

**ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА НОВИЗНЫ УСТРОЙСТВА ПО ФОРМУЛЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

А. Б. БУШУЕВ<sup>\*1</sup>, Н. А. ДУДАРЕНКО<sup>1</sup>, Ю. В. ЛИТВИНОВ<sup>2</sup>, О. К. МАНСУРОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия*  
*\*bushuev@inbox.ru*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Национальный минерально-сырьевой университет „Горный“, Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** Предложена методика численной оценки новизны по двум типам моделей технической системы, составленных на основе патентной формулы нового решения и прототипа. Первый тип представляет собой структурную схему в виде направленного графа из признаков изобретения. Второй тип строится как поток преобразования энергии и информации от входа устройства до его выхода. Коэффициент новизны оценивается по степени асимметрии схем для прототипа и нового решения. Симметрией обладают признаки изобретения, входящие в ограничительную часть формулы. Отличительная часть формулы вносит асимметрию. В структурной схеме графа признаки ранжируются по уровням, и каждому уровню присваивается свой вес. В информационно-энергетической модели для численной оценки физических величин используется теория размерностей. Ресурсоемкость величин рассчитывается в системе кинематических величин Бартини. Подробно рассмотрен пример численной оценки новизны мембранного датчика давления.

**Ключевые слова:** оценка новизны, формула изобретения, прототип, нарушение симметрии, физическая величина, теория размерностей, базис Бартини, передаточная матрица, ресурсоемкость

**Ссылка для цитирования:** Бушуев А. Б., Дударенко Н. А., Литвинов Ю. В., Мансурова О. К. Численная оценка новизны устройства по формуле изобретения // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 12. С. 902—915. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-902-915.

**NUMERICAL ASSESSMENT OF A DEVICE NOVELTY ACCORDING TO THE INVENTION FORMULA**

**A. B. Bushuev<sup>1\*</sup>, N. A. Dudarenko<sup>1</sup>, Yu. V. Litvinov<sup>2</sup>, O. K. Mansurova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *ITMO University, St. Petersburg, Russia*  
*bushuev@inbox.ru*

<sup>2</sup> *St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia*

<sup>3</sup> *St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia*

**Abstract.** A technique for numerical evaluation of novelty is proposed for two types of technical system models, compiled on the basis of the patent formula of a new solution and a prototype. The first type is a block diagram in the form of a directed graph of the features of the invention. The second type is built as a flow of energy and information conversion from the input of the device to its output. The novelty coefficient is estimated by the degree of asymmetry of the schemes for the prototype and the new solution. The signs of the invention included in the restrictive part of the formula have symmetry. The distinctive part of the formula introduces asymmetry. In the block diagram of the graph, features are ranked by levels, and each level is assigned its own weight. In the information-energy model for the numerical evaluation of physical quantities, the theory of dimensions is used. The resource intensity of values is calculated in the system of kinematic values of Bartini. An example of a numerical assessment of the novelty of a membrane pressure sensor is considered in detail.

**Keywords:** novelty evaluation, formula of invention, prototype, symmetry breaking, physical quantity, dimension theory, Bartini basis, transfer matrix, resource capacity

**For citation:** Bushuev A. B., Dudarenko N. A., Litvinov Yu. V., Mansurova O. K. Numerical assessment of a device novelty according to the invention formula. *Journal of Instrument Engineering*. 2022. Vol. 65, N 12. P. 902—915 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-902-915.

**Введение.** Критерий новизны является первичным для определения патентоспособности технического решения. Изобретение является новым, если оно не известно из уровня техники\*. Практически новизна определяется путем сравнения патентных формул заявленного решения с прототипом и аналогами. Если заявленное решение отличается от прототипа хотя бы одним признаком, оно считается новым. Таким образом, патентное право не дает ответа, насколько количественно изобретение является новым.

В работе [1] предполагается, что существует некоторая область новизны, в которой изобретение внедряется с наибольшей вероятностью. Численно новизна рассчитывается по частоте ссылок на аналоги изобретения, определяемые в компьютерном патентном поиске при заданном индексе международной патентной классификации. При этом техническая сущность, т.е. признаки изобретения, не рассматривается.

В статье [2] новизна идей определяется путем парных сравнений  $N$  идей случайно выбранными людьми. Степень новизны рассчитывается по формуле

$$Nov(i) = \sum_{j=1}^N d_{i,j},$$

где  $Nov(i)$  — новизна  $i$ -й идеи,  $i = 1, \dots, N$ ;  $d_{i,j}$  — расстояние от идеи  $i$  до  $j$  по пятибалльной шкале Лайкерта,  $j = 1, \dots, N$ .

В статье [3] рассматривается методика определения новизны некоторой решаемой задачи, раскладываемой на ключевые функции или характеристики. Каждой функции экспертом присваивается вес  $f_j$ , отражающий важность функции для определения задачи. Новизна  $M$  оценивается по формуле

$$M = \sum_{j=1}^m f_j \sum_{k=1}^n S_{j,k} p_k,$$

где  $f_j$  — вес  $j$ -й функции,  $j=1, \dots, m$ ,  $m$  — число ключевых функций или характеристик;  $S_{j,k}$  — изменение степени новизны на разных стадиях развития задачи,  $k=1, \dots, n$ ,  $n$  — число стадий;  $p_k$  — вес  $k$ -й стадии. Если рассматривать такую методику применительно к патентной формуле, то характеристиками будут признаки изобретения, а стадий две: первая — это прототип, а вторая — это новое решение. Недостатком является субъективность назначения весов экспертом.

В работе [4] коэффициент новизны технической системы рассчитывается по круговой диаграмме, состоящей из десяти концентрических окружностей, образующих шкалу показателей качества. Показатели качества откладываются по лучам диаграммы, концы которых соединяются прямыми. Затем находится площадь полученного многоугольника. Коэффициент новизны определяется отношением площадей диаграмм  $S_2/S_1$ , где  $S_2$  — площадь диаграммы нового решения,  $S_1$  — площадь диаграммы прототипа. Для показателей качества, или ключевых характеристик, используются тренды законов развития технических систем, разработанных в теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) [5]. Длина луча по каждому из

\* Гражданский кодекс Российской Федерации. Ч. 4, статья 1350.

двадцати четырех трендов назначается экспертом. Таким образом, можно сделать вывод, что новизна определяется путем сравнения двух сущностей, или характеристик.

Интересно отметить, что в статье [6] рассматривается новизна в стихосложении, и в качестве этих характеристик предлагается выбирать две противоположности, существующие одновременно в одном пространстве, или дискретные, существующие разновременно, что характерно для так называемого системного оператора ТРИЗ. Прототип и новое решение в некотором смысле противоположны, так как новое отрицает старое решение в результате противоречий между прошлым и настоящим. Таким образом, здесь также две стадии, но отличие состоит в том, что сущности, или характеристики, альтернативны.

