


 ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009111020/06, 31.08.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.08.2006

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.08.2006

(43) Дата публикации заявки: 10.10.2010 Бюл. № 28

(45) Опубликовано: 27.07.2011 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2020304 C1, 30.09.1994. SU 1086246 A,
15.04.1984. US 4690211 A, 01.09.1987. WO
197/004280 A1, 06.02.1997.(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 31.03.2009(86) Заявка РСТ:
RU 2006/000465 (31.08.2006)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2008/033045 (20.03.2008)Адрес для переписки:
123298, Москва, ул. Маршала Бирюзова, 4,
корп.1, кв.129, Г.И.Кикнадзе

(72) Автор(ы):

Кикнадзе Геннадий Ираклиевич (RU),
Гачечиладзе Иван Александрович (RU)

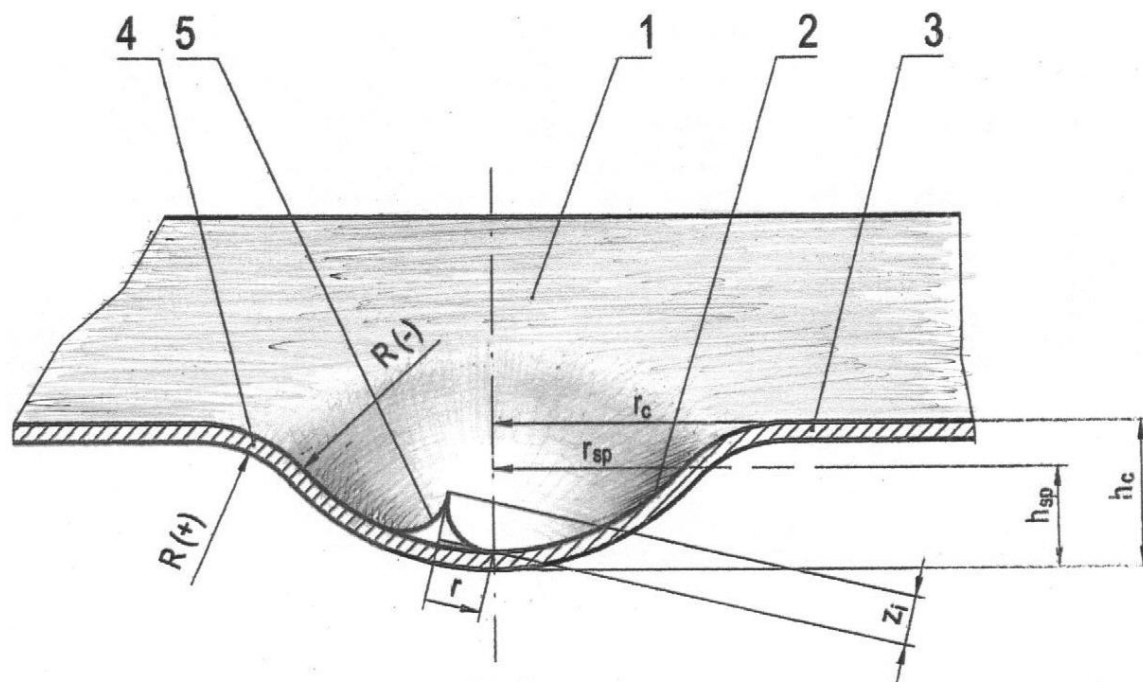
(73) Патентообладатель(и):

Кикнадзе Геннадий Ираклиевич (RU),
Гачечиладзе Иван Александрович (RU)(54) ПОВЕРХНОСТЬ ТЕЛА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ТРЕНИЯ И ПОВЕРХНОСТЬ ТЕЛА ДЛЯ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА

(57) Реферат:

Изобретение относится к аэрогидромеханике, энергетике, задачам повышения эффективности транспорта, к медицине и другим областям. Поверхность характеризуется тем, что на гладкой поверхности с защитным слоем или без него выполнены углубления, образованные сопряженными по общим касательным выпуклыми и вогнутыми поверхностями второго порядка, при этом сопряжение углубления с исходно гладкой поверхностью осуществляется с помощью выпуклых поверхностей образующих скаты, для которых в местах сопряжения исходно гладкая поверхность является касательной, причем вогнутая

поверхность, образующая донную часть углубления, выполнена гладкой или с обтекателем, а отношение глубины h_c углубления к размеру L_1 углубления вдоль направления потока находится в интервале $0,001 \leq h_c/L_1 \leq 0,1$, отношение поперечного размера L_2 углубления к продольному размеру L_1 углубления находится в интервале $0,25 \leq L_2/L_1 \leq 1$, при плотности f расположения углублений на поверхности, находящейся в интервале $0,05 \leq f \leq 0,5$. На предлагаемой поверхности для интенсификации массо- и теплообмена также выполнены углубления описанной выше конфигурации, при этом $0,1 \leq h_c/L_1 \leq 0,5$; $0,25 \leq L_2/L_1 \leq 1$; $0,1 \leq f \leq 0,8$.



Фиг. 1

RU 2 4 2 5 2 6 0 C 2

RU 2 4 2 5 2 6 0 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2009111020/06, 31.08.2006**(24) Effective date for property rights:
31.08.2006

Priority:

(22) Date of filing: **31.08.2006**(43) Application published: **10.10.2010 Bull. 28**(45) Date of publication: **27.07.2011 Bull. 21**(85) Commencement of national phase: **31.03.2009**(86) PCT application:
RU 2006/000465 (31.08.2006)(87) PCT publication:
WO 2008/033045 (20.03.2008)

Mail address:

**123298, Moskva, ul. Marshala Birjuzova, 4, korp.1,
kv.129, G.I.Kiknadze**

(72) Inventor(s):

**Kiknadze Gennadij Iraklievich (RU),
Gachechiladze Ivan Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Kiknadze Gennadij Iraklievich (RU),
Gachechiladze Ivan Aleksandrovich (RU)**(54) **SURFACE OF BODY FOR REDUCTION OF FRICTION AND SURFACE OF BODY FOR INTENSIFICATION OF HEAT EXCHANGE**

(57) Abstract:

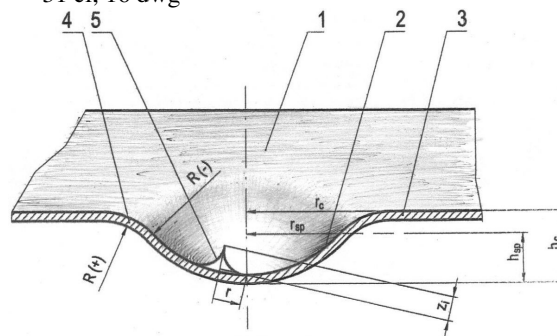
FIELD: power industry.

SUBSTANCE: on plain surface with or without protective layer there are hollows formed with convex and concave surfaces of the second order, which are conjugated along common tangents; at that, conjugation of hollow with initially plain surface is performed by means of convex surface forming slopes for which in conjugation places the initially plain surface is tangent; at that, concave surface forming the bottom part of hollow is plain or is provided with fairing, and ratio of depth h_c of hollow to dimension L_1 of hollow along flow direction is within $0.001 \leq h_c/L_1 \leq 0.1$; ratio of cross dimension L_2 of hollow to longitudinal dimension L_1 of hollow is within $0.25 \leq L_2/L_1 \leq 1$, at density f of location of hollows on surface which is in the range of

$0.05 \leq f \leq 0.5$. On proposed surface for intensification of mass and heat exchange there are also hollows of the above configuration; at that, $0.1 \leq h_c/L_1 \leq 0.5$; $0.25 \leq L_2/L_1 \leq 1$; $0.1 \leq f \leq 0.8$.

EFFECT: reducing aerodynamic resistance of delivery channels and various media.

31 cl, 16 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к аэрогидромеханике, энергетике, к поточным технологиям, задачам повышения эффективности транспорта, к медицине и другим областям научно-технической деятельности и инженерной практики, в которых успех разработок и реализации поточных процессов и оборудования, их функциональные и технико-экономические характеристики зависят от качества потоков сплошной среды и возможности управлять процессами взаимодействия потока и поверхности.

Наиболее близким к предлагаемым поверхностям является техническое решение по патенту RU 2020304, 30.09.1994 г., содержащее поверхности обтекания, являющиеся границей раздела между движущейся сплошной средой (газы, жидкости, их двухфазные или многокомпонентные смеси) и твердой энергообменной стенкой, исходно плоской, цилиндрической, конической или любого другого профиля. Предлагаемая в этом патенте форма поверхности, представляющая собой трехмерный либо вогнутый, либо выпуклый рельеф, позволяет интенсифицировать теплообмен между граничной поверхностью и основным потоком при неопережающем уровне интенсификации росте аэрогидродинамических потерь за счет формирования на таких рельефах вихревых структур. Диапазоны размеров предлагаемых рельефов связаны с характеристиками пограничных слоев течения, при этом по предлагаемому решению поверхность обтекания содержит распределенные по ней трехмерные вогнутые или выпуклые элементы рельефа с закругленными участками перехода, сопрягающими эти элементы с исходно гладкой поверхностью; причем любое сечение элементов рельефа, параллельное плоскости, в которой лежат три ближайшие их вершины, имеет форму плавной замкнутой линии.

Недостатком этого известного патента является его однонаправленность, ограниченная в основном решением задач теплообмена и отсутствием оптимальных решений для повышения критических тепловых нагрузок в процессах кипения, уменьшения кавитационного износа поверхностей, снижения скорости отложения примесей из потоков энергоносителей на обтекаемые поверхности, уменьшения аэрогидродинамического сопротивления и сопротивления между трущимися поверхностями в парах трения и др., а также отсутствие соотношений между кривизнами участков предлагаемой поверхности, имеющими разный знак на вогнутых и выпуклых частях ее рельефа, совершенно необходимых для их конструирования и построения.

Техническим результатом и единым изобретательским замыслом предложенного изобретения является изменение структуры течения газов, или жидкостей, или их смесей и в первую очередь структуры пограничного слоя потоков, превращающее сдвиговый пограничный слой в трехмерный вихревой, что приводит к снижению напряжений трения и интенсификации обмена массой и теплом между формованной поверхностью и потоком.

В частности, изобретение позволяет снижать аэрогидродинамические потери при относительном движении поверхности и сплошной среды, уменьшать кавитационное разрушение поверхностей, уменьшать акустический шум при их обтекании и интенсифицировать обменные процессы между течением газов, жидкостей их двухфазных или многокомпонентных смесей. Предлагаемые поверхности носят название Tornado Like Jet Surface - TLJS - и представляют собой совокупность чередующихся участков исходно гладкой поверхности и отформованных на ней криволинейных участков в виде углублений двойной кривизны. При относительном движении среды и TLJS углубления превращаются одновременно в стоки натекающей на них среды и источники вторичных смерчеобразных закрученных

струй, самоорганизующихся на TLJS под действием полей сил, возникающих при обтекании рельефа углублений двойной кривизны и отсутствовавших при обтекании гладких поверхностей. Силовое поле, присущее взаимодействию потока с выпукло-вогнутым рельефом, формирует при обтекании поверхностей с такими рельефами течение, в котором закрученные струи встроены в пристенные слои потока, создавая дополнительную связь между пограничным слоем и ядром течения. Эти струи, подобно смерчам, всасывают в свой ствол массу среды с поверхности углублений и окружающих их исходно гладких участков TLJS и переносят ее за пределы пограничного слоя. Это явилось основанием для названия их "смерчеобразными струями" или TLJ (по аббревиатуре терминов Tornado Like Jet).

