



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006143928/09, 11.12.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.12.2006

(43) Дата публикации заявки: 27.06.2008

(45) Опубликовано: 10.02.2009 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2252433 C1, 20.05.2005. RU 2252432
C1, 20.05.2005. RU 570183 A1, 25.08.1977. WO
03079046 A1, 25.09.2003. US 4496949,
29.01.1985. US 5081459 A, 14.01.1992.

Адрес для переписки:

630090, г.Новосибирск, пр. Акад. Лаврентьева,
1, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе,
инновационный отдел, Л.И. Наприенко

(72) Автор(ы):

Титков Виктор Иванович (RU),
Лукашов Владимир Владимирович (RU),
Сысоев Евгений Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

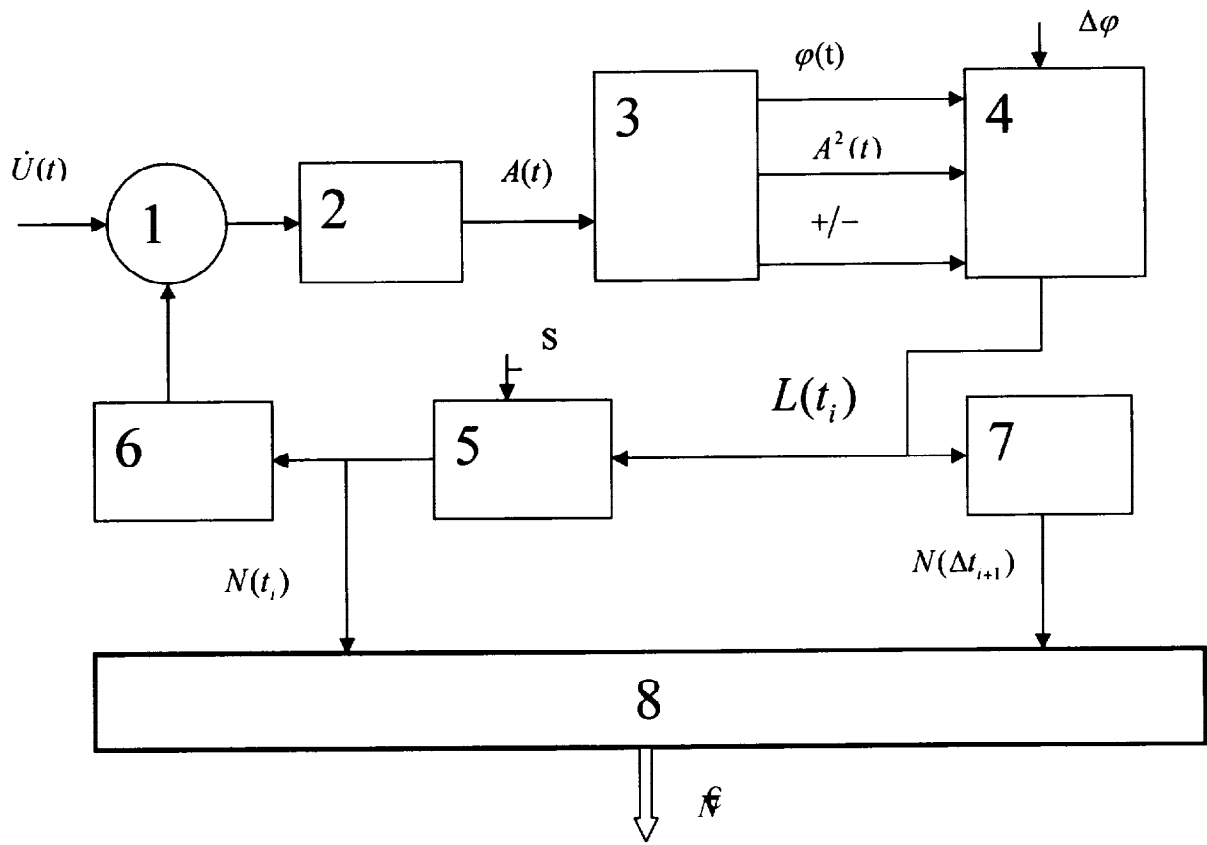
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии
наук (RU)

