным токовым выходом 4-20 мА, дополнительно измеряют вторым средством измерения, каждому из результатов, полученных каждым из двух средств измерений, задают норму неопределенности, что в совокупности с самими результатами представляет собой исходные данные в цифровой форме для математической обработки, которая осуществляется путем преобразования исходных данных в аналогии коэффициентов и неизвестных в квантовом уравнении Паули со спинорным компонентом Штерна-Герлаха, решения полученных уравнений и вычисления аналогов спинового числа и соответствующей ему вероятности, которые затем преобразуют с помощью преобразователя из цифровой в аналоговую форму в искомый уточненный результат измерений физической величины.

2. Аналого-цифровой комплекс для проведения измерений физической величины способом по п.1, включающий два средства измерений в виде первичных измерительных преобразователей со стандартным токовым выходом 4-20 мА, как минимум один преобразователь аналогового сигнала в цифровую

форму, как минимум один преобразователь из цифровой в аналоговую форму и средство для проведения вычислений в виде четырех функциональных блоков, соединенных между собой таким образом, что выходы первого и второго средств измерений соединены с входами преобразователя аналогового сигнала в цифровую форму; выходы преобразователя аналогового сигнала в цифровую форму подсоединены к входам первого функционального блока, предназначенного для преобразования исходных данных в аналоги коэффициентов и неизвестных в квантовом уравнении Паули со спинорным компонентом Штерна-Герлаха, решения полученных уравнений и вычисления аналогов спинового числа и соответствующей ему вероятности; выходы первого блока соединены с входами второго и третьего блоков, предназначенных для индикации на измерительных шкалах аналогов спинового числа и его вероятности соответственно; выходы второго и третьего блоков соединены с входом четвертого блока, предназначенного для преобразования аналогов спинового числа и соответствующей ему вероятности в искомый уточненный результат измерений физической величины, а выход четвертого блока соединен с входом преобразователя из цифровой в аналоговую форму.





Фиг. 2