Дальнейшие исследования показали, что обнаруженные течения образуют новый класс потоков газов, жидкостей и их смесей, закономерности обменных процессов и взаимодействия которых с твердыми границами и средой зарождения не присущи другим ламинарным или турбулентным потокам, традиционно используемым для решения задач аэрогидромеханики, энергетики, транспорта, поточных технологий, включая биотехнологии и ряд направлений медицинской практики и техники.

В результате реализации поверхности тела для снижения трения и аэрогидродинамического сопротивления поверхностей достигается:

- снижение аэрогидродинамического сопротивления энергообменных каналов, обтекаемая поверхность которых представляет собой TLJS;
- снижение аэродинамического сопротивления тел с TLJS, движущихся в воздухе, в акваториях и по суше со скоростями, достаточными для самоорганизации вторичных смерчеобразных струй;
- снижение трения между твердыми TLJS, например парами трения, помещенными и трущимися друг об друга в газообразной, или жидкой средах, или в их смесях, за счет формирования в углублениях рельефа вихревого пограничного слоя из окружающей среды, выполняющего роль вихревых подшипников.

В результате реализации TLJS в устройствах или процессах с целью интенсификации теплообмена достигается:

- увеличение скорости обмена теплом и массой между потоками теплоносителей и TLJS, содержащими предлагаемые в изобретении криволинейные участки двойной кривизны, на которых формируются смерчеобразные струи, ускоряющие в газах, жидкостях и в их смесях обменные процессы при отстающем от меры интенсификации уровне гидравлических потерь или при уровне потерь, не отличимых от потерь при обтекании исходно гладких поверхностей аналогичных геометрических форм и размеров;

- повышение критических тепловых нагрузок на TLJS, охлаждаемых жидкими теплоносителями, за счет придания этим поверхностям предложенных криволинейных форм, изменяющих кинетику массообмена в процессе фазового превращения в жидкой среде при отстающем от меры повышения уровне гидравлических потерь или при уровне потерь, не отличимых от потерь при обтекании исходно гладких поверхностей аналогичных геометрических размеров и форм;

- предотвращение кавитационного разрушения TLJS, обтекаемых потоками жидкости, за счет придания им форм, содержащих криволинейные участки, и создания условий для формирования на этих поверхностях вторичных смерчеобразных струй, предотвращающих рост на таких поверхностях парогазовых образований (пузырей) и эвакуирующих зародыши таких образований за пределы

обтекаемой поверхности;

- снижение адсорбции загрязнений, посторонних примесей и нарастания отложений из движущейся среды на TLJS предложенных выше форм за счет выноса в основной поток примесей с этих поверхностей, например, в виде золы или веществ, претерпевающих фазовые превращения, включая продукты неполного сгорания топлива, солевые отложения, другие адсорбирующиеся вещества, в том числе лед и снег.

Технический результат по первому варианту достигается тем, что поверхность тела для уменьшения трения с газообразными, жидкими средами или их смесями характеризуется тем, что на гладкой поверхности с нанесенным защитным слоем или без него выполнены углубления двойной кривизны, образованные сопряженными по общим касательным выпуклыми и вогнутыми поверхностями второго порядка, при этом сопряжение углублений с исходно гладкой поверхностью осуществляется с помощью выпуклых форм поверхностей, образующих скаты, для которых в местах сопряжения исходно гладкая поверхность является касательной, причем вогнутая поверхность, образующая донную часть углубления, выполнена гладкой или с обтекателем, а отношения глубин h_c углублений к размерам L_1 углублений вдоль направления потока находятся в интервале:

$$0,001 \leq h_c/L_1 \leq 0,1, (A)$$

отношение поперечного размера L_2 углубления к продольному размеру L_1 углубления находится в интервале:

$$0,25 \leq L_2/L_1 \leq 1 (B)$$

при плотности f расположения углублений на поверхности, находящейся в интервале:

$$0,05 \leq f \leq 0,5 (C)$$

Углубления могут быть выполнены с продольным и/или поперечным размерами, изменяющимися вдоль потока.

Углубления могут быть нанесены либо механическим способом, либо электрохимическим способом, либо формованием на поверхности защитного слоя из полимера, нанесенного на поверхность, с последующей полимеризацией защитного слоя, либо обработкой поверхности лазерным лучом, либо с использованием комбинаций из этих способов.

Скаты могут быть образованы тороидальной поверхностью.

Скаты могут быть образованы гиперболической поверхностью.

Скаты могут быть образованы эллиптической поверхностью.

Поверхность с радиусом кривизны $R_{(-)}$, имеющая тороидальные скаты, на которой радиус углубления r_{sp} вогнутой сферической части определяется соотношением:

$$r_{sp} = (2h_{sp}R_{(-)} - h_{sp}^2)^{0,5} (D)$$

где h_{sp} - глубина вогнутой сферической части углубления; при этом радиус кривизны выпуклой части углубления $R_{(+)}$ связан с его глубиной h_c и радиусом r_c соотношением:

$$R_{(+)} = [(r_c - r_{sp})^2 + (h_c - h_{sp})^2] / 2(h_c - h_{sp}). (E)$$

Поверхность снабжена обтекателем, имеющим форму тела вращения с криволинейным основанием в виде части вогнутой поверхности углубления, при этом проекция обтекателя на любую плоскость, в которой лежат ось симметрии этих

обтекателей и касательная к точке пересечения их оси симметрии с вогнутой поверхностью углубления, определяется соотношением:

$$r_i^2 h_i = \text{const (F)}$$

5 где r_i - радиус обтекателя, h_i - его высота, принимающие при выбранном радиусе кривизны $R_{(-)}$ значения в диапазонах

$$10^{-5} \leq h_i \leq 1. \text{ (G)}$$

10 Технический результат по второму варианту достигается также тем, что поверхность тела для интенсификации конвективного массо- и теплообмена с газообразными, жидкими средами или их смесями характеризуется тем, что на гладкой поверхности выполнены углубления, образованные сопряженными по
15 общим касательным выпуклыми и вогнутыми поверхностями второго порядка, при этом сопряжение углубления с исходно гладкой поверхностью осуществляется с помощью выпуклых поверхностей, образующих скаты, для которых в местах сопряжения исходно гладкая поверхность является касательной, причем вогнутая поверхность, образующая донную часть углубления, выполнена гладкой или с
20 обтекателем, а отношение глубины h_c углубления к размеру L_1 углубления вдоль направления потока находится в интервале:

$$0,05 \leq h_c/L_1 \leq 0,5, \text{ (H)}$$

отношение поперечного размера L_2 углубления к его продольному размеру L_1
25 находится в интервале:

$$0,25 \leq L_2/L_1 \leq 1, \text{ (I)}$$

при плотности f расположения углублений на поверхности, находящейся в интервале:

$$30 \quad 0,1 \leq f \leq 0,8. \text{ (J)}$$

Углубления могут быть выполнены с изменяющимся вдоль потока продольным и/или поперечным размерами.

35 Углубления могут быть нанесены либо механическим способом, либо электрохимическим способом, либо обработкой поверхности лазерным лучом, либо формованием и полимеризацией поверхности защитного слоя, либо с использованием различных комбинаций из этих способов.

Скаты могут быть образованы тороидальной поверхностью.

40 Скаты могут быть образованы гиперболической поверхностью.

Скаты могут быть образованы эллиптической поверхностью.

Поверхность углублений с радиусом кривизны $R_{(-)}$, имеющих тороидальные скаты и сферическую вогнутую часть, радиус r_{sp} которой определяется соотношением:

$$45 \quad r_{sp} = (2h_{sp}R_{(-)} - h_{sp}^2)^{0,5}, \text{ (D)}$$

где h_{sp} - глубина вогнутой сферической части углубления; при этом радиус кривизны $R_{(+)}$ выпуклой части углубления связан с его глубиной h_c и радиусом r_c соотношением:

$$50 \quad R_{(+)} = [(r_c - r_{sp})^2 + (h_c - h_{sp})^2] / 2(h_c - h_{sp}). \text{ (E)}$$

Поверхность может быть снабжена обтекателем, имеющим форму тела вращения с криволинейным основанием в виде части вогнутой поверхности углубления, при этом проекция обтекателя на любую плоскость, в которой лежат ось симметрии этих

обтекателей и касательная к точке пересечения их оси симметрии с вогнутой поверхностью углубления, определяется соотношением:

$$r_i^2 h_i = \text{const}$$

5 где r_i - радиус обтекателя, h_i - его высота, принимающие при выбранном радиусе кривизны $R_{(-)}$ значения в диапазонах

$$10^{-5} \leq h_i/r_i \leq 1. \text{ (G)}$$

10 На поверхности теплообменной пластины углубления могут быть расположены в шахматном или коридорном порядке, а размер углублений и их глубина могут увеличиваться или уменьшаться по направлению потока вдоль пластины.

Вокруг основных углублений могут быть расположены углубления с меньшими продольным, поперечным размерами и глубинами.

15 На другой стороне поверхности расположены выступы, ответные углублениям.

На другой стороне поверхности пластины расположены ребра, ориентированные вдоль пластины по направлению потока.

Углубления могут быть расположены на другой стороне пластины симметрично или асимметрично относительно углублений основной стороны пластины.

20 Дополнительная поверхность пластины, содержащая углубления, размещена относительно основной поверхности с образованием теплообменного канала, при этом поверхности основной и дополнительной пластин с углублениями обращены друг к другу и расположены параллельно за счет дистанционирующих элементов в виде выступов сферической, конической, цилиндрической или иной форм.

25 Поверхность трубы, в которой углубления вдоль трубы и поперек трубы расположены в шахматном или коридорном порядке.

Размер углублений и их глубина увеличиваются или уменьшаются по направлению потока вдоль или поперек трубы.

30 На внутренней поверхности трубы расположены выступы, имеющие поверхности второго порядка.

На внешней поверхности трубы могут быть расположены углубления, а на ее внутренней поверхности могут быть расположены выступы.

35 На внутренней поверхности трубы могут быть расположены продольные ребра с углублениями.

На внутренней поверхности трубы могут быть расположены поперечные ребра с углублениями.

40 Внутри трубы может быть расположена изогнутая скрученная лента с углублениями.

На внутренней поверхности трубы могут быть симметрично или асимметрично расположены углубления относительно углублений на наружной поверхности.

45 Продольный, поперечный размеры и глубина углублений, нанесенных на внутреннюю поверхность трубы, увеличиваются или уменьшаются по направлению потока.

На внутренней поверхности трубы расположены углубления, и внутри трубы установлена изогнутая скрученная лента с углублениями.

