

УДК 620.165.29; 620.179.1; 620.1.08

doi: 10.18698/0536-1044-2021-1-34-40

## Датчики быстроизменяющегося давления на основе силового действия струи

В.А. Макаров<sup>1</sup>, Ф.А. Королев<sup>1</sup>, Р.Е. Тютяев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МИРЭА — Российский технологический университет

<sup>2</sup> ООО «Электротехническая компания «Эко Свет»

## Sensors of Rapidly Changing Pressure Based on Jet Force

V.A. Makarov<sup>1</sup>, F.A. Korolev<sup>1</sup>, R.E. Tyutyayev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MIREA – Russian Technological University

<sup>2</sup> ООО Electrotechnical Company Eko Svet

Статические и динамические характеристики быстродействующих пневматических цифровых систем определяют с помощью пневмогальванометрических датчиков, состоящих из пневмооптических преобразователей, электрических мостовых или дифференциальных схем и магнитоэлектрических гальванометров. Изложены материалы теоретического и экспериментального исследований пневмооптического преобразователя, принцип действия которого основан на использовании эффекта силового действия струи на пластину ограниченных размеров, соизмеримых с площадью контакта струи и пластины. На основании равенства момента силы действия струи и противодействующего момента растяжки, на которой закреплена пластина, определены чувствительность пневмооптического преобразователя и другие статические характеристики: линейность, диапазон измерения и иные параметры, необходимые для расшифровки показаний, вычисления погрешности и калибровки шкалы. Собственная частота достаточна для контроля динамических процессов, управляемых пневматическими системами. Для проектирования преобразователя предложено использовать совокупный критерий добротности, равный произведению чувствительности на квадрат собственной частоты. Значение добротности позволяет определить оптимальные конструктивные параметры, обеспечивающие приемлемые статические и динамические характеристики. Для подтверждения применимости теоретического расчета проведены экспериментальные исследования.

**Ключевые слова:** контроль, чувствительность пневмооптического преобразователя, силовое действие струи, датчики быстроизменяющегося давления, статические и динамические характеристики

Static and dynamic characteristics of rapid response pneumatic digital systems are determined with the help of pneumatic-galvanometric sensors that consist of pneumatic optical converters, electrical bridge circuits and magnetoelectric galvanometers. This paper presents theoretical and experimental studies of the pneumatic optical converter whose mode of operation is based on the jet force effect on a plate of limited dimensions commensurate with the dimensions of the contact area between the jet and the plate. The investigations are based on the equality of moments of the jet force and the counter-moment of the rod that the plate is fixed on. The sensitivity and other static characteristics of the converter (linearity, measurement range) as well as other parameters necessary for interpreting the readings, calculating errors and calibrating the scale are determined. The natural frequency is sufficient to control dynamic processes controlled by pneumatic systems. For the design of converters, it is proposed to use the aggregate criterion of the quality factor that equals the product of the sensitivity and the natural frequency squared. The performed calculations are verified by experiments.

**Keywords:** control, sensitivity of pneumo-optical transducer, force action of a jet, sensors of rapidly changing pressure, static and dynamic characteristics

Для контроля быстроизменяющегося давления могут быть применены пневмогальванометрические датчики, основанные на эффекте силового действия струи на пластину, размеры которой соизмеримы с площадью контакта струи и пластины [1]. Структурная схема пневмогальванометрического датчика давления состоит из трех звеньев: пневмооптического преобразователя (ПОП) 1, электрической мостовой или дифференциальной схемы 2 и магнитоэлектрического гальванометра 3 (рис. 1).

Описание и расчеты второго и третьего звеньев достаточно полно представлены в литературе [2–4], поэтому будем рассматривать только третье звено — ПОП.

Цель работы — определение статических и динамических характеристик, влияющих на работу ПОП, и вывод формул для расчета чувствительности и собственной частоты ПОП, работа которого основана на силовом действии струи.

Принцип действия ПОП заключается в следующем (рис. 2). Струя воздуха, вытекающая из сопла 1 под давлением  $p_0$ , отклоняет пластину 4, закрепленную на растяжке 3, которая натянута до усилия  $R$  с помощью пружины 5. На поверхности пластины закреплено зеркальце 2. Угол поворота пластины  $\Phi$  пропорционален давлению струи воздуха. Его измеряют обычным способом, применяемым в осциллографе для визуального наблюдения.