(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА ОШИБКИ СЛЕЖЕНИЯ И СИГНАЛА КОРРЕКЦИИ ПОКАЗАНИЙ СЛЕДЯЩЕГО ФИЛЬТРА КОМПЛЕКСНОЙ ОГИБАЮЩЕЙ ВХОДНОГО СИГНАЛА

(57) Реферат:

Предлагаемое изобретение относится к области радиолокации и измерительной техники, в частности к устройствам обработки лазерных доплеровских сигналов, и может быть использовано для измерения параметров турбулентных течений газа или жидкости. Достижимый технический результат - повышение точности измерения турбулентных пульсаций скорости потоков газа и жидкости в условиях меняющейся концентрации микрочастиц в потоке и изменения скорости слежения. Преимущества заявленного способа особенно эффективно проявляются, когда быстродействие фильтра

приходится изменять для обеспечения стабильности и устойчивости работы следящего фильтра в условиях изменяющегося соотношения сигнал-шум и характера пульсаций скорости течений. Способ заключается в формировании двух синхронных потоков измерений, дополняющих друг друга. Для этого из сигнала комплексной огибающей входного доплеровского сигнала одновременно формируется дискретный сигнал управления частотой комплексного опорного генератора и дискретный сигнал обратных значений интервалов времени, который затем суммируется с дискретным сигналом управления предшествующего единичного импульса. 3 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2006143928/09, 11.12.2006

(24) Effective date for property rights: 11.12.2006

(43) Application published: 27.06.2008

(45) Date of publication: 10.02.2009 Bull. 4

Mail address:

630090, g.Novosibirsk, pr. Akad. Lavrent'eva,
1, Institut teplofiziki im. S.S. Kutateladze,
innovatsionnyj otdel, L.I. Naprienko

(72) Inventor(s):

Titkov Viktor Ivanovich (RU),
Lukashov Vladimir Vladimirovich (RU),
Sysoev Evgenij Vladimirovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Institut teplofiziki im. S.S. Kutateladze
Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk (RU)

(54) METHOD FOR GENERATING TRACKING ERROR SIGNAL AND CORRECTION SIGNAL FOR INPUT SIGNAL COMPLEX ENVELOPE TRACKING FILTER READINGS

(57) Abstract:

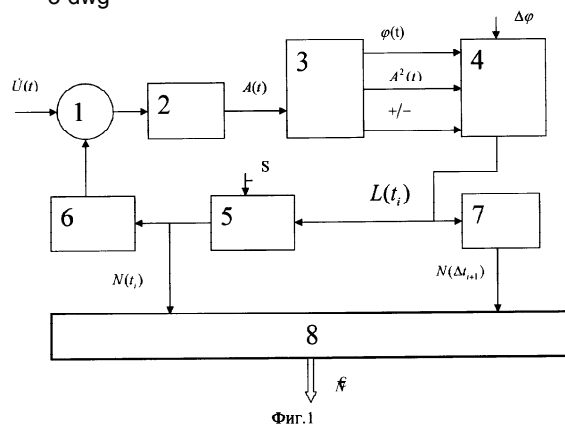
FIELD: physics; radio.

SUBSTANCE: invention suggested relates to radiolocation and instrument engineering, in particular, to laser Doppler signal processing devices, and may be used to measure parameters of fluid turbulent flow. Advantages of the method are most evident, when filter response shall be changed to provide for consistency and stability of the tracking filter operation under varying signal-to-noise ratio and flow velocity fluctuation conditions. The method implies generating two complementary synchronous measurement data streams. For this purpose two signals are simultaneously generated from Doppler input signal complex envelope: discrete signal for controlling complex reference generator frequency and discrete signal of span reciprocal values, which is later added to discrete control

signal of the previous unit pulse.