50 Внутренняя поверхность трубы выполнена без углубления, и внутри трубы установлена скрученная лента с углублениями.

На фиг.1 представлен фрагмент поверхности тела обтекания, содержащий одно углубление.

На фиг.2 представлена поверхность углубления с обтекателем в виде двойного

углубления, нанесенного на поверхность по способу одно в другом.

На фиг.3 представлена поверхность углубления с обтекателями в виде множества мелких углублений на его поверхности.

На фиг.4 - поверхность углубления с обтекателем в виде углубления.

5 На фиг.5 представлена схема линий тока среды, вовлеченной в формирование вторичной закрученной структуры в углублении на поверхности при низких скоростях относительного движения поверхности и среды.

На фиг.6 представлен тот же процесс, визуализированный фотосъемкой.

10 На фиг.7 представлена визуализация процесса сжатия вихря в углубление и всасывания в вихрь среды из пристенного слоя течения, обтекающего поверхность с углублениями.

На фиг.8 представлена визуализация процесса обтекания рельефа трехмерных углублений турбулентным потоком.

15 На фиг.9 представлен результат измерения толщины пограничного слоя на поверхности с углублением; 1 - гладкая поверхность, 2 - поверхность с углублением; максимум на кривой 2 соответствует координатам зоны истечения смерчеобразной струи из углубления.

20 На фиг.10 представлена трехмерная эпюра давления, измеренная на поверхности углубления. Пониженное давление на периферии соответствует всасыванию среды из пограничного слоя в углубление, а зона повышенного давления (купол) в центральной части углубления определяет давление в торце самоорганизующейся смерчеобразной струи, обеспечивающее истечение в основной поток массы среды; 25 всосанной смерчеобразным вихрем; зона расположения максимума давления в углублении совпадает с зоной расположения максимума толщины пограничного слоя над углублением на фиг.9 и с координатами размещения обтекателя из поверхностных вихрей Гертлера на фиг.11, что указывает на «вытягивание» 30 смерчеобразной струи из углубления основным потоком.

На фиг.11 представлена фотография визуализации процесса обтекания основным потоком жидкости (воды) углубления двойной кривизны на граничной поверхности, демонстрирующая изменение структуры пограничного слоя за счет образования 35 поверхностных гертлеровских вихрей, имеющих вид «косичек», указанных стрелками. Косички, «вплетенные» в пограничный слой, заменяют часть напряжений сдвига в прандтлевском слое прилипания на напряжения качения «косичек» по поверхности, что является необходимым условием самоорганизации смерчеобразных вихрей и основой уменьшения напряжений трения на предлагаемых 40 поверхностях. На фотографии зафиксирован обтекатель, выстроенный из гертлеровских вихрей вторичным закрученным течением в углублении выбранной формы. Ствол смерчеобразного вихря, как следует из рассмотрения фотографии, заполнен «косичками» - гертлеровскими вихрями, отсасываемыми смерчеобразным вихрем вместе с массой пограничного слоя, что в случае использования таких 45 поверхностей для тепломассообмена обуславливает его высокую интенсивность.

На фиг.12 представлена поверхность теплообменной пластины с продольными ребрами.

На фиг.13 представлено размещение пластин с образованием теплообменного 50 канала.

На фиг.14 представлена поверхность теплообменной трубы. На фиг.15 представлена поверхность трубы с продольными ребрами.

На фиг.16 представлена поверхность трубы с поперечными ребрами внутри.

Форма обтекаемых сплошной средой поверхностей для снижения напряжений трения (TLJS-DR) и поверхностей для интенсификации массо - и теплообмена (TLJS-HMT), предлагаемых в изобретении, в обоих случаях представляет собой совокупность участков исходно гладкой поверхности и сопряженных с ними углублений двойной кривизны с отличием друг от друга плотностью, формой и геометрическими размерами углублений, доверительные интервалы изменения которых указаны ниже.

Формирование обтекающего потока на таких рельефах обеспечивает необходимые и достаточные условия для формирования нового класса течений, охватывающих возможности повышения функциональной и технико-экономической эффективности практически всего парка поточных процессов, аппаратов, оборудования и транспортных агрегатов, используемых в научной и практической деятельности человека.

Наряду со:

- снижением аэрогидродинамического сопротивления различных тел, находящихся в состоянии относительного движения со сплошной средой, включая самолеты, автомобили, поезда, речные, морские и океанические суда, яхты и др.

- транспортные средства (поверхности TLJS-DR - Tornado Like Jet Surface-Drag Reduction);

- уменьшением потерь давления в напорных каналах, транспортирующих газы, жидкости и/или их смеси (поверхности TLJS-DR - Tornado Like Jet Surface-Drag Reduction);

- повышением функциональной эффективности энергообменных поточных процессов и оборудования, включая агрегаты для тепло - и массообмена (поверхности TLJS-HMT - Tornado Like Jet Surface-Heat & Mass Transfer);

- снижением кавитационного износа поверхностей гидравлических турбомашин, винтов судовых движителей, гидронасосов и других агрегатов, подверженных воздействию процессов кавитации (поверхности TLJS-HMT - Tornado Like Jet Surface-Heat & Mass Transfer);

- нагревом и охлаждением магнитотепловых агрегатов для преобразования низкопотенциальных тепловых потоков в механический и электрический виды энергии (поверхности TLJS-HMT - Tornado Like Jet Surface-Heat & Mass Transfer);

оба типа поверхностей используются также для повышения функциональной эффективности других энергообменных поточных процессов и оборудования, в том числе:

- понижения уровня акустического шума при обтекании каналов и тел и самоочищения от грязи и примесей, адсорбирующихся на TLJS из контактирующих с ней сплошных сред.

Перечисленные выше направления использования предлагаемого изобретения обуславливают разнообразие вариантов его осуществления. Однако общими для всех возможных вариантов при постановке конкретной задачи являются:

- количественное определение основных функциональных характеристик процессов или оборудования, которые предполагается улучшить;

- выбор форм и размеров рельефов, основанный на анализе параметров задач;

- выбор технологии нанесения рельефов на поверхности.

В качестве примера приведем рельеф, обтекаемый потоком сплошной среды, выпуклая часть элементов которого представляет собой сегмент тора, имеющего сечение в виде круга, а вогнутая часть - сегмент любой поверхности второго

порядка, например сферической. Выпуклая часть криволинейной поверхности углублений -скаты, внешняя по отношению к геометрическому центру углублений, характеризуется радиусом кривизны $R_{(+)}$, а другая, или внутренняя часть этой поверхности, например сегмент сферы, расположенный вокруг геометрического центра криволинейного участка, характеризуется радиусом кривизны $R_{(-)}$, причем кривизна и форма выпуклой тороидальной части определяется соотношением:

$$R_{(+)} = [(r_c - r_{sp})^2 + (h_c - h_{sp})^2] / 2(h_c - h_{sp}). \quad (E)$$

а форма вогнутой части - соотношением:

$$R_{(-)} = (r_{sp}^2 + h_{sp}^2) / 2h_{sp}, \quad (D)$$

при этом отношение радиусов кривизны выпуклой и вогнутой частей углубления находится из соответствующего соотношения условий (Q) (см. ниже) в интервале:

$$10^{-6} \leq R_{(+)} / R_{(-)} \leq 1;$$

при выполнении условий, определяющих предел устойчивости пограничного слоя течения на этой поверхности по отношению к возникновению поверхностных вихрей Гертлера:

$$[\delta_2(x) / R_{(-)}]^{0.5} U_{\infty} \delta_2(x) / \nu \geq 7; \quad [\delta_2(x) / R_{(+)}]^{0.5} U_{\infty} \delta_2(x) / \nu \geq 7, \quad (K)$$

где U_{∞} - скорость потока, натекающего на криволинейную поверхность с радиусами кривизны $R_{(+)}$ и $R_{(-)}$, $\delta_2(x)$ - толщина потери импульса в пограничном слое, формируемом потоком среды на обтекаемой поверхности, ν - вязкость натекающей среды; при этом учитывается, что критические скорости U_{∞} для изотермического течения ниже для вогнутых участков углублений по сравнению с величиной критической скорости для выпуклых участков.

На обтекаемую поверхность (фиг.1) наносят криволинейный рельеф в виде отдельных углублений 1 двойной кривизны, каждое из которых состоит из вогнутой части 2 внутренней криволинейной поверхности углубления, имеющей выбранную криволинейную форму в виде поверхности второго порядка без острых углов на ней, включая, например, сферическую форму с радиусом кривизны $R_{(-)}$ или эллиптическую форму с радиусами кривизны $R_{min(-)}$ и $R_{max(-)}$, сопрягаемую с исходно гладкой поверхностью 3 выпуклыми криволинейными скатами тороидальной формы круглого, эллиптического, параболического или гиперболического сечений с радиусами кривизны, для которых в местах сопряжения исходно гладкая поверхность является касательной, а поверхности вогнутой и выпуклой формы имеют в точках сопряжения общие касательные. Величины $R_{min(-)}$, $R_{max(-)}$, $R_{min(+)}$ и $R_{max(+)}$ определяются аналогично вышеописанному из соотношений (Q):

$$10^{-6} \leq R_{(+)} / R_{(-)} \leq 1; 10^{-6} \leq R_{max(+)} / R_{(-)} \leq 1; 10^{-6} \leq R_{min(+)} / R_{(-)} \leq 1;$$

$$10^{-6} \leq R_{min(+)} / R_{min(-)} \leq 1; 10^{-6} \leq R_{max(+)} / R_{min(-)} \leq 1; (Q)$$

$$10^{-6} \leq R_{max(+)} / R_{max(-)} \leq 1; 10^{-6} \leq R_{min(+)} / R_{max(-)} \leq 1;$$

Поверхность для уменьшения трения с газообразной, жидкой средой или их смесями характеризуется тем, что на гладкой поверхности с защитным слоем в виде

нанесенного на эту поверхность полимерного материала или без него выполнены углубления 1, образованные сопряженными по общим касательным выпуклыми 4 и вогнутыми 2 поверхностями второго порядка, при этом сопряжение углублений с
 5 исходно гладкой поверхностью 3 осуществляется с помощью образующих скаты выпуклых поверхностей, для которых в местах сопряжения исходно гладкая поверхность является касательной, причем вогнутая поверхность, образующая донную часть углубления, выполнена гладкой или с обтекателем 5, а отношение
 10 глубины h_c углубления к размеру L_1 углубления вдоль направления потока

находится в интервале

$$0,001 \leq h/L_1 \leq 0,1 \text{ (H)}$$

отношение поперечного размера L_2 углубления к продольному L_1 размеру углубления находится в интервале:

$$0,25 \leq L_2/L_1 \leq 0,1 \text{ (B)}$$

при плотности f расположения углублений на поверхности, находящейся в интервале:

$$0,1 \leq f \leq 0,5. \text{ (C)}$$

Углубления на поверхности могут быть выполнены с продольным и поперечным размерами, изменяющимися вдоль потока.