Для численной оценки противоречий необходимо иметь их математические модели. Впервые такие модели были представлены в работах Ю. М. Горского по компенсационным гомеостатам, сначала для противоречий в электротехнических, а затем и в биологических, и социальных системах [7]. Ю. М. Горский рассматривал устойчивость гомеостата при асимметрии антагонистов, образующих его, и установил, что существует некоторая граница асимметрии, при которой устойчивость нарушается.

В монографии [8] отмечено, что тело, обладающее весовой и геометрической симметрией, имеет суженный спектр частот собственных колебаний, что соответствует большей устойчивости. Величина весовой асимметрии определяется по формуле  $E_B = 1 - P_M / P_B$ , где  $P_B$  и  $P_M$  — больший и меньший из весов геометрически симметричных половин тела. Величина геометрической асимметрии определяется по формуле  $E_G = 1 - V_M / V_B$ , где  $V_B$  и  $V_M$  — больший и меньший из объемов симметричных по весу половин тела. В [8] делается вывод, что симметрия производит на людей впечатление мертвого, застывшего, неизменного, а асимметрия — нарушение ритма, пропорций, диссонансы — выражает динамику объективного мира.

Численная оценка структурной асимметрии системы дифференциальных уравнений аттрактора Лоренца, которая используется для моделирования технических противоречий в изобретательской задаче, рассмотрена в статье [9]. Здесь также отмечается, что нарушение симметрии является важнейшим условием получения новых знаний, изобретений, информации. Действительно, информация, по определению К. Шеннона, — это снятая неопределенность [10]. По определению В. М. Глушкова, информация — мера неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и времени [11]. Таким образом, сняв неопределенность, можно получить новую информацию, т.е. сведения, неизвестные априори. В работе [12] отмечается, что информация при хаотическом движении порождается каскадами бифуркаций, приводящих к нарушению симметрии. Допустим, что имеется некоторый геометрический объект — прототип, по которому надо воспроизвести новое решение. Для этого достаточно передать информацию (координаты) всех точек объекта, но эта информация не будет новой, она известна априори. Новая информация получается в результате случайного выбора знака в точке бифуркации. Например, при выборе отрицательного знака получается зеркальная симметрия нового решения относительно прототипа и всего лишь 1 бит информации. Чем асимметричнее новое решение, тем больше изобретатель должен сгенерировать новой информации, чтобы можно было воспроизвести это решение. Неоднократная воспроизводимость является необходимым условием выполнения критерия промышленной применимости изобретения.

На основе обзора аналогов поставим следующую задачу — по патентной формуле численно оценить степень новизны изобретения, возникающей из-за нарушения симметрии между прототипом и новым решением.

**Постановка задачи.** Пусть заданы два объекта: прототип  $A = \{P_i\}$ , где  $P_i$  — множество признаков патентной формулы прототипа,  $i = 1, \dots, m$ , и новое решение  $B = \{P_j, N_j\}$ , где  $P_j$  — множество признаков патентной формулы ограничительной части нового решения, т.е. признаков, общих с признаками прототипа,  $j = 1, \dots, k$ ,  $k \leq m$ ,  $k = 1, \dots, m$ ,  $N_j$  — множество признаков

отличительной части патентной формулы нового решения,  $j = 1, \dots, n$ . В соответствии с [13] составим так называемую контрастную модель, которая выражает сходство, соответствие  $S(A, B)$  между объектами  $A$  и  $B$  как линейную комбинацию мер их общих и отличительных признаков. В общем случае модель используется для анализа асимметричных свойств любых объектов.

Введем соответствие

$$S(A, B) = F(A \cap B, A - B, B - A), \quad (1)$$

где  $S(A, B)$  является функцией  $F$  от трех аргументов:  $A \cap B$ , т.е. признаков, общих как для  $A$ , так и для  $B$ ,  $A - B$ , т.е. признаков, принадлежащих только  $A$ , но не  $B$ ,  $B - A$ , т.е. признаков, принадлежащих только  $B$ , но не  $A$ . Для патентных формул записать

$$\begin{aligned} A \cap B &= \begin{cases} \{P_i\}, & i = 1, \dots, k, \quad k < m, \\ \{P_i\}, & i = 1, \dots, m, \quad k = m, \end{cases} \\ A - B &= \begin{cases} \{P_i\}, & i = k + 1, \dots, m, \quad k < m, \\ \{0\}, & i = 1, \dots, m, \quad k = m, \end{cases} \\ B - A &= \{N_j\}, \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (2)$$

При  $k = m$  все  $m$  признаков прототипа переходят в ограничительную часть нового изобретения. Оставшийся без признаков прототип образует пустое множество  $\{0\}$  признаков. Такое изобретение называется дополнительным. При  $k < m$  только первые  $k$  признаков прототипа переходят в ограничительную часть нового изобретения, а  $m - k$  признаков остаются в прототипе, т.е. в старом решении. Такие изобретения встречаются наиболее часто.

На рис. 1 приведена диаграмма множеств признаков (прототип заштрихован) для случая  $k = m$  (а) и для случая  $k < m$  (б).

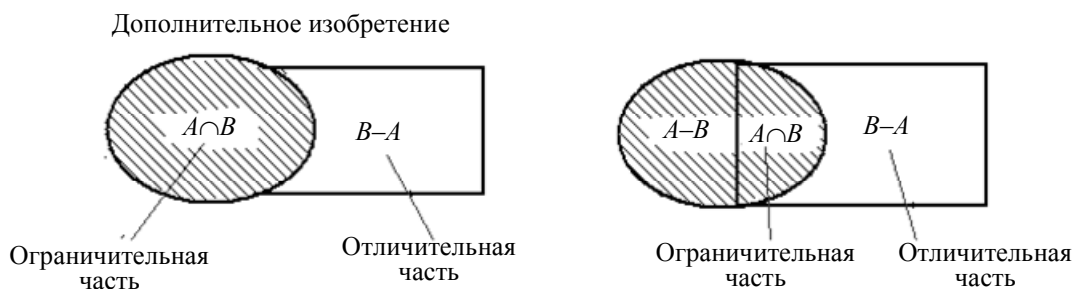


Рис. 1

Численно степень симметрии  $E$  между объектами  $A$  и  $B$  можно рассчитать по формуле [14]:

$$E = F(A \cap B) / [F(A \cap B) + \alpha F(A - B) + \beta F(B - A)], \quad (3)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — некоторые весовые коэффициенты, позволяющие учесть вклад разных признаков. Оценка  $E$  является отношением функции общих для  $A$  и  $B$  признаков к сумме функций всех признаков, общих и разных для  $A$  и  $B$ . Если разные признаки отсутствуют, тогда  $E = 1$ , объекты симметричны. При появлении разных признаков появляется асимметрия, значение  $E$  снижается. Величина уменьшения говорит о степени асимметрии объектов.