Чтобы оценить чувствительность ПОП к изменению давления струи, рассмотрим его статическую характеристику. Под действием струи на пластину ПОП возникает противодействующий момент со стороны растяжки

$$M_D = D\Phi, \tag{1}$$

где  $D$  — противодействующий момент на единицу угла поворота.

С другой стороны на пластину действует момент давления струи воздуха, который поворачивает ее вокруг оси вращения:

$$M_p = pSr, \tag{2}$$

где  $p$  — давление струи на эффективную площадь  $S$  (назовем ее площадью следа струи);  $r$  — расстояние геометрического центра следа струи от оси вращения.

Угол поворота пластины от исходного положения можно выразить через отклонение отра-

женного луча на осциллографе. С учетом удвоения угла, которое свойственно прибору со световым указателем, отклонение отраженного луча на осциллографе определяется выражением

$$y = l \operatorname{tg} 2\varphi,$$

где  $l$  — длина светового указателя.

При малых значениях угла поворота пластины можно записать

$$y = 2l\varphi. \tag{3}$$

Из уравнений (1)–(3) определим чувствительность ПОП к давлению. Отнесем отклонение светового указателя к давлению  $p$  и с учетом равенства моментов  $M_D = M_p$  получим

$$H_p = \frac{y}{p} = 2l \frac{Sr}{D}. \tag{4}$$

Противодействующий момент для растяжки круглого сечения [5]

$$D = \frac{GJ_p}{L}, \tag{5}$$

где  $G$  — модуль упругости;  $J_p$  — полярный момент инерции;  $L$  — длина растяжки.

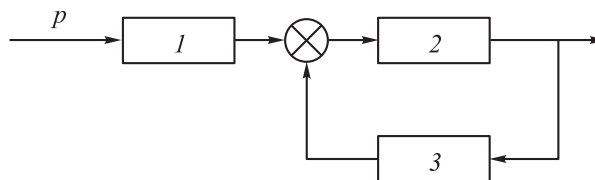


Рис. 1. Структурная схема пневмогальванометрического датчика контроля давления

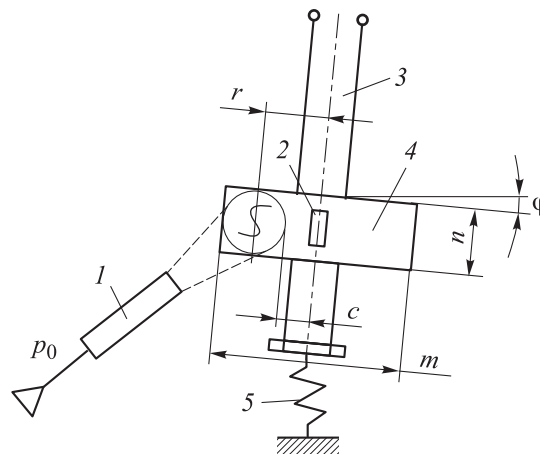


Рис. 2. Схема пневмооптического преобразователя

С учетом того, что подвижная система ПОП закреплена на двух растяжках одинаковой длины вместо длины растяжки  $L$  в формулу (5) подставим  $L/2$ . Тогда формула для чувствительности ПОП (4) приобретает вид

$$H_p = \frac{lSrL}{GJ_p}.$$

Полярный момент инерции для круглого сечения примем равным  $\pi d^4/2$ . В этом случае чувствительность ПОП

$$H_p = 2 \frac{lSrL}{\pi Gd^4}$$

или

$$H_p = 0,637 \frac{lSrL}{Gd^4}, \quad (6)$$

где  $d$  — диаметр растяжки круглого сечения.

Таким образом, основное влияние на повышение чувствительности ПОП оказывает диаметр растяжки  $d$ , который можно определить по заданной чувствительности из уравнения (6):

$$d = \sqrt[4]{0,637 \frac{lSrL}{H_p G}}.$$

Сила натяжения растяжки регулируется натягом пружины (см. рис. 2). Из расчета пружин растяжения известно [6], что

$$\lambda = \frac{8RD_b^3 i}{Gd^4},$$

где  $\lambda$  — перемещение пружины при натяге;  $D_b$  — диаметр витка;  $i$  — число витков.

Отсюда усилие

$$R = \lambda \frac{Gd^4}{8D_b^3 i}.$$

Максимальное перемещение пружины при натяге имеет вид

$$\lambda_{\max} = h_{\max} - h_0,$$

где  $h_{\max}$  и  $h_0$  — длина пружины после и до натяжения.