Углубления могут быть нанесены либо механическим, либо электрохимическим способами, либо формованием и полимеризацией защитного слоя, либо обработкой
 25 поверхности лазерным лучом, либо с использованием комбинаций из этих способов.

Скаты могут быть образованы либо тороидальной гиперболической, либо тороидальной параболической, либо тороидальной эллиптической, либо тороидальной сферической поверхностями.

При форме скатов в виде острой кромки, сечение которых представляет собой круг, ограничивающий углубление, а его вогнутая сферическая часть имеет кривизну $1/R_{(-)}$, радиус T_{sp} углубления определяется соотношением:

$$r_{sp} = (2h_{sp}R_{(-)} - h_{sp}^2)^{0,5} \quad \text{(D)}$$

где h_{sp} - глубина вогнутой сферической части углубления; выпуклой части углубления;

При тороидальной сферической форме скатов, сечение которых представляет собой круг радиуса $R_{(+)}$, а центральная вогнутая часть имеет сферическую форму,
 40 радиус r_c связан с размерами углубления соотношением:

$$R_{(+)} = [(r_c - r_{sp})^2 + (h_c - h_{sp})^2] / 2(h_c - h_{sp}). \quad \text{(E)}$$

Обтекатели на таких поверхностях имеют форму тел вращения, криволинейным основанием которых являются части вогнутой поверхности углубления, а проекция
 45 обтекателя на любую плоскость, в которой лежат ось симметрии обтекателя и касательная к точке пересечения этой оси с вогнутой поверхностью углубления, определяется соотношением:

$$r_i^2 h_i = \text{const}, \quad \text{(F)}$$

где r_i - радиус обтекателя, h_i - его высота, принимающие при выбранном радиусе кривизны $R_{(-)}$ значения в диапазонах:

$$10^{-5} \leq h_i/r_i \leq 1 \quad (\text{G})$$

Обтекатели могут быть выполнены в виде углублений, двойных углублений или углублений, размещенных на поверхности основного углубления (фиг.2 - фиг.4).

5 Поверхность для интенсификации конвективного массо- и теплообмена с газообразной, жидкой средой или их смесями характеризуется тем, что на гладкой поверхности выполнены углубления 1, образованные сопряженными по общим касательным выпуклыми 4 и вогнутыми 2 поверхностями второго порядка, при этом
10 сопряжение углубления с исходно гладкой поверхностью 3 осуществляется с помощью образующих скаты выпуклых поверхностей, для которых в местах сопряжения исходно гладкая поверхность является касательной, причем вогнутая поверхность, образующая донную часть углубления, выполнена гладкой или с обтекателем 5, а отношение глубины h_c углубления к размеру L_1 углубления вдоль
15 направления потока находится в интервале:

$$0,1 \leq h_c/L_1 \leq 0,5, \quad (\text{H})$$

отношение поперечного размера к продольному размеру углубления находится в интервале:

$$20 \quad 0,25 \leq L_2/L_1 \leq 1, \quad (\text{I})$$

при плотности f расположения углублений на поверхности, находящейся в интервале:

$$25 \quad 0,1 \leq f \leq 0,8. \quad (\text{J})$$

Углубления могут быть выполнены с изменяющимся вдоль потока продольным и/или поперечным размерами.

Углубления нанесены либо механическим, либо электрохимическим способами, либо формированием и полимеризацией защитного слоя, либо обработкой
30 поверхности лазерным лучом, либо с использованием комбинаций из этих способов.

Скаты могут быть образованы либо тороидальной гиперболической, либо тороидальной параболической, либо тороидальной эллиптической, либо тороидальной сферической поверхностями.

35 Радиус углубления r_{sp} вогнутой сферической части криволинейной поверхности имеет радиус кривизны $R_{(-)}$ и определяется соотношением:

$$r_{sp} = (2h_{sp}R_{(-)} - h_{sp}^2)^{0,5}, \quad (\text{D})$$

где h_{sp} - глубина вогнутой сферической части углубления; при этом радиус кривизны выпуклой части углубления $R_{(+)}$ его скатов связан с глубиной h_c и его радиусом r_c соотношением:

$$R_{(+)} = [(r_c - r_{sp})^2 + (h_c - h_{sp})^2]/2(h_c - h_{sp}). \quad (\text{E})$$

45 Обтекатели 5 могут иметь форму тел вращения, имеющих криволинейное основание в виде части вогнутой поверхности углубления, при этом проекция на любую плоскость, в которой лежат ось симметрии этих обтекателей и касательная к точке пересечения оси их симметрии с вогнутой поверхностью углубления, определяется соотношением:

$$50 \quad r_1^2 h_i = \text{const} \quad (\text{F})$$

где r_1 - радиус обтекателя, h_i - его высота, принимающие при выбранном радиусе кривизны $R_{(-)}$ значения в диапазонах:

$$10^{-5} \leq h_i/r \leq 1. \quad (G)$$

На поверхности теплообменной пластины 6 углубления 1 могут быть расположены в шахматном или коридорном порядке.

5 Размер углублений и их глубина могут увеличиваться или уменьшаться по направлению потока вдоль пластины.

Вокруг углублений большего размера могут быть симметрично расположены углубления с меньшими размерами и глубинами. На другой стороне пластины 6 могут быть расположены выступы, ответные углублениям. На другой стороне 10 пластины могут быть расположены ребра 7, ориентированные вдоль пластины по направлению потока.

Углубления на другой стороне пластины могут быть расположены симметрично или несимметрично относительно углублений основной стороны. Дополнительная 15 поверхность пластины 12 может быть размещена относительно основной поверхности пластины 6 с образованием теплообменного канала, при этом поверхности основной и дополнительной пластин с углублениями обращены друг к другу и расположены параллельно за счет дистанционирующих элементов 8 в виде выступов сферической, конической, цилиндрической или иной форм.

20 На поверхности трубы 9 углубления могут быть расположены вдоль и поперек трубы в шахматном или коридорном порядке.

Размер углублений и их глубина могут увеличиваться или уменьшаться по направлению потока или поперек него.

25 На внутренней поверхности трубы 9 могут быть расположены сферические выступы (не показано), продольные ребра 10, или поперечные ребра 11, или скрученная лента 13 с углублениями.

Углубления на внутренней поверхности трубы могут быть расположены симметрично или асимметрично относительно углублений на наружной поверхности. 30

На внутренней поверхности трубы могут быть расположены углубления, размер и глубина которых увеличиваются или уменьшаются по направлению потока вдоль трубы.

На внутренней поверхности трубы могут быть расположены углубления, и внутри 35 трубы установлена изогнутая скрученная лента с углублениями.

Радиусы кривизны рельефа, радиусы следов углублений на формуемой поверхности, глубины рельефа и параметры обтекателя в случае его устройства в углублениях определяются по вышеприведенным соотношениям и диапазонам, поименованным буквами (A), (B), (C), (D), (E), (F), (H), (I), (J), (K) и (Q). Например, 40 выбирают канал или тело, функционирование которых связано с относительным движением их поверхности и сплошной среды. Определяют основные аэрогидродинамические характеристики потоков газов, жидкостей или их двухфазных смесей в случае формирования предлагаемого течения со встроенными смерчеобразными струями в каналах или аналогичные характеристики для тела, 45 движущегося в указанных выше средах. Устанавливают диапазоны возможного изменения теплофизических свойств рабочей среды, характерный размер, определяющий режим относительного движения сплошной среды и поверхности, вычисляют числа Рейнольдса (Re) и определяют возможные диапазоны их изменения. 50

В соответствии с результатом проведенного анализа варьируют числа Re с целью подбора возможных величин радиусов (размеров) следа углублений на формуемой поверхности, стремясь разместить их целночисленные количества вдоль и поперек

течения или в направлении движения тела. В соответствии с задачей, решаемой с помощью формирования течения со встроенными смерчеобразными струями, выбирают форму углублений, радиусы их кривизны, а также плотность рельефа f , пользуясь диапазонами их изменений, обозначенными буквами (A), (B), (C), (E) и (Q).
 5 Учитывая, что величина

$$f = \pi r_c^2 / t_1 t_2,$$

подбирают t_1 и t_2 - поперечный и продольный шаги расположения углублений на исходно гладкой поверхности, соответственно таким образом, чтобы при
 10 наилучшем приближении к заданной величине f количество углублений вдоль и поперек формируемой поверхности было бы целночисленным. Вслед за подбором величин f , t_1 и t_2 определяют радиус следа углубления на поверхности из соотношения:

$$r_c = (f t_1 t_2 / \pi)^{0.5}.$$

Используя диапазон значений h_c/r_c , обозначенный буквами (A) или (H), в зависимости от решаемой задачи, вычисляют глубину h_c конструируемого рельефа. В соответствии с выбранными радиусами кривизны, плотностью углублений,
 20 размерами следов и глубин рельефа разрабатывают технологию формования поверхности, готовят соответствующий инструмент и изготавливают каналы или несущие поверхности.

Предлагаемое изобретение основано на обнаруженном авторами примерно 30 лет назад феномене самоорганизации квазипотенциальных смерчеобразных струй газов, жидкостей и/или их двухфазных смесей в углублениях, имеющих граничную
 25 поверхность второго порядка, и перестройки на таких поверхностях пограничного слоя при обтекании потоками этих сред поверхностей с углублениями. Этот феномен экспериментально исследован, теоретически описан, визуализирован и испытан в
 30 лабораторных и натурных условиях в широком интервале скоростей и давлений, в том числе в диапазонах дозвуковых и сверхзвуковых скоростей воздушных потоков и при критических и закритических параметрах жидких теплоносителей.

Поля скоростей и давлений в обнаруженных смерчеобразных струях описываются
 35 точными решениями основных нестационарных уравнений гидродинамики вязкой жидкости (уравнения Навье-Стокса и неразрывности), а знания и опыт, накопленные при исследованиях и разработках формованных поверхностей, обеспечили установление необходимых и достаточных условий для их формирования, что является предметом изобретения.

Обнаруженные струи и процесс их самоорганизации названы нами Tornado Like Jet (TLJ) и Tornado Like Jet Self Organization Process (TLJSOP) соответственно;
 40 поверхность, на которой возникает TLJSOP, названа TLJ-Surface (TLJS), а технологии, использующие такие струи, - Tornado Like Jet Technologies (TLJT).

Многочисленные аэрогидродинамические и теплофизические эксперименты, разработки и испытания опытных и натурных образцов поточной техники и
 45 транспортных агрегатов с высокой достоверностью указывают на снижение с помощью TLJT напряжений трения на обтекаемых поверхностях (см. фиг.8-10) и

интенсификацию теплообмена при отстающих от меры ее увеличения
 50 гидравлических потерях. При этом TLJ формируются в потоках газов, жидкостей и в их смесях при практически важных режимах движения сплошной среды, соответствующих числам Рейнольдса $Re \geq 5 \cdot 10^2$, вычисленным по геометрическим

размерам выбранного криволинейного рельефа, например по диаметру симметричных углублений d_c или по их глубине h_c , определяющим характеристики вторичного потока в углублении.