**Определение функции соответствия для признаков формул изобретений.** Будем рассматривать изобретения-устройства и полезные модели, в патентных формулах которых используются следующие признаки:

- 1) наличие конструктивных элементов;
- 2) наличие связи между элементами;
- 3) взаимное расположение элементов;

- 4) форма выполнения элемента или устройства в целом, в частности, геометрическая форма;
- 5) форма связи между элементами;
- 6) параметры элементов и устройства в целом;
- 7) материал, из которого выполнен элемент или устройство в целом; среда, выполняющая функцию элемента.

По правилам составления описания изобретения [15], других типов признаков в патентной формуле устройства быть не может. Другие типы, например наличие действий над материальными объектами или последовательность действий, используются в патентных формулах способов и здесь не рассматриваются.

Для нахождения численного значения степени симметрии или асимметрии  $E$  (3) необходимо задать функцию соответствия  $S(A,B)$  (1), т.е. определить некоторое правило  $F$ , по которому можно численно сравнивать признаки формулы между собой. При патентной экспертизе изобретение считается новым, если его патентная формула имеет хотя бы один отличительный признак, который и нарушает симметрию с прототипом. Однако степень нарушения симметрии, численное значение новизны, не определяется. Для расчета вклада признаков в формулу, определения весов в (3), рассмотрим два структурных метода.

В первом методе признаки разделяются на уровни иерархии, по уровням строится „дерево“ [16] формулы изобретения, и вес признака определяется по степени объема защиты этим признаком конструкции устройства.

Во втором методе используются не только формула изобретения, но и описание работы устройства, по которым строится информационно-энергетическая схема (ИЭС). ИЭС отражает потоковую функциональную структуру [17] технической системы и используются для синтеза физического принципа действия устройства [18]. Геометрически ИЭС представляет ориентированный граф с вершинами из блоков преобразования одного вида энергии в другой. Вес вершины определяется по затратам ресурсов на преобразование. Рассмотрим более подробно каждый из методов.

**Определение функции соответствия по структуре формулы изобретений.** Введем бинарное отношение  $R$  „не существует без“ между признаками  $P_q$  и  $P_g$ , т.е. запись  $P_q R P_g$  означает, что признак  $P_q$  не существует без признака  $P_g$ . Следовательно, можно сказать, что признак  $P_q$  находится в некотором подчинении у признака  $P_g$ . Устанавливая наличие или отсутствие бинарных отношений между всеми признаками устройства, можно построить его структурную схему в виде некоторого иерархического графа. На структурной схеме будем обозначать признаки вершинами графа, а отношения  $R$  между признаками — ребрами графа. Введем ориентацию в графе, обозначив отношения подчиненности стрелками на ребрах. По степени подчиненности все признаки разделяются на три уровня иерархии. Высший уровень образуют признаки конструктивных элементов, к ним стрелки не подходят, т.е. эти признаки ничему не подчиняются. Средний уровень иерархии образуют признаки, характеризующие межэлементные отношения, т.е. связи и взаиморасположение элементов. К ним подходят две стрелки, т.е. такие признаки подчиняются двум признакам высшего уровня. Низший уровень иерархии образуют остальные признаки, характеризующие свойства элементов или связей, например, форма элемента, материал элемента и др. К таким признакам подходит одна стрелка от признаков более высокого уровня.

Присвоим признакам высшего уровня структурную силу  $F = 3 - 0,5a_g$  балла, среднего уровня  $F = 2 - 0,5a_g$ , низшего уровня  $F = 1$ , где  $a_g$  — вес признака  $P_g$ , равный числу подчиненных, т.е. числу исходящих от  $P_g$  стрелок. Чем больше связей у признака более высокого уровня с признаками более низкого уровня, тем слабее признак высокого уровня. Любая связь конкретизирует признак, т.е. снижает объем защиты. Например, если в патентной формуле имеется „металлический вал“, то признак „деревянный вал“ или „полимерный вал“ дает но-

вое решение. А если материал не указан, то формула защищает больший объем прав, т.е. вал из любого материала. При замене материала надо доказывать неочевидность такого признака, иначе заявленное решение не будет иметь изобретательского уровня.

Сумма структурных сил признаков  $P_i$ , входящих в ограничительную часть формулы изобретения, т.е. общих для прототипа и нового решения, будет равна

$$F(A \cap B) = \sum_{i=1}^k F_i, \quad (4)$$

для отличительной части формулы

$$F(B - A) = \sum_{j=1}^n F_j, \quad (5)$$

для части признаков прототипа, не вошедших в ограничительную часть нового решения

$$F(A - B) = \sum_{i=k+1}^m F_i, \quad (6)$$

где  $F_i$  — сила признака  $P_i$ ,  $F_j$  — сила признака  $N_j$ . Далее по выражению (3) численно рассчитывается степень нарушения симметрии.

**Определение функции соответствия по информационно-энергетической схеме.** Устройство разбивается на элементы, узлы, детали, которые образуют блоки структуры и называются веществами — В. Вещества передают энергию и преобразуют один вид энергии в другой. Виды энергии определяются полями  $\Pi$  — механическими, тепловыми, электрическими, магнитными. Направление потока энергии указывается стрелками, например,  $\Pi_1 \rightarrow V_1 \rightarrow \Pi_2 \rightarrow V_2$ . Такая структура в ТРИЗ называется вепольной, она помогает выбирать физические эффекты при синтезе принципа действия. ИЭС получается из вепольной структуры путем замены полей на физические величины, в которых измеряются эти поля. Например, если вещество  $V_1$  является пьезокристаллом и реализует прямой пьезоэффект, то механическое поле  $\Pi_1$  будет силой, измеряемой в ньютонах, а электрическое поле  $\Pi_2$  будет зарядом, измеряемым в кулонах.

Для численной оценки ИЭС используется информация о размерностях физических величин в той или иной системе измерений, например СИ или в системе кинематических величин Р.Л. Бартини [19], которая имеет две основных единицы измерения —  $L$  (метр) и  $T$  (секунда). В [20] предлагается задавать размерности входных и выходных величин блоков ИЭС в базисе Бартини в виде квадратных матриц, а сами блоки задавать передаточными матрицами, т.е. отношением выходной матрицы к входной. Численная оценка затрат ресурсов времени и пространства на преобразование в блоке будет равна евклидовой норме передаточной матрицы. Далее граф разбивается на две части, одна моделирует ограничительную часть формулы изобретения, а другая — отличительную. Весовые коэффициенты вершин графа используются для вычисления асимметрии в (3).