Динамические характеристики преобразователя отражаются в совокупном критерии его чувствительности и собственной частоты. При быстропеременных процессах вращение поворотной части ПОП описывается неоднородным линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами [7–9]

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + b \frac{d\varphi}{dt} + D\varphi = M_D(t), \quad (7)$$

где  $J$  — общий момент инерции подвижной части;  $b$  — коэффициент успокоения;  $t$  — реальное время.

Первый член этого уравнения  $J d^2 \varphi / dt^2$ , отражающий ускорение при повороте подвижной части ПОП, равен произведению момента инерции на угловое ускорение. Второй член  $b d\varphi / dt$  представляет собой момент успокоения, пропорциональный угловой скорости. Заменяем в уравнении (7) угол поворота подвижной части ПОП  $\varphi$  отклонением светового указателя  $y$ . С учетом выражения (3) уравнение (7) запишется как

$$J \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + Dy = 2lM_D(t). \quad (8)$$

Зная характер движения пластины ПОП, можно найти зависимость его чувствительности от частоты собственных колебаний. Известно [10–12], что измерение будет тем точнее, чем выше собственная частота  $f_0$ . Три коэффициента в левой части уравнения (8) приведем к одному, поделив обе части на общий момент инерции  $J$  и обозначив

$$D/J = \omega_0^2,$$

где  $\omega_0$  — собственная круговая частота.

Тогда уравнение (8) приобретает вид

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{b}{J} \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = 2l \frac{\omega_0^2}{D} M_D(t). \quad (9)$$

Реальное время  $t$  заменим на

$$\tau = \omega_0 t.$$

В результате проведенных замен получим

$$\frac{d^2 y}{d\tau^2} + 2\alpha \frac{dy}{d\tau} + y = y_0(\omega_0 t), \quad (10)$$

где  $\alpha$  — степень успокоения,  $\alpha = b/2l\omega_0$  [13];  $y_0$  — отклонение на осциллограмме при стационарном значении измеряемого давления.

Принимая во внимание уравнения (9) и (10), можно записать

$$y_0(\omega_0 t) = 2l \frac{M_D(t)}{D}.$$

В статическом состоянии подвижной части устанавливается исходное положение, соответствующее выражению

$$y = y_0(\omega_0 t).$$

При степени успокоения  $\alpha = 0$  подвижная часть ПОП совершает свободные колебания, и уравнение (10) приобретает вид

$$\frac{d^2 y}{d\tau^2} + y = 0.$$

Решив это уравнение с учетом начальных условий  $y(0) = y_0$ , получим выражение для гармонического колебания с собственной круговой частотой

$$y = y_0 \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right).$$

Собственная частота незатухающих колебаний [10]

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{J}}. \quad (11)$$

Чувствительность ПОП к изменению давления является его статической характеристикой, а степень успокоения  $\alpha$  и собственная частота  $f_0$  — динамическими.

Из уравнений (4) и (11) следует

$$H_p = \frac{1}{2\pi^2} l \frac{Sr}{f_0^2 J},$$

т. е. чувствительность по давлению обратно пропорциональна квадрату собственной частоты, и поэтому высокочастотные ПОП менее чувствительны.

Для удовлетворения требований по чувствительности и быстродействию, возникающих в практике измерений быстроизменяющихся процессов, приходится принимать компромиссное решение и изготавливать ПОП с различными статическими и динамическими параметрами.

В качестве совокупного критерия чувствительности и собственной частоты введем понятие добротности [14, 15] ПОП по давлению:

$$A_p = H_p f_0^2 = \frac{1}{2\pi^2} l \frac{Sr}{J}. \quad (12)$$

Площадь следа струи и общий момент инерции, зависящий от параметров пластин, определяются соответствующими выражениями:

$$S = \frac{\pi n^2}{4};$$

$$J = \rho \frac{m^2 n \delta}{12},$$

где  $n$  и  $m$  — ширина и длина пластины (см. рис. 2);  $\rho$  и  $\delta$  — плотность материала и толщина пластины.

В соответствии с рис. 2 длина пластины  $m$  и расстояние  $r$  геометрического центра следа струи от оси вращения выразим через ширину пластины  $n$  и расстояние  $c$  от продольной оси до внутреннего края следа струи:

$$m = 2(n + c); \quad (13)$$

$$r = \frac{n}{2} + c. \quad (14)$$

После подстановки формул (13) и (14) в выражение (12) получим

$$A_p = K_p \frac{n(n+2c)}{(n+c)^3}, \quad (15)$$

где

$$K_p = \frac{2,12 \cdot 10^{-2}}{\rho J}. \quad (16)$$

Из выражений (15) и (16) следует, что для увеличения добротности ПОП необходимо уменьшать плотность материала пластины  $\rho$  и ее толщину  $\delta$ . При заданном значении произведения  $\rho\delta$  добротность ПОП определяется шириной пластины  $n$  и расстоянием от продольной оси до края следа струи.