5 Визуализация процесса формирования TLJ-течений, приводимая на фотографиях фиг.5, 6, 7 и 8, позволяет видеть вытянутую из углубления и встроенную в натекающий поток радиально сходящуюся смерчеобразную струю, продольный размер которой существенно превосходит поперечный, а ее пространственная ориентация в потоке указывает на связь одного торца струи с криволинейной
10 поверхностью углубления, из которого струя отсасывает массу сплошной среды и истекает, и на связь второго ее торца либо с криволинейной поверхностью соседнего углубления, расположенного вниз по течению, в которое смерчеобразная струя вдвигает отсосанную из углубления массу сплошной среды, либо с принимающей эту массу соответствующей зоной основного течения, где давления и скорости
15 закрученной струи сшиваются с давлением и скоростью потока.

Экспериментально доказано, что смерчеобразные струи (TLJ) самоорганизуются на TLJS в углублениях описываемого ниже специального рельефа при
20 относительном движении формованной граничной поверхности и вязкой сплошной среды.

При этом течение среды или движение тел в среде характеризуются числами Рейнольдса, вычисленными по размеру углублений вдоль потока или в направлении движения тела - $Re \geq 500$, причем выбранные формы и размеры кривизны выпуклых и вогнутых частей рельефа инициируют действие на поток поля сил, отсутствующих
25 при обтекании гладких поверхностей, и перестройку пограничного слоя течения из сдвигового на исходно гладких его участках в состоящий из поверхностных вихрей типа вихрей Гертлера или их ансамблей трехмерный вихревой пограничный слой на криволинейной поверхности.

Безразмерное соотношение (K), составленное из значений радиус-вектора кривизны поверхности $R_{(+)}$ или $R_{(-)}$ (далее всюду - радиус), вязкости среды ν , величины вектора скорости невозмущенного потока сплошной среды U_∞ и толщины потери импульса $\delta_2(x)$ в пограничном слое течения, являясь критерием устойчивости
30 по отношению к возникновению в пограничном слое поверхностных вихрей типа вихрей Гертлера, указывает на возможность управления вихревым пограничным слоем с помощью параметров потока сплошной среды и радиуса кривизны обтекаемой поверхности. В пограничном слое такого типа, названном нами мелкодисперсный подвижный пограничный слой [Finely Dispersible Mobil Boundary
40 Layer (FDMBL)], характер напряжений трения на криволинейных поверхностях изменяется, превращаясь из сдвигового в определяемый трением качения. Такое качество является одним из основных достоинств предлагаемой TLJS, необходимым условием для самоорганизации TLJ и одной из основных причин снижения напряжений трения при обтекании криволинейных вогнутых рельефов. Наличие
45 трехмерного вихревого пограничного слоя (FDMBL) обеспечивает условия для сопряжения TLJ с вогнутой поверхностью углублений и не приводит при этом к диссипации энергии во вращающемся потоке, разрушающей, как известно, вихревые системы, формируемые на гладких поверхностях, где действуют условия
50 «прилипания» Л.Прандтля,

требующие уравнивать скорость потока со скоростью обтекаемой поверхности, и отсутствует FDMBL. В случае трехмерного вихревого слоя это условие выполняется опосредованно через поверхностные вихри, возникающие в торцах формируемой

смерчеобразной струи, «оседлавшей» эти поверхностные структуры (см. фиг.11). Поверхностные вихри FDMBL, двигаясь по криволинейному рельефу аналогично катку или колесу, имеют в точках контакта с поверхностью или на линии сопряжения с ней скорость, как указано выше, равную скорости поверхности, в случае TLJS 5 покоящихся каналов или пластин равную нулю, а в случае TLJS, движущейся с заданной скоростью U_∞ , равную этой скорости, что и соответствует условиям «прилипания». Остальные точки поверхности этих вихрей движутся с отличными от нуля скоростями, соответствующими скорости порождающего эти вихри и сшитого с 10 ними смерчеобразного закрученного потока (см. фото фиг.11). В случае TLJ ансамбль вихрей, образующих FDMBL, формируется самим закрученным течением в торцах струи на криволинейной поверхности и используется смерчеобразным вихрем, образно говоря, для качения на этих вихрях по поверхности углубления. Этим объясняется механизм уменьшения диссипации энергии в самоорганизующихся 15 смерчеобразных струях. Помимо этого процесса, пограничный слой на криволинейной поверхности структурируется в крупные образования, состоящие из вихрей в виде микроскопических «косичек», визуализированных на фотографии фиг.11. Самоорганизующиеся вихревые струи, как указывалось выше, отсасывают с 20 поверхности углубления и с окружающей его гладкой части рельефа пограничный слой, состоящий из таких «косичек», перенося отсосанную массу в основной поток. Каждая из таких «косичек» существенно превосходит по массе и объему турбулентные моли, определяющие эффективность механизмов теплообмена в турбулентных

25 потоках, что объясняет преимущества TLJS по сравнению с другими формами рельефов, традиционно используемых для интенсификации теплообмена.

Трехмерный рельеф углублений и самоорганизующиеся в нем TLJ превращают обтекаемую формованную поверхность:

30 - в систему стоков рабочей сплошной среды из пограничного слоя течения в углубления, причем сток обеспечивается ускорением течения на выпуклых скатах рельефа, обуславливающим понижение статического давления в этой зоне формирования струи, а скорость стока определяется выбранной формой и кривизнами граничной поверхности;

35 - в систему источников смерчеобразных струй, истекающих и отсасывающих из углублений поверхностные вихри и завихренность из FDMBL, формируемого на участках криволинейной поверхности, перенося в основной поток, как указано выше, массы сплошной среды, стекающие в углубления в виде крупных 40 образований - макроскопических «косичек», визуализированных на фотографии фиг.11.

Механизмы этих процессов, как указано выше, снижают напряжения трения на формованных поверхностях, интенсифицируя на них процессы тепло- и массообмена; при этом закономерности этих процессов на поверхностях с выпукло-вогнутыми 45 рельефами существенно отличаются от закономерностей, описывающих процессы трения и обмена при обтекании условно гладких и шероховатых поверхностей, «рождающих» турбулентность в пристенных слоях течения, например, за счет естественной или искусственной шероховатости.

50 Смерчеобразные струи формируются, как указано выше, в углублениях на границах раздела «поверхность - движущаяся среда» под действием сил, обусловленных формами выбранного рельефа, в том числе:

- сил торможения, возникающих под действием динамического давления потока

на нижних по потоку скатах углублений, вызывающих в меру квадрата величины скорости натекающего течения U_{in}^2 упругое отражение потока от вогнутых скатов и возникновение в вогнутой части углублений возвратного течения, движущегося в придонной области углубления со скоростью, мало отличной от U_{in} . (U - скорость потока, втекающего в углубление, измеренная на границе сопряжения углубления с исходно гладкой поверхностью в точке на высоте 0,1 мм над ней и в возвратном потоке внутри углубления в лежащей на центральном меридиане точке на нижних по потоку скатах). На скатах, встречающих натекающий на углубления основной поток, происходит его сшивка с возвратным течением, порождающая внутри углублений вихревую структуру с циркуляцией среды $\Gamma_0 \cong 2\pi R U_\varphi$, при этом азимутальная скорость такой циркуляции $U_\varphi \cong U_{in} \cong k U_\infty$, где $k < 1$ отражает особенности профиля скорости течения над обтекаемыми исходно гладкой и криволинейной поверхностями. За счет небольшого различия в скоростях в натекающем потоке и в порождаемом им возвратном течении (по экспериментальным данным различие «k» в возвратном и натекающем потоках составляет $\pm 4\%$, т.е. не более $\sim 8\%$) на формируемую в углублении вихревую струю действует пара сил, вызывающая ее дополнительную закрутку и автомодельно поворачивающая смерчеобразный вихрь в углублении на угол $\beta \sim 45^\circ$ относительно направления основного потока.

- массовых сил инерции, направленных по радиусам кривизны углублений к их центру и формирующих на выпуклых скатах рельефа в движущейся среде двумерное поле скоростей, содержащее радиальную U_r и азимутальную U_φ по отношению к центральной оси углубления компоненты скорости. При этом движение среды по криволинейным выпуклым скатам приводит к снижению вероятности отрывов потока и, как указывалось выше, к формированию на них трехмерного вихревого пограничного слоя FDMBL. Характеристики поверхностных вихрей, возникающих в таком слое на криволинейной поверхности, зависят, как известно, от скорости U_{in} , состояния пограничного слоя (ламинарный, турбулентный), толщины потери импульса δ_2 в нем и радиусов кривизны выпукло-вогнутого рельефа $R_{(+)}$ и $R_{(-)}$ соответственно. Подобный пограничный слой, как указано выше, снижает уровень диссипации энергии в потоке, уменьшая вероятность его отрывов от выпуклой поверхности скатов, и придает течению в углублении высокую динамичность за счет преобразования сдвигового пограничного слоя в трехмерный вихревой, с которым сшито формируемое закрученное течение. Дальнейшее формирование смерчеобразных струй происходит на вогнутых скатах углублений также под действием массовых сил инерции, направленных в этой зоне от поверхности в основной поток по радиусам кривизны к ее центру. Выбором геометрической формы выпукло-вогнутых участков граничной поверхности и соответствующих ей радиусов кривизны рельефа углублений обуславливают действие на формируемую закрученную струю сил инерции, придающих этому вторичному течению продольную компоненту скорости U_z . Эта компонента возникает за счет действия на поток, стекающий в углубления со скоростью $U = (U_\varphi^2 + U_r^2)^{0.5}$, ускорений $a = U^2/R$, направленных по радиусам кривизны R от вогнутой поверхности в поток и придающих струе дополнительную радиальную сжимимость, увеличивая, по мере уменьшения ее радиуса r , азимутальную скорость вторичного течения U_φ , и определяемый ею и продольной скоростью U_z продольный градиент давления. Подобный механизм обеспечивает в TLJ эпюру давления, необходимую для переноса и вдува массы отсасываемой смерчеобразными струями среды, на поверхность,

лежащую вниз по потоку, или в основное течение;

- сил типа силы Магнуса, возникающих за счет взаимодействия основного потока, натекающего на углубления, со смерчеобразным вихрем, циркуляция Γ_0 в углублении порождает подъемную силу F , зависящую от скорости натекающего течения U_{in} , и эффективный размер вихревой структуры поперек течения L ;

$$F \cong \rho U_{in} \Gamma_0 L,$$

направленную от вогнутой части криволинейной поверхности в поток по нормали к плоскости, в которой расположены вектор скорости основного течения и вектор, определяемый направлением циркуляции в вихревых структурах, где U_{in} и Γ_0 определены выше, а ρ - плотность сплошной среды в вихре.

Эти силы совместно с действующими на вогнутой части рельефа массовыми силами инерции обеспечивают «застройку» смерчеобразных вихрей в натекающее течение, вытягивают один из торцов вихря и его «хобот» в основной поток.