**Пример численного расчета.** Рассмотрим датчик давления [21, 22]. Пример выбран из следующих соображений: срок охрannого документа истек, поэтому можно использовать графический материал без разрешения авторов; формула изобретения компактна, она позволяет минимизировать объем настоящей статьи без потери общности; замкнутая структура устройства с обратной связью, для которой, кроме новизны, можно рассчитать некоторые другие показатели качества, отличающие новое решение от прототипа.

**Описание нового решения и прототипа.** Конструкция датчика давления представлена на рис. 2, а, а конструкция прототипа [22] — на рис. 2, б.

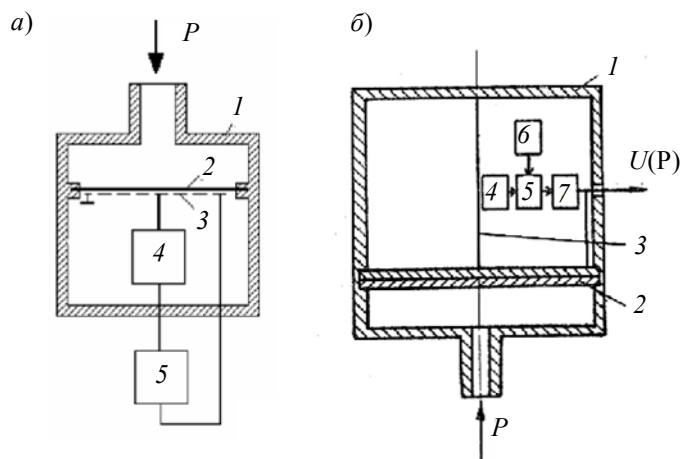


Рис. 2

На рис. 2, а датчик содержит корпус 1, внутри которого установлена мембрана 2, выполненная из металла с памятью формы. На мембране установлен пленочный нагреватель 3. Под действием давления  $P$  мембрана прогибается, в местах крепления действует на корпус. Максимальный прогиб мембраны в ее центре перемещает шток преобразователя 4, электрический сигнал с которого несет информацию о давлении. Одновременно сигнал с преобразователя усиливается в усилителе 5 и подается на нагреватель 3. Под действием нагрева мембрана за счет эффекта памяти формы возвращается в первоначальное состояние.

Прототип датчика давления (рис. 2, б) работает следующим образом. При изменении контролируемого давления  $P$  биморфный элемент 2, установленный в корпусе 1, деформируется, изменяется натяжение чувствительного элемента 3 автогенератора 4, изменяется его частота, которая в элементе сравнения 5 сравнивается с частотой эталонного генератора 6. Сигнал рассогласования через усилитель 7 подается на биморфный элемент 2, в котором используется обратный пьезоэффект. Под действием электрического напряжения биморфный элемент 2 прогибается в сторону, противоположную действию давления  $P$ , восстанавливая динамическое равновесие. Сигнал измеренного давления  $U(P)$  с выхода усилителя 7 поступает на регистратор (на рис. 2, б не указан).

Новое решение [21] имеет следующую формулу изобретения: датчик давления, содержащий корпус, в котором закреплена мембрана, связанная с преобразователем перемещений, к выходу которого подключен усилитель, отличающийся тем, что с целью расширения диапазона измерений он снабжен нагревательным элементом, установленным на мембране и подключенным к выходу усилителя, а мембрана выполнена из металла с деформационной памятью.

Прототип имеет следующую формулу изобретения: датчик давления, содержащий установленные в корпусе мембрану и усилитель, соединенный с регистратором, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерений он снабжен генератором эталонной частоты с блоком сравнения, причем входы блока сравнения соединены с выходами автогенератора и генератора эталонной частоты, а выход блока сравнения соединен с усилителем, выход которого гальванически соединен с мембраной, выполненной в виде биморфного элемента.

**Расчет степени асимметрии по структурной схеме формулы изобретения.** Сначала пронумеруем по порядку признаки устройств, начиная с признаков ограничительной части нового решения, т.е. объекта  $B$ :  $P_1$  — корпус,  $P_2$  — мембрана,  $P_3$  — преобразователь перемещений,  $P_4$  — мембрана закреплена в корпусе,  $P_5$  — связь мембраны с преобразователем перемещений,  $P_6$  — усилитель,  $P_7$  — связь преобразователя перемещений с усилителем. Все эти признаки есть и в прототипе, в том числе, и преобразователь перемещений,  $P_3$  который в прототипе конкретизирован в виде соединения блоков, он задан набором признаков от выхода мембраны, до выхода усилителя. Это следующая часть формулы прототипа: скрепленный с

мембраной чувствительный элемент автогенератора, генератор эталонной частоты с блоком сравнения, причем входы блока сравнения соединены с выходами автогенератора и генератора эталонной частоты, а выход блока сравнения соединен с усилителем. Часть формулы фактически является описанием конструкции прототипа от выхода мембраны до выхода усилителя. Поэтому эти признаки нумеровать не будем, они все войдут в  $P_3$ . В новом изобретении эта часть конструкции защищена более широким понятием „преобразователь перемещения в выход усилителя“, который не обязательно может быть выполнен в виде частотного преобразователя, как в прототипе.

Пронумеруем оставшиеся признаки прототипа, которые не вошли в ограничительную часть нового решения [21]:  $P_8$  — регистратор,  $P_9$  — связь регистратора с усилителем,  $P_{10}$  — выход усилителя соединен с мембраной,  $P_{11}$  — связь усилителя с мембраной гальваническая,  $P_{12}$  — мембрана, выполнена в виде биморфного элемента.

На основании бинарных отношений признаков составим структурную схему формулы изобретения прототипа (рис. 3, а). Штриховой линией обведены признаки, общие для прототипа и нового решения, т.е. признаки ограничительной части.

Пронумеруем новые признаки, входящие в отличительную часть формулы изобретения прототипа:  $N_1$  — нагревательный элемент,  $N_2$  — установка нагревательного элемента на мембране,  $N_3$  — подключение нагревательного элемента к выходу усилителя,  $N_4$  — выполнение мембраны из металла с деформационной памятью. Структурная схема формулы изобретения нового решения приведена на рис. 3, б, признаки ограничительной части обведены штриховой линией.