На рис. 3 приведены построенные по формуле (15) зависимости относительной добротности  $A_p/K_p$  от расстояния  $c$  при ширине пластины  $n = 0,6, 0,8$  и  $1,0$  мм. Как видно из рис. 3, для повышения добротности необходимо уменьшать ширину пластины  $n$  и (по возможности) приближать ось сопла к продольной оси ПОП (см. рис. 2), сокращая длину пластины  $m$ .

Чувствительность ПОП зависит от отношения рабочей длины растяжки к ее натяжению и

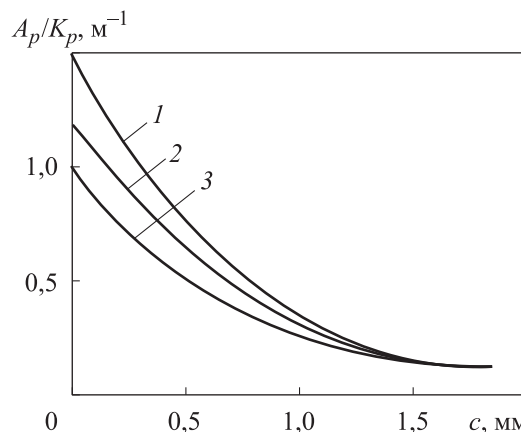


Рис. 3. Зависимость относительной добротности ПОП  $A_p/K_p$  от расстояния  $c$  при ширине пластины  $n = 0,6$  (1),  $0,8$  (2) и  $1,0$  мм (3)

### Расчетные и экспериментальные значения чувствительности и собственной частоты ПОП

Длина растяжки $L \cdot 10^2$ , м	Чувствительность $H_p \cdot 10^4$ , м/Па	Собственная частота $f_0$ , Гц
4,5	0,90/0,80	120/107
3,1	0,60/0,54	160/146
3,1	0,50/0,45	172/155
4,5	2,90/2,60	75/67
Примечание. В числителе дроби указаны расчетные значения, в знаменателе — экспериментальные.		

расстоянию между осями растяжек, а квадрат собственной частоты ПОП от отношения натяжения и расстояния между осями растяжек к их рабочей длине.

Для подтверждения теоретического расчета ПОП проведена экспериментальная проверка статических и динамических характеристик нескольких пневмогальванометрических датчиков давления. В таблице приведены значения чувствительности и собственной частоты, рассчитанные по формулам (6), (11) и полученные экспериментальным путем.

Экспериментальные исследования проведены при следующих параметрах: диаметр сопла  $d_c = 1,5 \cdot 10^{-4}$  м; длина пластины  $m = 4 \cdot 10^{-3}$  м; ширина пластины  $n = 2 \cdot 10^{-3}$  м; толщина пла-

стины  $\delta = 1 \cdot 10^{-4}$  м; площадь следа струи  $S = 2,8 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>; расстояние следа струи от оси  $r = 2 \cdot 10^{-3}$  м; плотность материала пластины  $\rho = 7,1$  кг/м<sup>3</sup>; модуль сдвига  $G = 2,1 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>; общий момент инерции  $J = 1,13 \cdot 10^{-18}$  Н·м<sup>2</sup>.

Анализ данных таблицы позволяет заключить следующее:

- различие расчетных и экспериментальных результатов не превышает 10 %;
- с уменьшением рабочей длины растяжки чувствительность ПОП снижается, а собственная частота увеличивается.

### Выводы

1. Проведены и проверены теоретические расчеты, которые могут быть применены при разработке различных устройств, работающих по принципу эффекта силового действия струи.

2. Показано, что статические и динамические характеристики таких устройств можно определять с помощью совокупного критерия чувствительности и собственной частоты — добротности.

3. Чувствительность ПОП зависит от ширины, длины и толщины пластины, а также от расстояния от сопла до пластины, что следует учитывать при проектировании датчика.