EFFECT: improved accuracy of measurement of fluid velocity turbulent fluctuations in case of varying concentration of microparticles in the flow and varying tracking speed.

3 dwg



Изобретение относится к области радиолокации и измерительной технике, в частности к устройствам обработки лазерных доплеровских сигналов, и может быть использовано для измерения параметров турбулентных течений газа или жидкости.

Известны устройства, предназначенные для обнаружения, выделения из шумов

5 доплеровских сигналов с последующим измерением их частоты и амплитуды (А.С. №570183, 1976 г., H03D 3/00; А.С. №692379, 1975 г., G01S 9/42; А.С. №698113, 1977 г., H03B 3/04; А.С. №748799, 1978 г., H03D 13/00, А.С. №814239, 1979 г., H03B 2/04, А.С. №1172010, 1983 г., H03L 7/0; патент №2177159, 2000 г., G01P 5/26; патент №2252431, 2004 г., G01S 13/524; патент №2252432, 2004 г., G01S 13/524; патент №2252433, 2004
10 г., G01S 13/524 и др.). Принимаемый сигнал лазерных доплеровских измерителей скорости представляет собой радиоимпульс с доплеровской частотой заполнения и случайной начальной фазой колебания, гауссовой огибающей и случайной длительностью сигнала, который сопровождается аддитивными дробовым и низкочастотным шумами. В турбулентных течениях временная последовательность таких радиоимпульсов
15 представляет собой модулированный по частоте сигнал, который формируется от рассеивающих свет микрочастиц, пролетающих через измерительный объем. Когда концентрация светорассеивающих частиц в измерительном объеме падает, входной сигнал становится редким. Процесс слежения за турбулентными пульсациями скорости прерывается, пока вновь не появится сигнал. Такая ситуация возникает, когда
20 невозможно ввести в поток достаточное количество микрочастиц, например при исследовании высокотемпературных или сверхзвуковых потоков. Для работы с доплеровскими сигналами аппаратура должна обеспечивать поиск, обнаружение сигнала, выделение его из шумов и последующую оценку доплеровской частоты. Из известных способов приема и обработки таких сигналов следящие фильтры нашли широкое
25 применение благодаря своей высокой селективности и помехоустойчивости. Способ обработки такого сигнала с помощью следящего фильтра состоит в следующем: выделяют комплексную огибающую входного сигнала путем переноса спектра входного сигнала в область «нулевых частот», фильтруют его с помощью низкочастотного фильтра, формируют из комплексной огибающей сигнал ошибки рассогласования слежения за
30 частотой входного сигнала, интегрируют его и управляют частотой комплексного опорного сигнала так, чтобы его частота стремилась к или была равна частоте входного сигнала.

К недостаткам этого способа следует отнести инерционность цепи обратной связи слежения, которая из условия устойчивости работы системы и помехоустойчивости должна иметь конечную постоянную времени. Это относится ко всем видам следящих фильтров,
35 отличающихся как способом формирования сигнала ошибки, так и способом управления частотой генератора опорного сигнала.

Известен также процессор следящего типа (Signal Processor Tracker Type, Model 1090-1A, from No. TSI LDV-879-23M-2MBRI, printed in U.S.A.). Он работает на промежуточной частоте и представляет собой две последовательно соединенные системы: фазовой автоподстройки (PLL) и частотной автоподстройки (FLL) с сумматором на выходе.
40

Недостатком этого устройства является то, что в этой схеме переходные процессы как в петле PLL, так и в петле FLL оказываются взаимозависимыми и требуют постоянного контроля состояния системы слежения (наличия автозахвата), что приводит к потере значительной части входного доплеровского сигнала. Такая схема оказывается
45 работоспособной только при высокой концентрации частиц, когда входной сигнал оказывается практически непрерывным, поэтому данная схема не нашла практического применения.