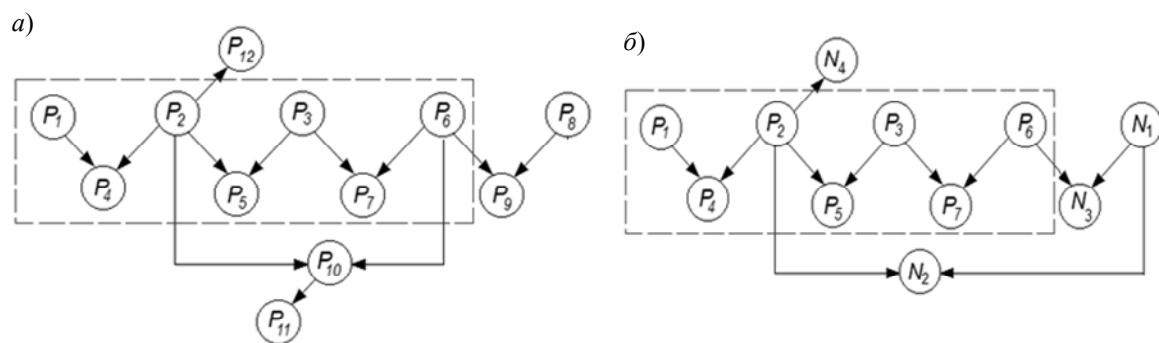


Рис. 3

По формулам (4)—(6) найдем численное значение  $F$  силы структур:

$$F(A \cap B) = \sum_{i=1}^7 F_i = (3 - 0,5) + (3 - 4 \cdot 0,5) + (3 - 2 \cdot 0,5) + 2 + 2 + (3 - 2 \cdot 0,5) = 11,5;$$

$$F(A - B) = \sum_{i=8}^{12} F_i = 3 + 2 + (2 - 0,5) + 1 + 1 = 7,0;$$

$$F(B - A) = \sum_{j=1}^4 F_j = (3 - 2 \cdot 0,5) + 2 + 2 + 1 = 8,5.$$

Далее по (3) находим степень нарушения симметрии

$$E = 11,5 / (11,5 + 7,0 + 8,5) = 0,426.$$

**Расчет степени асимметрии по информационно-энергетической схеме.** ИЭС датчика для нового решения (рис. 4) составляется на основе описания физического принципа действия устройства и конструкции (рис. 2, а).



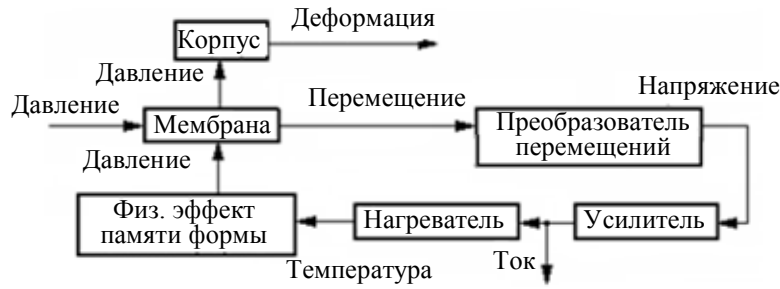


Рис. 4

Запишем размерности входных и выходных физических величин блоков схемы в системе Бартини: давление  $L^2T^{-4}$ , перемещение  $L^1T^0$ , напряжение  $L^2T^{-2}$ , ток  $L^3T^{-3}$ , температура  $L^5T^{-4}$ , деформация  $L^1T^0$ . Находим передаточные матрицы блоков как произведения выходных матриц на матрицы, обратные входным. Например, для мембраны входная, выходная и передаточная матрицы  $W$  имеют вид:

$$P = \begin{bmatrix} L^2 & 0 \\ 0 & T^{-4} \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} L^1 & 0 \\ 0 & T^0 \end{bmatrix}, W_3 = \begin{bmatrix} L^1 & 0 \\ 0 & T^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^2 & 0 \\ 0 & T^{-4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^4 \end{bmatrix},$$

где  $P$  — входная матрица (давление),  $S$  — выходная матрица (перемещение). Передаточные матрицы  $W_i$  остальных элементов рассчитаны аналогично и приведены на схеме имитационного моделирования размерностей (рис. 5) внутри соответствующих блоков. Произведение передаточных матриц замкнутого контура должно быть равно единичной матрице. Это условие применяется для проверки корректности составления схемы.

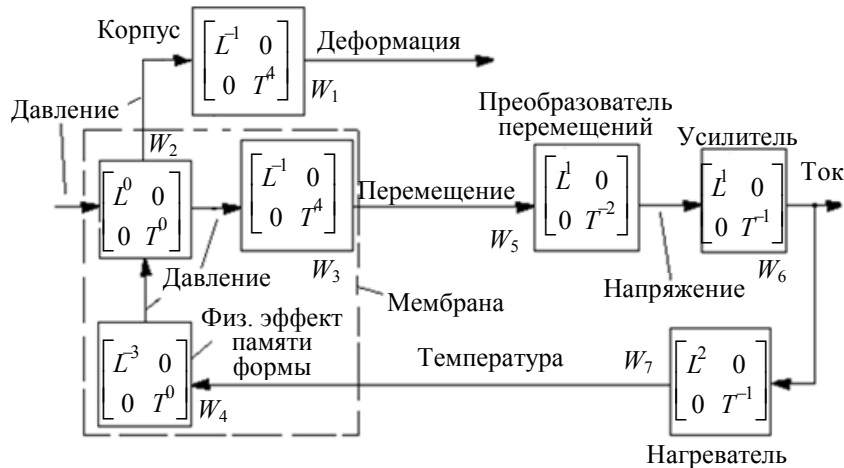


Рис. 5

ИЭС датчика для прототипа (рис. 6) составляется на основе описания физического принципа действия устройства и конструкции (рис. 2, б).



Рис. 6

На основании ИЭС прототипа находим передаточные матрицы элементов схемы аналогично передаточным матрицам для нового решения. Размерности частоты и натяжения в ба-

зисе Бартини равны  $L^0T^{-1}$  и  $L^3T^{-4}$  соответственно. Схема имитационного моделирования размерностей представлена на рис. 7.