### Литература

- [1] Макаров В.А., Королев Ф.А., Тютяев Р.Е., Макаров А.В. Датчик регистрации пневмоимпульсов низкого давления. Патент № 2713087С1 РФ, 2020, бюл. № 4.
- [2] Коробов В.Б. Теория и практика экспертных методов. Москва, ИНФРА-М, 2019. 281 с.
- [3] Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. Москва, Изд-во МЭИ, 2005. 460 с.
- [4] White F.M. *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill, New York, 2008. 885 p.
- [5] Мордасов М.М., Савенков А.П., Чечетов К.Е. Определение коэффициента расхода при истечении газа из отверстий малого диаметра. *Инженерная физика*, 2014, № 1, с. 13–18.
- [6] Farmer T. *Structural Studies of Liquids and Glasses Using Aerodynamic Levitation*. Springer International Publishing, XIV, 2015. 113 p.
- [7] Becher T., Neubert M., Rothne L., Shao D.Y. Effective field theory for jet processes. *Phys. Rev. Lett.*, 2016, vol. 116, no. 19, doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.192001>
- [8] Pritchard P.J. *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons Inc., New York, 2011. 899 p.
- [9] Hwang H.Y., Irons G.A. A Water Model Study of Impinging Gas Jets on Liquid Surfaces. *Metallurgical and Materials Transactions*, 2012, vol. 43, pp. 302–315.
- [10] Iulia R.D., Ioana L.O., Diana B., Corneliu B. Impact of Newtonian Liquid Jets on Smooth and Patterned Solid Walls. *Energy Procedia*, 2017, vol. 112, pp. 186–193, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2017.03.1081
- [11] Blaizot J.-P., Mehtar-Tani Y. Renormalization of the jet-quenching parameter. *Journal of Physics Conference Series*, 2015, vol. 612(1), pp. 202–229, doi: 10.1088/1742-6596/612/1/012003

- [12] Camassa R., Lin Z., McLaughlin R.M., Mertens K., Tzou C., Walsh J., White B. Optimal mixing of buoyant jets and plumes in stratified fluids: theory and experiments. *Journal of Fluid Mechanics*, 2016, vol. 790, pp. 71–103, doi: <https://doi.org/10.1017/jfm.2015.720>
- [13] Чечетов К.Е. О взаимодействии турбулентной струи газа с поверхностью жидкости. *Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент. Матер. 7-й Междунар. науч.-инновационной молодежн. конф.*, Тамбов, 28–30 октября 2015, Тамбов, Тамбовский государственный технический университет, 2015, с. 274–276.
- [14] Стрелков С.П. *Введение в теорию колебаний*. Москва, Наука, 1964. 438 с.
- [15] Макаров В.А., Тютяев Р.Е., Асадова Ю.С. Добротность автоматических газоаналитических течейскателей. *Scientific Review. Proceedings of the international scientific conference*, Karlovy Vary–Moscow, 29–30 мая 2015, с. 70–81.

## References

- [1] Makarov V.A., Korolev F.A., Tyutyayev R.E., Makarov A.V. *Datchik registratsii pnevmoimpul'sov nizkogo davleniya* [Low pressure pneumatic pulse detection sensor]. Patent no. 2713087C1 RF, 2020.
- [2] Korobov V.B. *Teoriya i praktika ekspertnykh metodov* [Theory and practice of expert methods]. Moscow, INFRA-M publ., 2019. 281 p.
- [3] Ivanova G.M., Kuznetsov N.D., Chistyakov V.S. *Teplotekhnicheskiye izmereniya i pribory* [Heat engineering measurements and devices]. Moscow, MPEI publ., 2005. 460 p.
- [4] White F.M. *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill, New York, 2008. 885 p.
- [5] Mordasov M.M., Savenkov A.P., Chechetov K.E. The determination of discharge coefficient during gas flowing out of the round-edged small diameter orifices. *Engineering Physics*, 2014, no. 1, pp. 13–18 (in Russ.).
- [6] Farmer T. *Structural Studies of Liquids and Glasses Using Aerodynamic Levitation*. Springer International Publishing, XIV, 2015. 113 p.
- [7] Becher T., Neubert M., Rothne L., Shao D.Y. Effective field theory for jet processes. *Phys. Rev. Lett.*, 2016, vol. 116, no. 19, doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.192001>
- [8] Prit-shard P.J. *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons Inc., New York, 2011. 899 p.
- [9] Hwang H.Y., Irons G.A. A Water Model Study of Impinging Gas Jets on Liquid Surfaces. *Metallurgical and Materials Transactions*, 2012, vol. 43, pp. 302–315.
- [10] Iulia R.D., Ioana L.O., Diana B., Corneliu B. Impact of Newtonian Liquid Jets on Smooth and Patterned Solid Walls. *Energy Procedia*, 2017, vol. 112, pp. 186–193, doi: [10.1016/J.EGYPRO.2017.03.1081](https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.03.1081)
- [11] Blaizot J.-P., Mehtar-Tani Y. Renormalization of the jet-quenching parameter. *Journal of Physics Conference Series*, 2015, vol. 612(1), pp. 202–229, doi: [10.1088/1742-6596/612/1/012003](https://doi.org/10.1088/1742-6596/612/1/012003)
- [12] Camassa R., Lin Z., McLaughlin R.M., Mertens K., Tzou C., Walsh J., White B. Optimal mixing of buoyant jets and plumes in stratified fluids: theory and experiments. *Journal of Fluid Mechanics*, 2016, vol. 790, pp. 71–103, doi: <https://doi.org/10.1017/jfm.2015.720>
- [13] Chechetov K.E. On the interaction of a turbulent gas jet with a liquid surface. *Sovremennyye tverdogfaznyye tekhnologii: teoriya, praktika i innovatsionnyy menedzhment. Mater. VII Mezhdunar. nauch.-innovatsionnoy molodezhnoy konf.* [Modern solid-phase technologies: theory, practice and innovation management. Materials VII International scientific conference]. Tambov, 2015, pp. 274–276.
- [14] Strelkov S.P. *Vvedeniye v teoriyu kolebaniy* [Introduction to the theory of oscillations]. Moscow, Nauka publ., 1964. 438 p.
- [15] Makarov V.A., Tyutyayev R.E., Asadova Yu.S. Q-factor of automatic gas-analytical leak detectors. *Scientific Review. Proceedings of the international scientific conference*, Karlovy Vary–Moscow, 2015, pp. 70–81.