Величины перечисленных выше сил и направления их действия на структуру формируемого течения управляются, как указано выше, задаваемыми формами углублений двойной кривизны, плотностью их расположения по отношению к площади исходно гладкой поверхности и режимами движения потока обтекающей среды. Например, в процессе обтекания углублений, форма которых имеет центральную осевую симметрию и определяется радиусами кривизны $R_{(+)}$ и $R_{(-)}$, на поток сплошной среды, характеризующийся числами Рейнольдса $Re \geq 500$, рассчитанными по диаметру $d_c = 2r_c$, следа углубления на формируемой поверхности и движущийся над выпуклыми скатами углублений со скоростью U_{in} , действуют массовые силы инерции, прижимающие в соответствии со знаком кривизны $R_{(+)}$ течение к выпуклым скатам. Эти силы уменьшают вероятность отрыва потока от криволинейной поверхности углубления и сообщают втекающему в него течению большую или меньшую, в зависимости от выбранных радиусов кривизны, радиальную сходимость и азимутальную скорость U_φ . Такое движение, как указано выше, формирует между криволинейной поверхностью и смерчеобразным потоком FDMBL, причем такой пограничный слой сопровождает формируемое течение и на вогнутой части углубления. Поверхностные вихри типа вихрей Гертлера придают закрученной струе в углублении динамичность относительно криволинейной поверхности, стабилизируют ее истечение в основной поток, выстраивая из этих вихрей обтекатель, образованный структурой закрученного смерчеобразного течения и криволинейной формой углубления (см. фотографию фиг.11).

В соответствии с изложенными основаниями границе раздела «сплошная среда - обтекаемая поверхность» придают криволинейную форму в виде регулярно чередующихся углублений двойной кривизны, создающих силовое воздействие, обеспечивающее в потоке самоорганизацию в этих зонах FDMBL и вторичных закрученных струй, направленных из указанной приповерхностной зоны потока в основное течение. При этом возникающие силы вызывают независимое силовое воздействие на движущуюся среду, приводящее к искривлению форм линий тока течения и, как следствие, к самоорганизации смерчеобразных струй.

Рельеф углублений, наносимый на обтекаемые поверхности, как установлено в теоретических и экспериментальных исследованиях, изменяет на граничных поверхностях структуру пограничного слоя потока, порождает самоорганизацию смерчеобразных струй, отсасывающих часть сплошной среды, сосредоточенной в зоне расположения углублений на обтекаемой поверхности, влияя на уровень

диссипации энергии потока и интенсифицируя обменные процессы между закрученной струей и поверхностью. Выбор радиусов кривизны и размеров криволинейных участков обтекаемой поверхности осуществляют на основании теоретических расчетов, подтвержденных в экспериментальных исследованиях, обеспечивают технологию их нанесения на поверхности и выполнение условий самоорганизации вторичных смерчеобразных струй, встроенных в обтекающее течение. Поток рабочей сплошной среды либо направляют на поверхности, формованные углублениями, либо рельеф указанной формы наносят на поверхность тел, движущихся в среде газов, жидкостей или в их двухфазных смесях, достигая при этом уменьшения напряжений трения на формованных поверхностях и интенсифицируя процессы массо- и теплообмена между энергообменной поверхностью и потоками сплошной среды.

Предлагаемые поверхности используются для снижения аэрогидродинамического сопротивления напорных каналов и различных тел, находящихся в состоянии относительного движения со сплошной средой, и/или для повышения функциональной эффективности энергообменных процессов и оборудования, в том числе теплообменных и массообменных процессов, а также в других областях, везде, где в сравнении с традиционными способами массо- и теплообмена требуется интенсифицировать обменные процессы при ограниченном росте или снижении гидравлического сопротивления и уменьшить кавитационный износ поверхностей гидротурбин, гидравлических насосов, винтов судовых движителей и других аппаратов, работающих в жидкой среде. В частности, изобретение находит применение в различных видах транспорта, в том числе в самолетах, автомобилях, скоростных железнодорожных поездах, морских и речных судах, в газотурбинных агрегатах с охлаждаемыми лопатками, в ядерно-энергетических урановых сборках, парогенераторах, теплообменниках различного назначения, рекуператорах и других энергообменных аппаратах и устройствах, в бытовой технике, в том числе в кондиционерах, вентиляторах, отопительных приборах, в кухонных принадлежностях, таких как чайники, кастрюли, сковороды и др., в различных видах спортивного инвентаря, включая спортивные автомобили, мотоциклы, велосипеды, спортивные костюмы для мотоспорта, велосипедных гонок, плавания, бега и т.д., в различных биохимических процессах, связанных с движением газообразных или жидкостных реагентов, а также при создании аппаратов и протезов для систем кровообращения, в медицинских приборах для искусственного кровоснабжения, очистки крови от вредных примесей, в аппаратах искусственного дыхания и т.д., другими словами, во всех видах поточных технологий, в которых технологическая эффективность обусловлена движением газов, жидкостей, их двухфазных и/или многокомпонентных смесей.

Перечисленные выше направления использования предлагаемого изобретения обуславливают разнообразие вариантов его осуществления. Однако общими для всех возможных вариантов при постановке конкретной задачи являются: определение основных функциональных характеристик процессов или оборудования, которые предполагается улучшить, и основанный на анализе параметров выбор форм, размеров и технологии нанесения рельефов на поверхности.

Формула изобретения

1. Поверхность тела для уменьшения трения с газообразными, жидкими средами

или их смесями, характеризующаяся тем, что на гладкой поверхности с защитным слоем или без него выполнены углубления, образованные сопряженными по общим касательным выпуклыми и вогнутыми поверхностями второго порядка, при этом сопряжение углубления с исходно гладкой поверхностью осуществляется с помощью выпуклых поверхностей, образующих скаты, для которых в местах сопряжения исходно гладкая поверхность является касательной, причем вогнутая поверхность, образующая донную часть углубления, выполнена гладкой или с обтекателем, а отношение глубины h_c углубления к размеру L_1 углубления вдоль направления потока находятся в интервале $0,001 \leq h_c/L_1 \leq 0,1$, отношение поперечного размера L_2 углубления к продольному размеру L_1 углубления находится в интервале $0,25 \leq L_2/L_1 < 1$ при плотности f расположения углублений на поверхности, находящейся в интервале $0,05 \leq f \leq 0,5$.

2. Поверхность тела по п.1, на которой углубления выполнены с продольным и/или поперечным размерами, изменяющимися вдоль потока.

3. Поверхность тела по п.1, на которую углубления нанесены либо механическим способом, либо электрохимическим способом, либо формованием и полимеризацией защитного слоя, либо обработкой поверхности лазерным лучом.

4. Поверхность тела по п.1, на которой скаты образованы тороидальной поверхностью.

5. Поверхность тела по п.1, на которой скаты образованы гиперболической поверхностью.

6. Поверхность тела по п.1, на которой скаты образованы эллиптической поверхностью.

7. Поверхность тела по п.4, на которой радиус углубления r_{sp} вогнутой сферической части криволинейной поверхности, имеющей радиус кривизны $R_{(-)}$, определяется соотношением:

$$r_{sp} = (2h_{sp}R_{(-)} - h_{sp}^2)^{0,5},$$

где h_{sp} - глубина вогнутой сферической части углубления;

при этом радиус кривизны выпуклой части углубления связан с его глубиной h_c и радиусом r соотношением:

$$R_{(+)} = [(r_c - r_{sp})^2 + (h_c - h_{sp})^2] / 2(h_c - h_{sp}).$$

8. Поверхность тела по п.1, на которой обтекатели имеют форму тел вращения, криволинейным основанием которых является часть вогнутой поверхности углубления, а проекция обтекателя на любую плоскость, в которой лежат ось симметрии обтекателя и касательная к точке пересечения этой оси с вогнутой поверхностью углубления определяется соотношением:

$$r_1^2 h_1 = \text{const},$$

где r_1 - радиус обтекателя, h_1 - его высота, принимающие при выбранном радиусе кривизны $R_{(-)}$ значения в диапазонах

$$10^{-5} \leq \frac{h_1}{r_1} \leq 1.$$

9. Поверхность тела для интенсификации конвективного массо- и теплообмена с газообразными, жидкими средами или их смесями, характеризующаяся тем, что на гладкой поверхности выполнены углубления, образованные сопряженными по общим касательным выпуклыми и вогнутыми поверхностями второго порядка, при этом сопряжение углубления с исходно гладкой поверхностью осуществляется с

помощью выпуклых поверхностей, образующих скаты, для которых в местах сопряжения исходно гладкая поверхность является касательной, причем вогнутая поверхность, образующая донную часть углубления, выполнена гладкой или с обтекателем, а отношение глубины h_c углубления к размеру L_1 углубления вдоль направления потока находится в интервале $0,05 \leq h_c/L_1 \leq 0,5$, отношение поперечного размера L_2 углубления к продольному размеру L_1 углубления находится в интервале $0,25 \leq L_2/L_1 \leq 1$ при плотности f расположения углублений на поверхности, находящейся в интервале $0,1 \leq f \leq 0,8$.

10. Поверхность тела по п.9, на которой углубления выполнены с изменяющимся вдоль потока продольным и/или поперечными размерами.

11. Поверхность тела по п.9, на которую углубления нанесены либо механическим способом, либо электрохимическим способом, либо обработкой поверхности лазерным лучом, либо формованием и полимеризацией поверхности защитного слоя, либо использованием различных комбинаций из этих способов.

12. Поверхность тела по п.9, на которой скаты образованы тороидальной поверхностью.

13. Поверхность тела по п.9, на которой скаты образованы гиперболической поверхностью,

14. Поверхность тела по п.9, на которой скаты образованы эллиптической поверхностью.

15. Поверхность тела по п.12, на которой радиус углубления r_{sp} вогнутой сферической части криволинейной поверхности, имеющей радиус кривизны $R_{(-)}$, определяется соотношением:

$$r_{sp} = (2h_{sp}R_{(-)} - h_{sp}^2)^{0,5},$$

где h_{sp} - глубина вогнутой сферической части углубления;

при этом радиус кривизны $R_{(+)}$ выпуклой части углубления связан с его глубиной h_c и радиусом r_c соотношением:

$$R_{(+)} = [(r_c - r_{sp})^2 + (h_c - h_{sp})^2] / 2(h_c - h_{sp}).$$

16. Поверхность тела по п.9, в которой обтекатели имеют форму тел вращения, имеющих криволинейное основание в виде части вогнутой поверхности углубления и проекцию на любую плоскость, в которой лежат ось симметрии этих обтекателей и касательная к точке пересечения оси их симметрии с вогнутой поверхностью углубления, причем форма этой проекции определяется соотношением:

$$r_1^2 h_1 = \text{const},$$

где r_1 - радиус обтекателя, h_1 - его высота, принимающие при выбранном радиусе кривизны $R_{(-)}$ значения в диапазонах

$$10^{-5} \leq \frac{h_1}{r_1} \leq 1.$$

17. Поверхность тела по п.9, выполненная в виде пластины, в которой углубления расположены в шахматном или коридорном порядке.

18. Поверхность тела по п.17, на которой размер углублений и глубина увеличивается или уменьшается по направлению потока вдоль пластины.