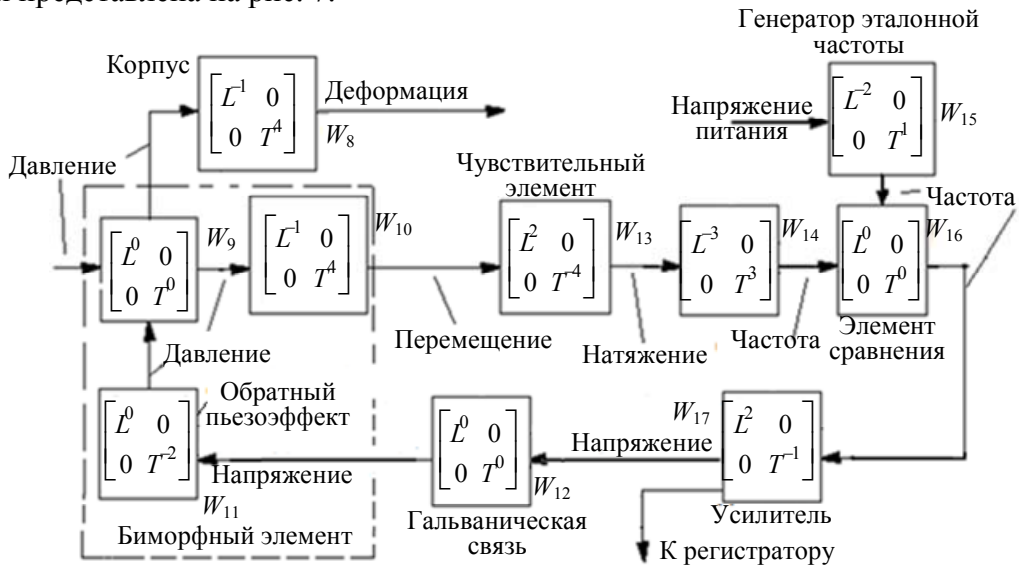


Рис. 7

Сравнивая схемы имитационного моделирования для нового решения и прототипа, находим симметричную часть, т.е. блоки с одинаковыми передаточными матрицами и взаимными связями:  $W_1=W_8$ ,  $W_2=W_9$ ,  $W_3=W_{10}$ . За этими матрицами стоят следующие признаки — корпус, в котором установлена мембрана с входом по измеряемому давлению и выходом по перемещению мембраны. Все они входят в ограничительную часть нового решения [21], т.е. принадлежат и прототипу [22]. Кроме того, в ограничительную часть входит и блок с матрицей  $W_5$  — преобразователь перемещений. Он присутствует и в новом решении, и в прототипе, только в прототипе он представлен в виде конкретной реализации из блоков с матрицами  $W_{13}, W_{14}, W_{15}, W_{16}, W_{17}$ . Учитывается их совокупность, математически — произведение, которое и дает  $W_5 = W_{13}W_{14}W_{16}W_{17}$ . По отдельности матрицы входят в формулу только прототипа, куда также добавляется генератор эталонной частоты  $W_{15}$ . Ресурсоемкость  $R_i$  блока с передаточной матрицей  $W_i = \begin{bmatrix} L^m & 0 \\ 0 & T^n \end{bmatrix}$  находим по формуле  $R_i = \sqrt{m^2 + n^2}$ . Далее рассчитываем функцию соответствия:

$$F(A \cap B) = R_1 + R_2 + R_3 + R_5 = \sqrt{(-1)^2 + 4^2} + \sqrt{0^2 + 0^2} + \sqrt{(-1)^2 + 4^2} + \sqrt{1^2 + (-2)^2} = 10,482.$$

Кроме блоков преобразователя перемещения в прототип входят блоки с матрицами  $W_{11}$  — обратный пьезоэффект биморфа, и  $W_{12}$  — гальваническая связь. Следовательно, функция соответствия для прототипа равна

$$F(A - B) = R_{13} + R_{14} + R_{15} + R_{16} + R_{17} - R_5 + R_{11} + R_{12} = \sqrt{2^2 + (-4)^2} + \sqrt{(-3)^2 + 3^2} + \sqrt{(-2)^2 + 1^2} + \sqrt{0^2 + 0^2} + \sqrt{2^2 + (-1)^2} - \sqrt{1^2 + (-2)^2} + \sqrt{0^2 + (-2)^2} + \sqrt{0^2 + 0^2} = 12,951.$$

Ресурсоемкость  $R_5$  вычитается, так как она уже учтена в  $R_{13} + R_{14} + R_{15} + R_{16}$ .

В отличительную часть нового решения входят блоки с матрицами  $W_4, W_6, W_7$ . Следовательно, функция соответствия равна

$$F(B - A) = R_4 + R_6 + R_7 = \sqrt{(-3)^2 + 0^2} + \sqrt{1^2 + (-1)^2} + \sqrt{2^2 + (-1)^2} = 6,650.$$

Далее по (3) находим степень нарушения симметрии

$$E = 10,482 / (10,482 + 12,951 + 6,650) = 0,348.$$

**Расчет некоторых показателей качества.** Определим коэффициент новизны  $K_n$  по формуле  $K_n = 1 - E$ , для оценки по структуре патентной формулы  $K_n = 1 - 0,426 = 0,574$ , для оценки по ИЭС  $K_n = 1 - 0,348 = 0,652$ . Как видно, оценки близки (разница примерно 12 %), что позволяет судить о достоверности методики. Чем выше коэффициент новизны, тем более новым является техническое решение, по сравнению с прототипом. Максимальная новизна соответствует идеальному решению  $K_n = 1$ , однако оно недостижимо. Близким к идеальному является так называемое пионерное изобретение, которое не имеет прототипа. В ограничительной части пионерного изобретения имеется только один признак — его название, которое не несет информации о конструкции устройства, а только задает его функцию. Например, „датчик давления, отличающийся тем, что...“, а далее следуют признаки отличительной части, позволяющие воспроизвести устройство.

По ИЭС определим коэффициент изменения затрат ресурсов  $K_3$  для решения изобретательской задачи как отношение затрат ресурсов пространства и времени нового решения к затратам для прототипа:

$$K_3 = [F(A \cap B) + F(B - A)] / [F(A \cap B) + F(A - B)] = (10,482 + 6,650) / (10,482 + 12,951) = 0,731.$$

При  $K_3 = 1$  затраты ресурсов одинаковы, при  $K_3 < 1$  затраты ресурсов в новом решении меньше, чем в прототипе, при  $K_3 > 1$  больше.

Наглядно изменение мощности затрат ресурсов можно представить диаграммой (рис. 8,  $a$  — новое решение,  $b$  — прототип).