Наиболее близким по технической сущности заявляемому решению является «Частотно-импульсное устройство автоподстройки частоты» (А.С. №1172010, 1983 г., H03L 7/0),
50 принятое нами за прототип. Сущность его работы заключается в последовательном выделении комплексной огибающей входного сигнала с помощью умножителя комплексного входного и опорного сигналов, фильтрации, формировании сигнала ошибки рассогласования и формировании сигнала управления частотой комплексного опорного

сигнала. Это устройство содержит умножитель входного и комплексного опорного сигналов, выполненный в виде двух смесителей, входы которых соединены и образуют вход сигнала, а опорные входы соединены с выходами генератора комплексного опорного сигнала, вход которого подключен к выходу блока формирования сигнала управления

5 частотой комплексного опорного сигнала, соединенного своим входом с выходом формирователя сигнала ошибки рассогласования, который состоит из следующих блоков: блока формирования оценки мгновенной частоты ошибки, состоящего из последовательно включенных измерителя интервалов времени и постоянного запоминающего устройства обратных значений интервалов времени входных импульсов, блока формирования
10 импульсов и блока определения квадрата огибающей сигнала, которые через фильтры низких частот соединены с выходами смесителей, схему управления блоком оценки мгновенной частоты ошибки и блоком управления частотой генератора комплексного опорного сигнала, содержащая три RS-триггера, три триггера Шмидта, три логических элемента «И», два логических элемента «ИЛИ», два элемента задержки и дискретный
15 фильтр, которые в совокупности образуют комбинационное устройство синхронизации работы схемы.

Недостатком данного устройства является малая точность измерения степени турбулентности, которая в сильной степени зависит от быстродействия следящего фильтра и концентрации частиц в потоке. Известно, что шаг дискретности в такой схеме нельзя
20 выбрать равным оценке мгновенной частоты ошибки, так как всегда присутствует шум входного сигнала, уровень которого постоянно меняется. При наличии шума в сигнале коэффициент пропорциональности всегда должен быть меньше единицы, чтобы обеспечить устойчивость работы следящего фильтра и избежать появления колебательных переходных процессов. В свою очередь, это приводит к появлению переходных процессов
25 при скачках частоты входного сигнала и, как следствие, к искажению результатов оценки доплеровской частоты.

Задачей изобретения является создание способа формирования сигнала ошибки слежения и сигнала коррекции показаний следящего фильтра, обеспечивающего повышение точности измерений изменяющейся частоты входного сигнала путем
30 формирования двух синхронных потоков измерений, дополняющих друг друга и не ухудшающих качество работы следящего фильтра.

Поставленная задача достигается тем, что в способе формирования сигнала ошибки слежения и сигнала коррекции показаний следящего фильтра, который заключается в последовательном выделении комплексной огибающей входного сигнала с помощью
35 умножителя комплексных входного и опорного сигналов, фильтрации, формировании сигнала ошибки рассогласования, формировании сигнала управления частотой комплексного опорного сигнала, согласно предложенному изобретению сигнал ошибки рассогласования преобразуется в асинхронную единичную импульсную последовательность заданных приращений набега фазы разностной частоты комплексной
40 огибающей, из нее одновременно формируется дискретный сигнал управления частотой генератора комплексного опорного сигнала и дискретный сигнал обратных значений интервалов времени, который затем суммируется с дискретным сигналом управления предшествующего единичного импульса, взятыми с соответствующими коэффициентами пропорциональности.

45 Указанный единый технический результат при осуществлении изобретения достигается тем, что в устройство дополнительно включены блок формирования сигнала текущей фазы, ее знака и амплитуды сигнала и схема дельта-модулятора набега фазы комплексной огибающей на заданную величину дискретности, подсоединенный к выходам упомянутого блока, образующие в совокупности схему формирования ошибки рассогласования. Выход
50 импульсной последовательности дельта-модулятора соединен со входами схем формирования сигнала управления частотой комплексного опорного сигнала и входом измерителя временных интервалов, выходы которых, в свою очередь, соединены с входами вычислительного устройства.