19. Поверхность тела по п.17, на которой вокруг углублений расположены углубления с меньшими продольными, поперечными размерами и глубинами.

20. Поверхность тела по п.17, на которой на другой стороне ее расположены выступы, ответные углублениям.

21. Поверхность тела по п.17, на которой на другой стороне пластины расположены ребра, ориентированные вдоль пластины по направлению потока.

22. Поверхность тела по п.17, на которой углубления расположены на другой стороне пластины симметрично или асимметрично относительно углублений основной стороны.

23. Поверхность тела по п.17, которая содержит дополнительную поверхность пластины с углублениями, размещенную относительно основной поверхности с образованием теплообменного канала, при этом поверхности пластин с углублениями обращены друг к другу и расположены параллельно за счет дистанционирующих элементов в виде выступов полусферической, конической, цилиндрической или иной форм.

24. Поверхность тела по п.9, выполненная в виде трубы, на которой углубления вдоль трубы и поперек трубы расположены в шахматном или коридорном порядке.

25. Поверхность тела по п.24, на которой размеры углублений и их глубина увеличивается или уменьшается по направлению потока вдоль/или поперек трубы.

26. Поверхность тела по п.24, на которой на внутренней поверхности трубы расположены выступы, имеющие поверхность второго порядка.

27. Поверхность тела по п.24, на которой на внутренней поверхности трубы расположены углубления, размер и глубина которых увеличиваются или уменьшаются по направлению потока вдоль или поперек трубы.

28. Поверхность тела по п.24 или 27, на которой на внутренней поверхности трубы расположены продольные ребра с углублениями на их поверхности.

29. Поверхность тела по п.24 или 27, на которой на внутренней поверхности трубы расположены поперечные ребра с углублениями.

30. Поверхность тела по п.24 или 27, на которой внутри трубы расположена изогнутая скрученная лента с углублениями.

31. Поверхность тела по п.24, на которой на внутренней поверхности трубы расположены углубления симметрично или асимметрично относительно углублений на наружной поверхности.