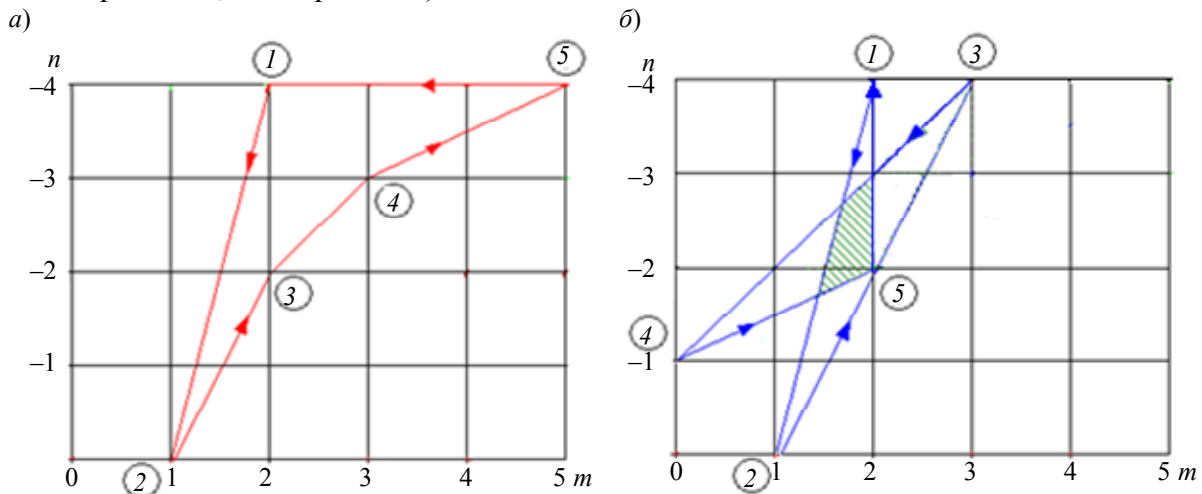


Рис. 8

Диаграмма строится на плоскости координат системы Бартини, где по оси абсцисс откладывается показатель степени  $m$  в размерности длины  $L^m$ , по оси ординат — показатель степени  $n$  в размерности времени  $T^n$ . Для построения используем схему имитационного моделирования размерностей (рис. 5 и 7). Например, для нового решения начинаем строить диаграмму из начала координат (точка 1 на рис. 8,  $a$ ), строя вектор входной величины — давления до точки 2 с координатами  $n = 2, m = -4$ , так как давление имеет размерность  $L^2T^{-4}$ . Следующей величиной на рис. 6, после преобразования в  $W_3$ , является перемещение, вектор которого начинается в начале координат 1 и оканчивается в точке 3 на рис. 8,  $a$ . Поэтому проводим линию из точки 2 в точку 3 и так далее. Таким образом, линия преобразования давление → перемещение → напряжение → ток → температура → давление геометрически представляется ломаной  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 1$ , образующей многоугольник площадью  $3,5 \text{ м} \times \text{с}$ . В системе Бартини физическая величина с такой размерностью называется длительностью расстояния и может рассматриваться как оценка затрат мощности ресурсов пространства и времени, необходимых для описания формулы изобретения в виде ИЭС.

Для прототипа диаграмма (рис. 8, б) строится аналогично, в виде линии через точки  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 1$ , отражающей процесс преобразования давление  $\rightarrow$  перемещение  $\rightarrow$  натяжение  $\rightarrow$  частота  $\rightarrow$  напряжение  $\rightarrow$  давление. Как следует из рисунка, диаграмма мощности затрат для прототипа состоит из двух треугольников: первый — с вершинами 1, 2, 5 и площадью  $1,0 \text{ м} \times \text{с}$ , второй — с вершинами 3, 4, 5 и с площадью  $1,5 \text{ м} \times \text{с}$ , частично наложенный на первый треугольник. Наложённая часть на рис. 8, б заштрихована, она имеет площадь  $0,4 \text{ м} \times \text{с}$  и означает избыточность мощности затрат на формулу изобретения прототипа.

Таким образом, новое решение требует меньше ресурсов, но оно мощней прототипа.

**Заключение.** Предложенная методика численной оценки новизны пригодна не только для патентов, но и других видов описания технических систем, в которых приводится информация о физическом принципе действия. Ограничения касаются только информации численного характера, т.е. в случае датчика давления неизвестны величина, диапазон, скорость изменения измеряемого давления, другие численные характеристики, например, коэффициент усиления усилителя или величина выходного напряжения и т.п. Заданные численные значения ограничивают выбор принципа действия, например, заставляют выбирать вместо мембранного типа пьезодатчик давления.

Методика предполагает, что в патенте защищается конструкция, а не химический состав вещества как, например, в фармакологии, или физический состав, как в сплавах.

Оценка мощности затрат пространства и времени возможна только для замкнутых контуров в ИЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yuejun He and Jianxi Luo. The novelty „sweet spot“ of invention. Cambridge University Press, 07 November 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.23>.
2. Dongwook Hwang and Kristin Lee Woo. Assessing the Novelty of Design Outcomes: Using a Perceptual Kernel in a Crowd-sourced Setting // Design Computing and Cognition DCC'20. Springer, 2020. P. 411—422. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90625-2\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90625-2_24).
3. Fiorineschi L., Frillici F. S. & Rotini F. Refined metric for a-posteriori novelty assessments // Journal of Engineering Design. 2021. Vol. 33, N 03. P. 1—25. DOI:10.1080/09544828.2021.1976397.
4. Сибиряков В. Г. Прогнозирование тенденций развития технических систем как основа инновационной деятельности // Докл. на III Междунар. форуме-фестивале "Интеллектуальная собственность для будущего. IPfF-2022. СПб, 21 апреля 2022 г. [Электронный ресурс]: <<https://ipforfuture.com/presentations2022>>.
5. Альтишуллер Г. С. Найти идею: Введение в ТРИЗ — теорию решения изобретательских задач. М.: Альпина-Бизнес-Букс, 2007. 400 с.
6. Rothenberg A. The emerging goddess: the creative process in art, science, and other fields // Journal of Aesthetics and Art Criticism. 1980. Vol. 39, N 2. P. 206—209.
7. Горский Ю. М. Основы гомеостатики. Гармония и дисгармония в живых, природных, социальных и искусственных системах. Иркутск: ИГЭА, 1998. 337 с.
8. Повилейко Р. П. Симметрия в технике. Новосибирск: Новосибирский электротехнический институт (НЭТИ), 1970. 130 с.
9. Бушуев А. Б., Бажин В. Ю., Литвинов Ю. В., Петров В. А., Мансурова О. К. Биологическая модель поиска решения изобретательской задачи // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 9. С. 851—859. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-9-851-859.
10. Shannon C. E. A Mathematical theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. P. 379—423.
11. Глушков В. М. О кибернетике как науке // Кибернетика, мышление, жизнь / Под ред. А. И. Берга и др. М.: Мысль, 1964. 511 с.
12. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.: Мир, 1990. 344 с

13. Tversky A. Features of Similarity // Psychological Review. Jerusalem, Israel: Hebrew University, 1977. Vol. 84, N 4. P. 327—352.
14. Brown D. C. A Brief Review of Approaches to Design Novelty Assessment. Computer Science Technical Report Series. Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts 01609-2280. January 14, 2021.
15. Ткалич В. Л., Лабковская Р. Я., Пирожникова О. И., Коробейников А. Г., Симоненко З. Г., Монахов Ю. С. Патентование и защита интеллектуальной собственности. СПб: Университет ИТМО, 2015. 171 с.
16. Бушуев А. Б. Применение методов технического творчества в инновационной деятельности. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 124 с.
17. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества. СПб: Лань, 2022. 364 с.
18. Litvinov Y. V., Bushuev A. B., Litvinov E. Y. Graphic Synthesis of the Operating Physical Principle of Control and Measuring Devices // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2021). 2021. P. 9470754.
19. Бартини Р. О., Кузнецов П. Г. О множественности геометрий и множественности физик // Проблемы и особенности современной научной методологии. Свердловск: АН СССР, Урал. науч. центр, 1978. С. 55—65.
20. Бушуев А. Б. Численная оценка информационно-энергетических схем измерительных устройств // Измерительная техника. 2017. № 9. С. 3—7. DOI: 10.32446/0368-1025it.2017-9-3-7.
21. А.с. СССР № 1472773. Датчик давления / А. С. Блайвас, Н. В. Филиппова, А. П. Штыков. 24.08.1987.
22. А.с. СССР № 885844. Датчик давления / Г. С. Алексеев, Р. И. Королева, В. А. Павленко, А. Б. Релин, В. Е. Сенкевич, Ю. А. Турицын. 30.11.1981.