Предлагаемый способ формирования сигналов слежения и коррекции показаний следящего фильтра обладает существенными преимуществами по сравнению с известными аналогами по точности оценки частоты сигнала, разрешающей способности к помехоустойчивости, и позволяет выбирать скорость слежения и полосу фильтрации сигнала, исходя из требований устойчивой работы следящего фильтра, сохраняя при этом точность оценки частоты входного сигнала. Кроме того, выбирая шаг дискретности квантования фазы, появляется возможность работы с любыми по длительности входными сигналами, при этом осуществляется одновременно как процесс слежения, так и коррекция показаний следящего фильтра.

Сущность изобретения поясняется чертежами.

На фиг.1 представлена структурная схема устройства формирования сигнала управления и сигнала коррекции показаний следящего фильтра. На фиг.2 изображены временные последовательности сигналов коррекции и слежения. На фиг.3 представлены результаты измерений степени турбулентности с коррекцией показаний следящего фильтра и без коррекции при изменении концентрации частиц в четыре раза и изменении быстродействия в двадцать раз.

Устройство формирования сигнала управления и сигнала коррекции показаний следящего фильтра (фиг.1) содержит: последовательно включенные умножитель 1 входного $U^*(t)$ и опорного $e^{-j\omega_0 t}$ комплексных сигналов, фильтр низкой частоты 2, блок 3

(СОФАЗ) оценки фазы $\varphi(t)$, ее знака $\pm$ и амплитуды $A^2(t)$ комплексной огибающей доплеровского сигнала. Аббревиатура блока СОФАЗ имеет следующую расшифровку: С - схема, О - оценка, Ф - фаза, А - амплитуда, З - знак. Дельта-модулятор 4, осуществляющий дискретизацию текущей фазы $\varphi(t)$ с шагом дискретности $\Delta\varphi$ и формирующий на выходе единичную импульсную последовательность $L(t_i)$ дискретной фазы, формирователь сигнала управления 5, осуществляющий суммирование единичной импульсной последовательности с весовым коэффициентом S (шаг дискретности), соединенный выходом с входом управления генератора 6 комплексного опорного сигнала, измеритель интервалов времени 7, подключенный входом к выходу дельта-модулятора, и вычислительное устройство 8, соединенное с выходами данных $N(t_i)$ блока 5 и данных $N(\Delta t_{i+1})$ измерителя интервалов времени блока 7.

На фиг.2 показаны эпюры сигнала набега фазы $\Delta\varphi(t)$, данных $N(t_i)$ управления частотой генератора, единичная импульсная последовательность $L(t_i)$ дискретных приращений фазы, а также частотные ошибки слежения $\Delta\omega_1$, $\Delta\omega_2$, $\Delta\omega_3$ и весовой коэффициент S шага дискретности следящего фильтра.

На фиг.3 представлены результаты измерений на тестовом объекте степени турбулентности T_i при изменении быстродействия следящего фильтра и изменении концентрации частиц.

Заявленное устройство работает следующим образом. Комплексный доплеровский сигнал $e^{-j\omega_d t}$ поступает на умножитель 1, на опорный вход которого также поступает комплексный сигнал $e^{-j\omega_0 t}$ с генератора 6 опорного сигнала. В результате на выходе формируется сигнал с одной боковой полосой $A(t) \cdot e^{j[(\omega_d - \omega_0)t + \varphi_0]}$.

Далее сигнал разностной частоты $\Delta\omega = \omega_d - \omega_0$ фильтруется в блоке 2. Сигнал на выходе этого фильтра является комплексной огибающей входного сигнала, когда разностная частота $\Delta\omega$ стремится к нулю. С выхода фильтра 2 сигнал подается на вход блока СОФАЗ 3 и далее - на асинхронный дельта-модулятор 4, с помощью которого формируется единичная импульсная последовательность $L(t_i)$ приращений набега фазы $\Delta\varphi(t) = \Delta\omega \cdot t$ во время ΔT_i существования доплеровского сигнала с учетом ее знака. Шаг дискретности фазы при этом равен $\Delta\varphi$, а время ΔT_i определяется длительностью импульса при превышении $A^2(t)$ заданного порога. Далее импульсная последовательность $L(t_i)$ суммируется в схеме формирователя сигнала управления 5, где формируется код $N(t_i)$ управления частотой генератора 6. Таким образом, замыкается цепь обратной связи и

осуществляется слежение за частотой входного сигнала. При этом, как отмечалось выше, точность слежения оказывается недостаточной. Для того чтобы повысить точность измерений, вводится цепь коррекции показаний следящего фильтра. Она содержит измеритель интервалов Δt_{i+1} времени (блок 7) между импульсами единичной

5 последовательности $L(t_i)$. Код $N(t_i)$ управления и код $N(\Delta t_{i+1})$ времени Δt_{i+1} поступают на вычислительное устройство 8, где осуществляется коррекция показаний следящего фильтра в соответствии с выражением

$$\hat{N} = K_1 \cdot N(t_i) + K_2 \cdot \frac{1}{N(\Delta t_{i+1})}, \text{ где } K_1 -$$

10 коэффициент пропорциональности между кодом управления $N(t_i)$ и частотой ω_r ; K_2 - коэффициент пропорциональности разностной частоты $\Delta\omega$ и длительности интервалов времени Δt_{i+1} между импульсами разностной частоты. Выходная последовательность кодов $\hat{N}$ соответствует мгновенной скорости исследуемого потока, которая не зависит от быстрогодействия следящего фильтра.

15 Технический результат от использования предлагаемого способа и устройства заключается в повышении точности оценки частоты входного сигнала, повышении надежности и стабильности работы всей системы.

Реализация устройства не вызывает трудностей, т.к. все блоки выполняются на основе известных и широко распространенных радиотехнических элементов. Современный 20 уровень технологий позволяет реализовать предлагаемое техническое решение на цифровых программируемых структурах, реализуемых на базовых платформах ALTERA и XILINX и др.

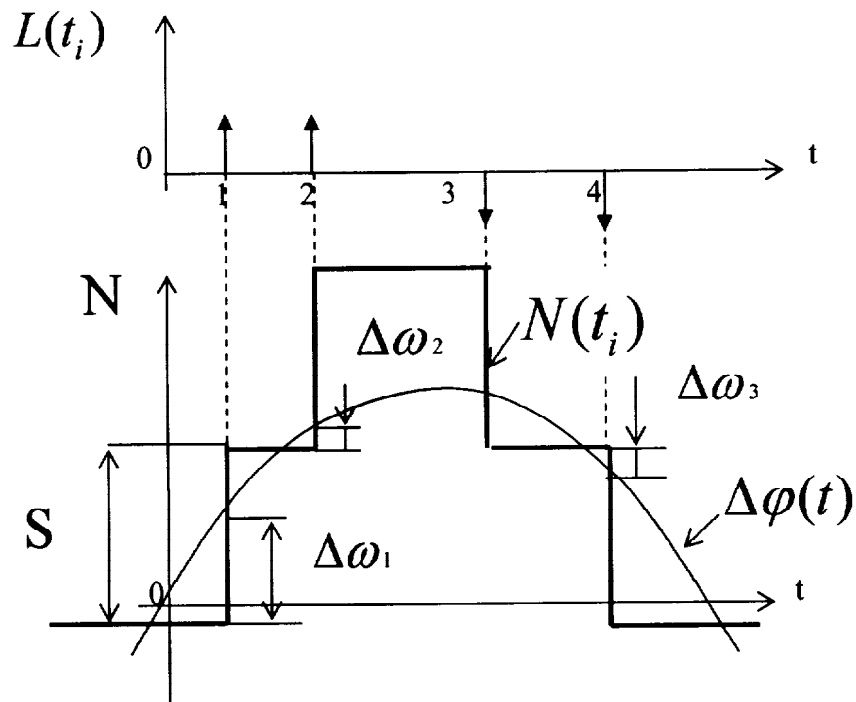
Формула изобретения

25 Способ формирования сигнала ошибки слежения и сигнала коррекции показаний следящего фильтра комплексной огибающей входного сигнала, заключающийся в последовательном выделении комплексной огибающей входного сигнала с помощью умножителя комплексных входного и опорного сигналов, фильтрации, формировании сигнала ошибки рассогласования, формировании сигнала управления частотой 30 комплексного опорного сигнала, отличающийся тем, что сигнал ошибки рассогласования преобразуется в асинхронную единичную импульсную последовательность заданных приращений набега фазы разностной частоты комплексной огибающей, из которой одновременно формируется дискретный сигнал управления частотой генератора комплексного опорного сигнала и дискретный сигнал обратных значений интервалов 35 времени, который затем суммируется с дискретным сигналом управления предшествующего единичного импульса, взятыми с соответствующими коэффициентами пропорциональности.

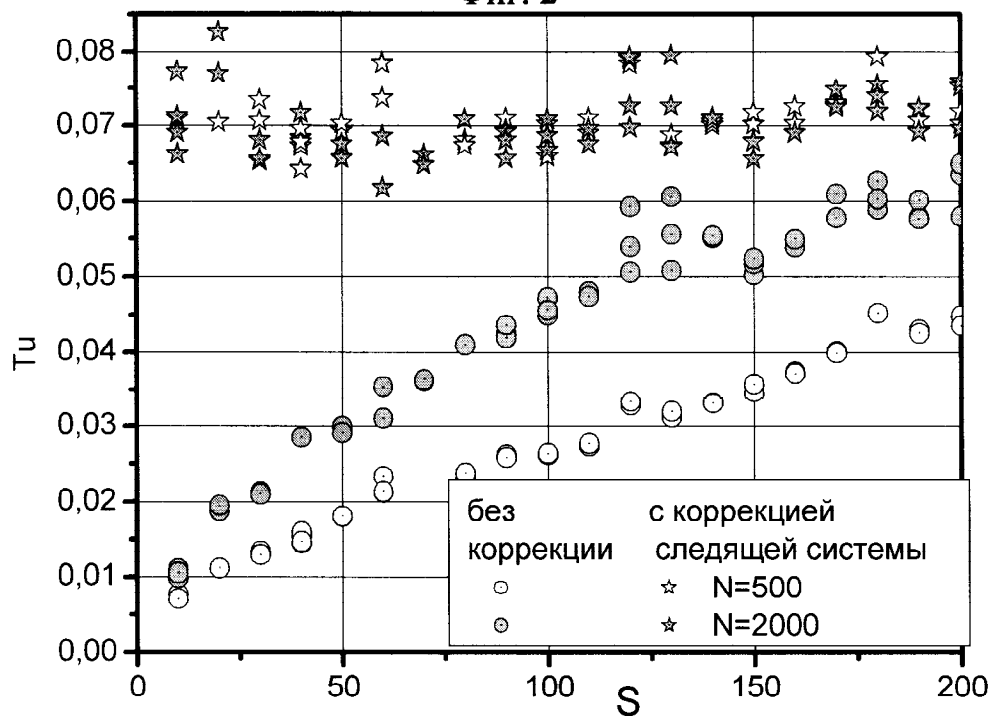
40

45

50



Фиг. 2



Фиг. 3