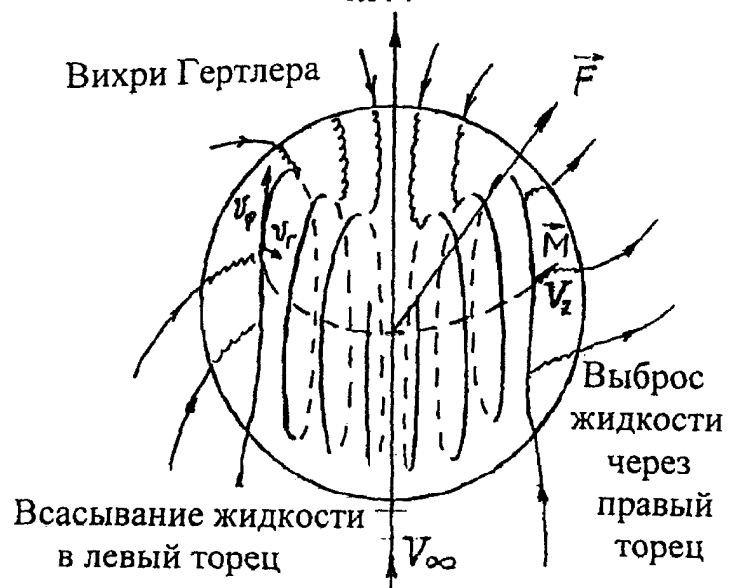
Фиг. 2



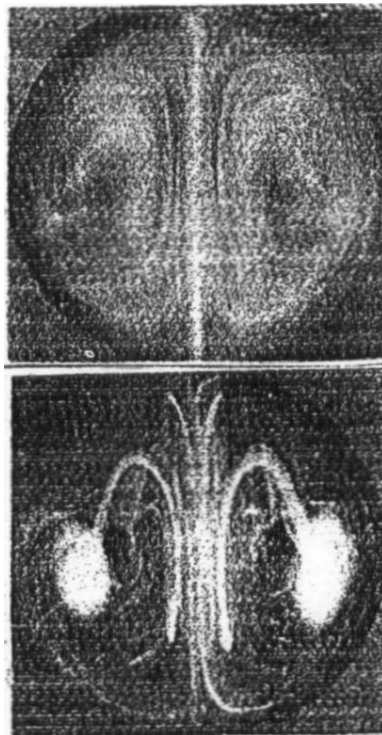
Фиг. 3



Фиг. 4



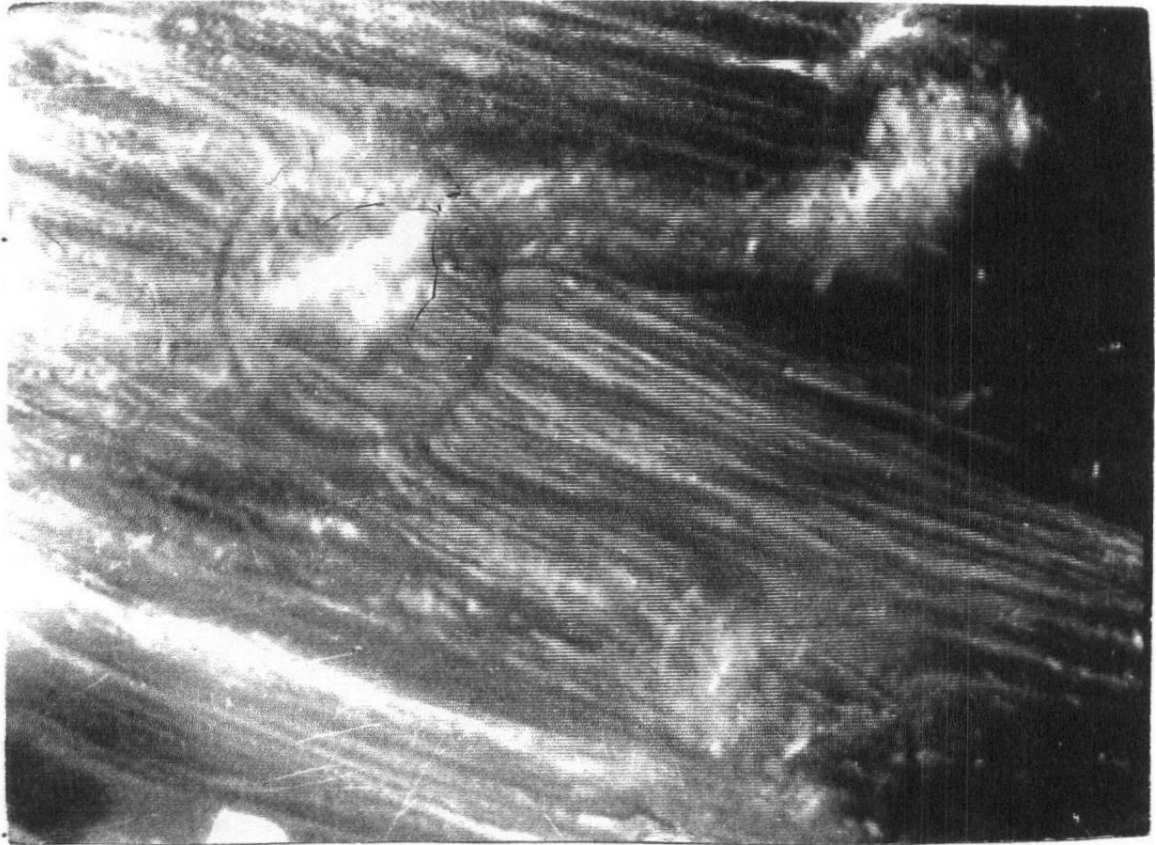
Фиг. 5



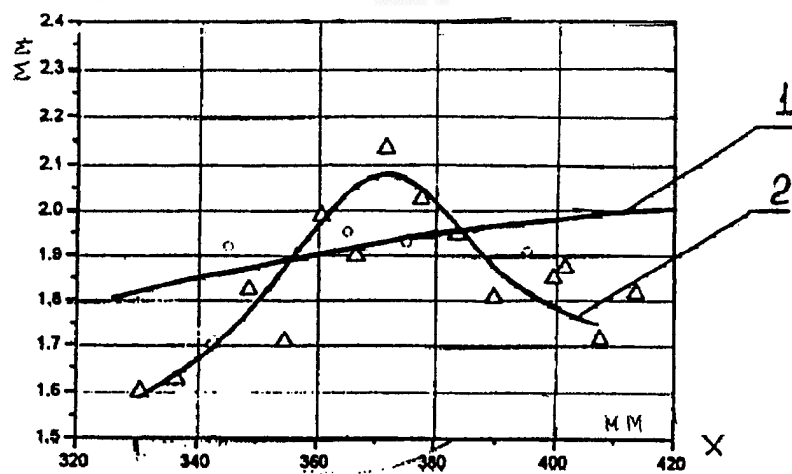
Фиг. 6



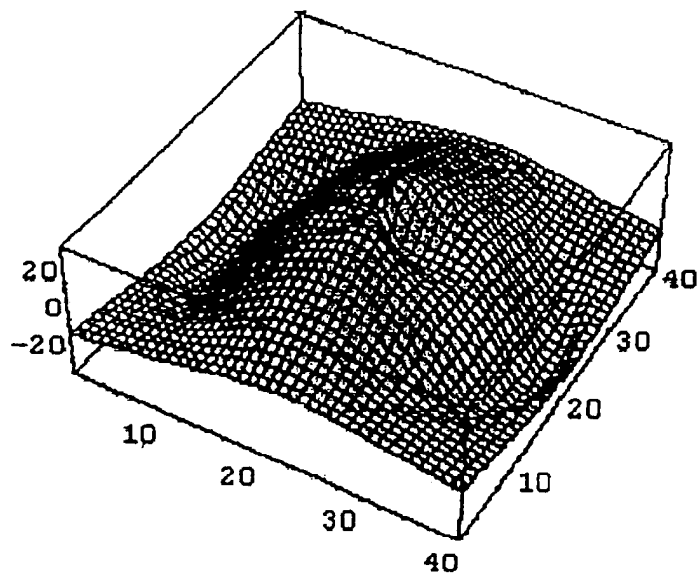
Фиг. 7



Фиг. 8



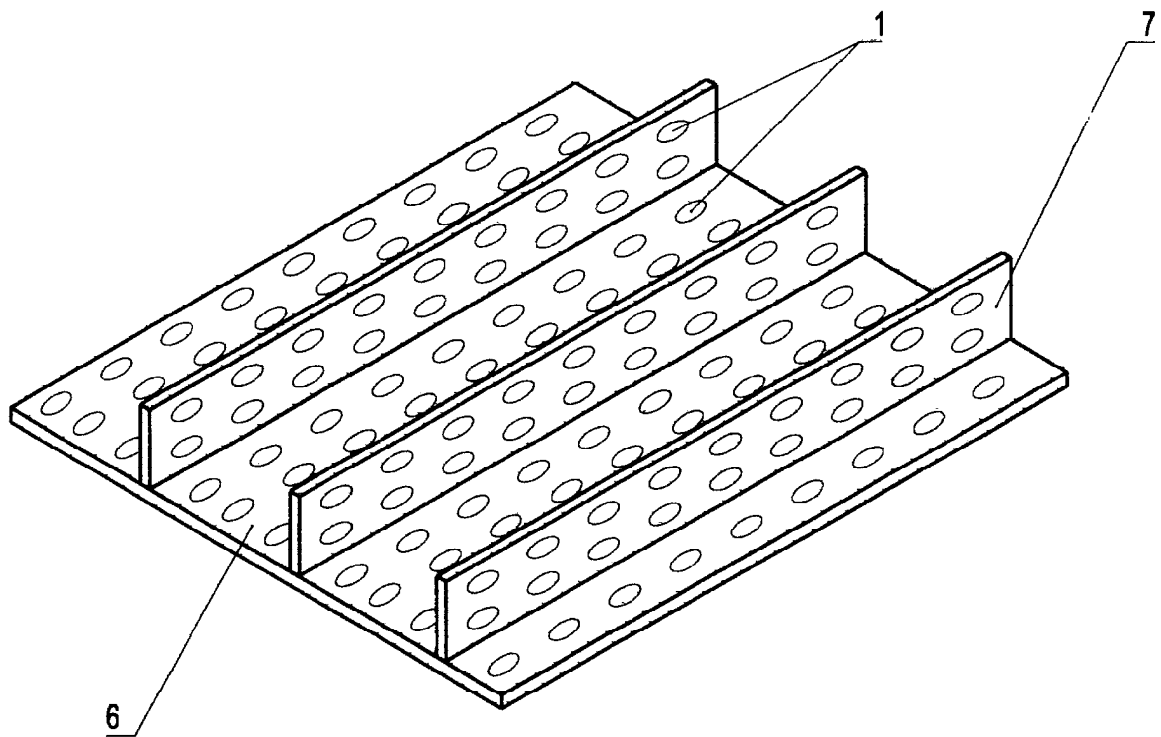
Фиг.9



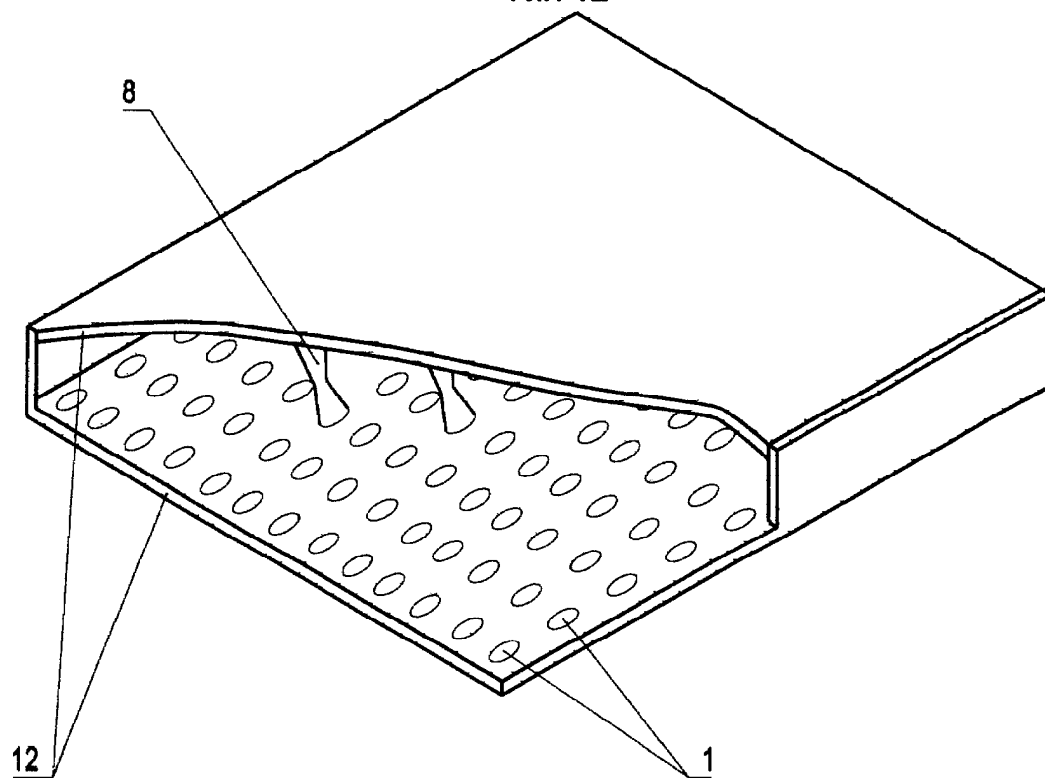
Фиг.10



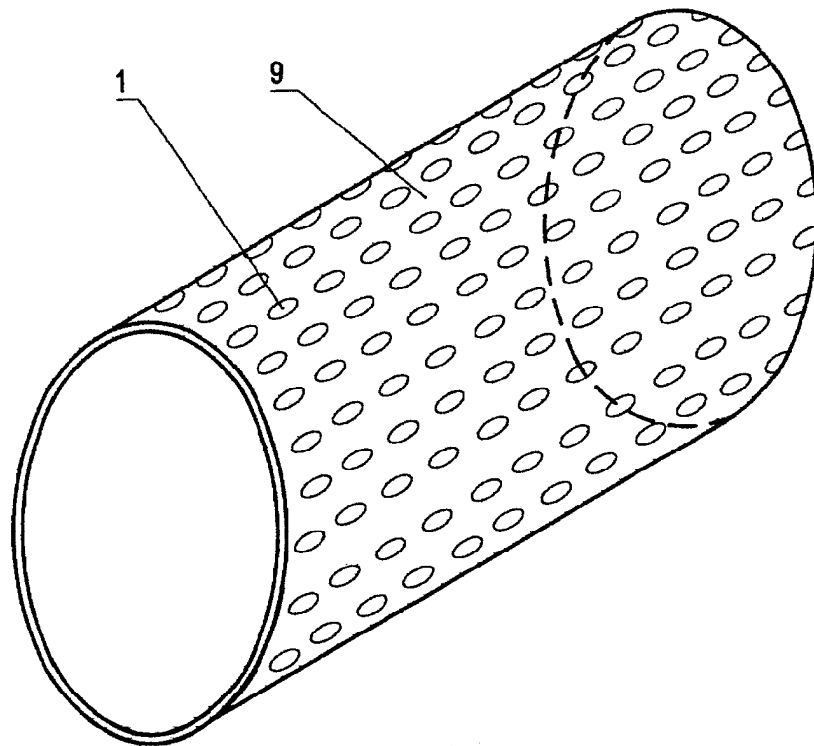
Фиг. 11



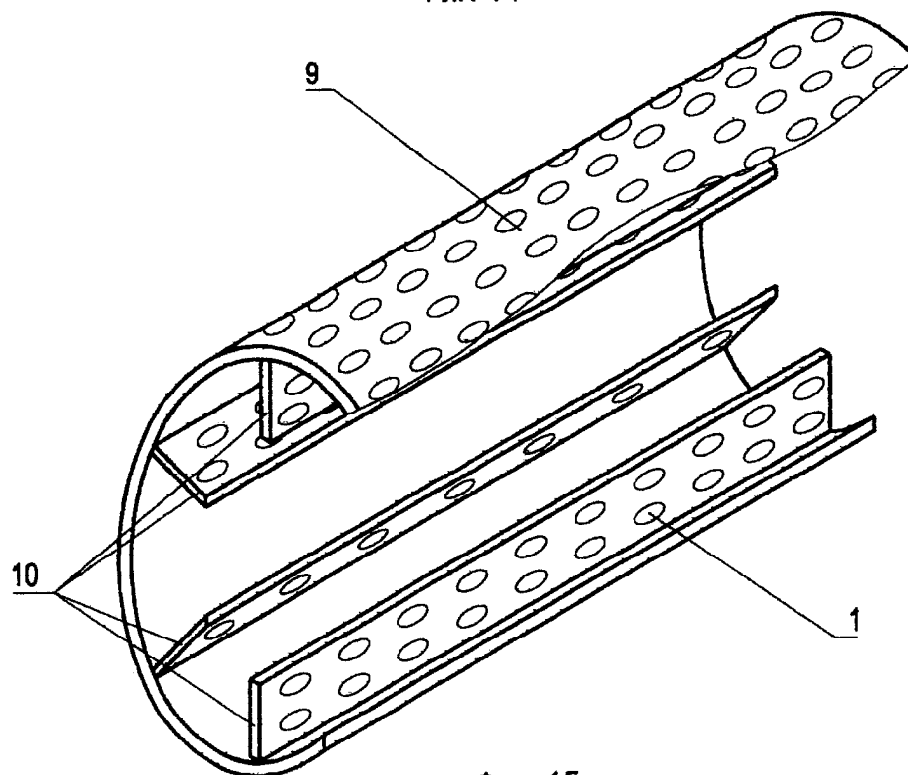
Фиг. 12



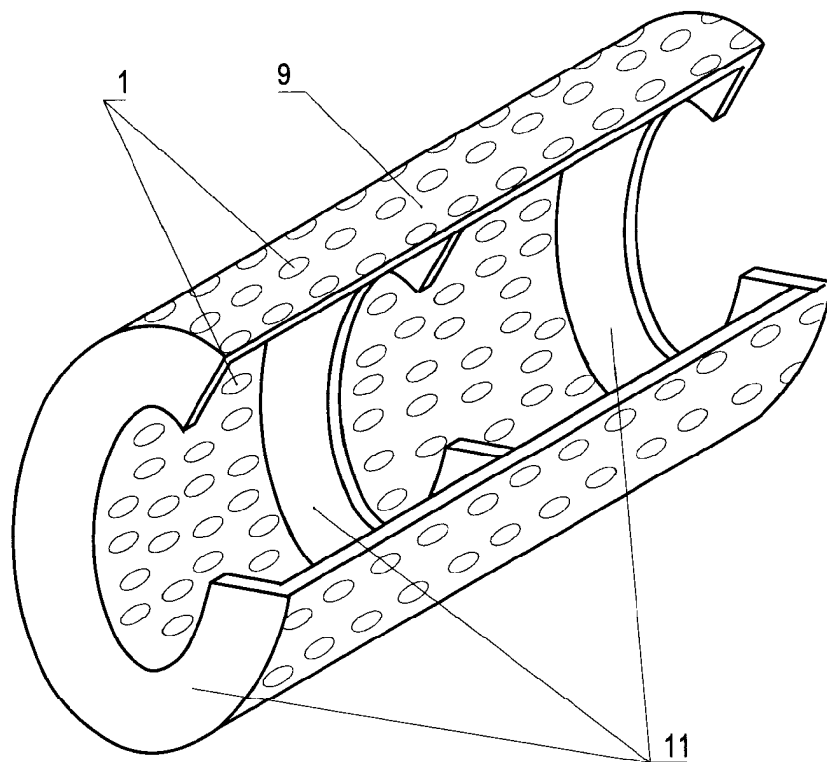
Фиг. 13



Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16