#### Сведения об авторах

- Александр Борисович Бушуев** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники; E-mail: bushuev@inbox.ru
- Наталья Александровна Дударенко** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники; E-mail: dudarenko@mail.ifmo.ru
- Юрий Володарович Литвинов** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Институт информационных технологий в электромеханике и робототехнике; E-mail: yurl13@yandex.ru
- Ольга Карибековна Мансурова** — канд. техн. наук, доцент; Национальный минерально-сырьевой университет „Горный“, кафедра автоматизации технологических процессов и производств; E-mail: Mansurova\_OK@pers.spmi.ru

Поступила в редакцию 07.06.2022; одобрена после рецензирования 07.09.2022; принята к публикации 31.10.2022.

#### REFERENCES

1. Yuejun He and Jianxi Luo, *The novelty 'sweet spot' of invention*, Cambridge University Press, 07 November 2017, DOI: <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.23>.
2. Dongwook Hwang and Kristin Lee Woo, *Design Computing and Cognition DCC'20*, Springer, 2020, pp. 411–422, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90625-2\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90625-2_24).
3. Fiorineschi L., Frillici F.S. & Rotini F. *Journal of Engineering*, 2021, no. 03(33), pp. 1–25, DOI: 10.1080/09544828.2021.1976397.
4. Sibiriyakov V.G. *Intellektual'naya sobstvennost' dlya budushchego. IPfF-2022 (Intellectual Property for the Future. IPfF-2022)*, Report at the III International Forum-Festival, St. Petersburg, April 21, 2022. (in Russ.)
5. Al'tshuller G.S. *Nayti ideyu: Vvedeniye v TRIZ – teoriyu resheniya izobretatel'skikh zadach (Find an Idea: Introduction to TRIZ – Theory of Inventive Problem Solving)*, Moscow, 2007, 400 p. (in Russ.)
6. Rothenberg A. *Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 1980, no. 2(39), pp. 206–209.
7. Gorskiy Yu.M. *Osnovy gomeostatiki. Garmoniya i disgarmoniya v zhivyykh, prirodnykh, sotsial'nykh i iskusstvennykh sistemakh (The Basics of Homeostatics. Harmony and Disharmony in Living, Natural, Social and Artificial Systems)*, Irkutsk, 1998, 337 p. (in Russ.)
8. Povileyko R.P. *Simmetriya v tekhnike (Symmetry in Engineering)*, Novosibirsk, 1970, 130 p. (in Russ.)
9. Bushuev A.B., Bazhin V.Yu., Litvinov Yu.V., Petrov V.A., Mansurova O.K. *Journal of Instrument Engineering*, 2019, no. 9(62), pp. 851–859, DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-9-851-859. (in Russ.)
10. Shannon C.E. *Bell System Technical Journal*, 1948, vol. 27, pp. 379–423.
11. Glushkov V.M. *O kibernetike kak nauke, V sb. Kibernetika, myshleniye, zhizn' (On Cybernetics as a Science, In Sat. Cybernetics, Thinking, Life)*, Moscow, 1964, 511 p. (in Russ.)
12. Nicolis G., Prigogine I. *Exploring Complexity*, St. Martin's Press, 1989, 328 p.

13. Tversky A. *Psychological Review*, Hebrew University, Jerusalem, Israel, 1977, no. 4(84), pp. 327–352.
14. Brown D.C. *A Brief Review of Approaches to Design Novelty Assessment. Computer Science Technical Report Series*, Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts 01609-2280, January 14, 2021.
15. Tklich V.L., Labkovskaya R.Ya., Pirozhnikova O.I., Korobeynikov A.G., Simonenko Z.G., Monakhov Yu. S. *Patentovedeniye i zashchita intellektual'noy sobstvennosti* (Patenting and Protection of Intellectual Property), St. Petersburg, 2015, 171 p. (in Russ.)
16. Bushuev A.B. *Primeneniye metodov tekhnicheskogo tvorchestva v innovatsionnoy deyatel'nosti* (Application of the Methods of Technical Creativity in Innovation, 2010, 124 p. (in Russ.)
17. Polovinkin A.I. *Osnovy inzhenernogo tvorchestva* (Fundamentals of Engineering Creativity), St. Petersburg, 2022, 364 p. (in Russ.)
18. Litvinov Y.V., Bushuev A.B., Litvinov E.Y. *Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2021)*, 2021, pp. 9470754.
19. Bartini R.O., Kuznetsov P.G. *O mnozhestvennosti geometriy i mnozhestvennosti fizik. Problemy i osobennosti sovremennoy nauchnoy metodologii* (On the Multiplicity of Geometries and the Multiplicity of Physicists. Problems and Features of Modern Scientific Methodology), Sverdlovsk, 1978, pp. 55–65. (in Russ.)
20. Bushuev A.B. *Measurement Techniques*, 2017, no. 9(60), pp. 857–862.
21. Certificate of authorship USSR 1472773, *Datchik davleniya* (Pressure Sensor), A.S. Blaivas, N.V. Filippova, A.P. Shtykov, 24.08.1987. (in Russ.)
22. Certificate of authorship USSR 885844, *Datchik davleniya* (Pressure Sensor), G.S. Alekseev, R.I. Koroleva, V.A. Pavlenko, A.B. Relin, V.E. Senkevich, Yu.A. Turitsyn, 30.11.1981. (in Russ.)

#### Data on authors

<b>Alexander B. Bushuev</b>	—	PhD, Associate Professor; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: bushuev@inbox.ru
<b>Natalia A. Dudarenko</b>	—	PhD, Associate Professor; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: dudarenko@mail.ifmo.ru
<b>Yury V. Litvinov</b>	—	PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Institute of Information Technologies in Electromechanics and Robotics; E-mail: yur13@yandex.ru
<b>Olga K. Mansurova</b>	—	PhD, Associate Professor; St. Petersburg Mining University, Department of Automation of Technological Processes and Production; E-mail: Mansurova_OK@pers.spmi.ru

Received 07.06.2022; approved after reviewing 07.09.2022; accepted for publication 31.10.2022.