## Информация об авторах

**МАКАРОВ Валерий Анатольевич** — доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленная информатика». МИРЭА — Российский технологический университет (119454, Москва, Российская Федерация, пр. Вернадского, д. 78, e-mail: himtest@mail.ru).

**КОРОЛЕВ Филипп Андреевич** — аспирант кафедры «Промышленная информатика». МИРЭА — Российский технологический университет (119454, Москва, Российская Федерация, пр. Вернадского, д. 78, e-mail: krusnik007@mail.ru).

**ТЮТЯЕВ Роман Евгеньевич** — заместитель директора по развитию. ООО «Электротехническая компания «Эко Свет» (125493, Москва, Российская Федерация, ул. Смольная, д. 14, e-mail: roman.tyutyayev@gmail.com).

## Information about the authors

**MAKAROV Valeriy Anatolievich** — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Industrial Informatics. MIREA — Russian Technological University (119454, Moscow, Russian Federation, Vernadskiy Ave., Bldg. 78, e-mail: himtest@mail.ru).

**KOROLEV Filipp Andreevich** — Postgraduate, Department of Industrial Informatics. MIREA — Russian Technological University (119454, Moscow, Russian Federation, Vernadskiy Ave., Bldg. 78, e-mail: krusnik007@mail.ru).

**TYUTYAEV Roman Evgenievich** — Deputy Development Director. ООО Electrotechnical Company Eko Svet (125493, Russian Federation, Moscow, Smolnaya St., Bldg. 14, e-mail: roman.tyutyayev@gmail.com).

### Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Макаров В.А., Королев Ф.А., Тютяев Р.Е. Датчики быстроизменяющегося давления на основе силового действия струи. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 1, с. 34–40, doi: 10.18698/0536-1044-2021-1-34-40

### Please cite this article in English as:

Makarov V.A., Korolev F.A., Tyutyayev R.E. Sensors of Rapidly Changing Pressure Based on Jet Force. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 1, pp. 34–40, doi: 10.18698/0536-1044-2021-1-34-40



## В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышла в свет монография Ю.Г. Герцика, И.Н. Омельченко

### «Инновационный менеджмент в медицинской промышленности»

Рассмотрены основные подходы к организации процессов менеджмента на примере предприятий медицинской промышленности с учетом их инновационной направленности, требований международного и национального законодательства, основных этапов жизненного цикла медицинских изделий. Приведены особенности маркетинга инноваций в сфере медицинской промышленности, состояние и перспективы развития рынка медицинских изделий в России и за рубежом.

Для магистров, обучающихся по направлению подготовки «Наукоемкие технологии и экономика инноваций», студентов инженерных специальностей, а также будет полезна широкому кругу читателей, имеющих отношение к здравоохранению и медицинской промышленности.

### По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru