

ISSN 2518-1491 (Online),
ISSN 2224-5286 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ХИМИЯ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ
ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ**



**SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**

2 (428)

**НАУРЫЗ – СӘУІР 2018 ж.
МАРТ – АПРЕЛЬ 2018 г.
MARCH – APRIL 2018**

1947 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1947 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of chemistry and technologies scientific journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы "ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы" ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия химии и технологий» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Б а с р е д а к т о р ы
х.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі **М.Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Ағабеков В.Е. проф., академик (Белорус)
Волков С.В. проф., академик (Украина)
Воротынцев М.А. проф., академик (Ресей)
Газалиев А.М. проф., академик (Қазақстан)
Ергожин Е.Е. проф., академик (Қазақстан)
Жармағамбетова А.К. проф. (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Жоробекова Ш.Ж. проф., академик (Қырғыстан)
Итқулова Ш.С. проф. (Қазақстан)
Манташян А.А. проф., академик (Армения)
Пралиев К.Д. проф., академик (Қазақстан)
Баешов А.Б. проф., академик (Қазақстан)
Бүркітбаев М.М. проф., академик (Қазақстан)
Джусипбеков У.Ж. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Молдахметов М.З. проф., академик (Қазақстан)
Мансуров З.А. проф. (Қазақстан)
Наурызбаев М.К. проф. (Қазақстан)
Рудик В. проф., академик (Молдова)
Рахимов К.Д. проф. академик (Қазақстан)
Стрельцов Е. проф. (Белорус)
Тәшімов Л.Т. проф., академик (Қазақстан)
Тодераш И. проф., академик (Молдова)
Халиков Д.Х. проф., академик (Тәжікстан)
Фарзалиев В. проф., академик (Әзірбайжан)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.)

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде 30.04.2010 ж. берілген №1089-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz/chemistry-technology.kz

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2018

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р
д.х.н., проф., академик НАН РК **М. Ж. Журинов**

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

Агабеков В.Е. проф., академик (Беларусь)
Волков С.В. проф., академик (Украина)
Воротынцев М.А. проф., академик (Россия)
Газалиев А.М. проф., академик (Казахстан)
Ергожин Е.Е. проф., академик (Казахстан)
Жармагамбетова А.К. проф. (Казахстан), зам. гл. ред.
Жоробекова Ш.Ж. проф., академик (Кыргызстан)
Иткулова Ш.С. проф. (Казахстан)
Манташян А.А. проф., академик (Армения)
Пралиев К.Д. проф., академик (Казахстан)
Баешов А.Б. проф., академик (Казахстан)
Буркитбаев М.М. проф., академик (Казахстан)
Джусипбеков У.Ж. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Мулдахметов М.З. проф., академик (Казахстан)
Мансуров З.А. проф. (Казахстан)
Наурызбаев М.К. проф. (Казахстан)
Рудик В. проф., академик (Молдова)
Рахимов К.Д. проф. академик (Казахстан)
Стрельцов Е. проф. (Беларусь)
Ташимов Л.Т. проф., академик (Казахстан)
Тодераш И. проф., академик (Молдова)
Халиков Д.Х. проф., академик (Таджикистан)
Фарзалиев В. проф., академик (Азербайджан)

«Известия НАН РК. Серия химии и технологии».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10893-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/chemistry-technology.kz>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2018

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142,
Институт органического катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского,
каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 428 (2018), 18 – 25

UDC 66.02.071.7

A.O. Torskiy¹, A.A. Volnenko¹, A.A. Abzhapbarov¹, A.E. Levdanskiy²

¹M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan

²Belorussian State Technological University, Minsk, Belarus

e.mail: nii_mm@mail.ru

HYDRODYNAMICS OF A SWIRLING FLOW IN THE CYCLONE-VORTEX APPARATUS

Abstract. Despite the wide spreading of apparatuses, using the centrifugal force, the process of heterogeneous systems' separation, occurring in them, is not sufficiently studied because of the difficulty in taking into accounting all parameters, influencing on it.

In view of the fact that the dusty gas stream enters the cyclone through the branch pipe located tangentially to the cylindrical dust collection chamber, passes circumferentially around the exhaust pipe and moves spirally down the wall of the cone and then up, the resulting centrifugal force is influencing on solid particles, causing them to cling to the inner wall of the housing and then, under the influence of gravity, to slide to the outlet branch pipe.

To calculate the cyclones, there was offered a large number of models describing the processes of flow motion and gas-solid separation system. Many researchers accept as a separating boundary the imaginary vertical cylindrical surface, corresponding to the radius of the inner tube for gas outflow from the apparatus. Others, to calculate the hydraulic resistance, use the medium cylindrical surface with a radius of $\sqrt{r_1 r_2}$ and height h , assuming that there occurs an abrupt flow rate change on it. On both sides of this surface the potential flow is prevailing. As a result, there have been derived the equations for calculation of local resistance coefficients for input and output in the cyclone and those of total resistance.

Some researchers propose to calculate the hydraulic resistance of the cyclone via the inlet gas velocity. To calculate the cyclone hydraulic resistance, we have suggested the equation, taking into account the resistance of the inlet zone, vortex zone and output zone. The results of calculation according to the proposed equation correlate well with the data of other researchers.

Keywords: cyclone, tangential branch pipe, centrifugal force, solid particles, gas velocity, resistance coefficient, hydraulic resistance.

Introduction. It is known that the application of a centrifugal force can increase greatly the limits of separation of heterogeneous dust-gas systems [1,2-5]. However, despite the wide spreading of apparatuses, using the centrifugal force [6-13], the process of heterogeneous systems' separation, occurring in them, is not sufficiently studied because of the difficulty in taking into accounting all parameters, influencing on it.

In the basis of the centrifugal separation process the following physical model is studied [1]. The dust-laden gas stream enters the cyclone through the branch pipe, located tangentially to the cylindrical dust collection chamber, passes circumferentially around the exhaust pipe and moves spirally down the wall of the cone and then up into the exhaust pipe. The diameter of the flow, ascending in a spiral, is almost equal to the diameter of the exhaust pipe. The gas flow at the entrance to the cyclone is moving with acceleration in the annular space between the walls of the housing of the cyclone and the exhaust pipe. The kinetic energy of the annular flow is dissipated as a result of exchange between momentums and return flows, occurring at the boundaries of stagnant zones.

The hydraulic resistance of the apparatus, as well as the energy consumption for separation of the preset volume flow rate of the dust-gas mixture, are closely related to the geometrical dimensions of the cyclone.

To establish the correlation between the optimal geometric dimensions of the cyclone, its performance, power consumption and separation capacity is possible only approximately, with using empirical data. To calculate the cyclones, there was offered a large number of models [14], describing the processes of flow motion and gas-solid system separation. The distribution of flows in the cyclone (especially in its conical part) is still not studied sufficiently.

Methods of studies. To carry out the studies, there were used the method of direct measurement of hydraulic resistance by a well-type manometer and a micro manometer, and also the computer-aided numerical methods.

Results of studies. It was established experimentally that the path of the gas stream inside the cyclone conforms to the Archimedean spiral's form. This is especially important to know for proper placement of the outlet branch pipe for dust [1, 15, 16].

The hydraulic resistance changes inside the apparatus depending on the velocity distribution and therefore can be approximately calculated in assuming a certain form of the gas (liquid) – solid system separating boundary. Many researchers assume as a separating boundary the imaginary vertical cylindrical surface with a radius of r_1 (equal to the radius of the inner tube for gas outflow from the apparatus). Recently [1] for calculation of hydraulic resistance there is used the average cylindrical surface with a radius of $\sqrt{r_1 r_2}$ and height h , assuming that there occurs an abrupt flow rate change on it. On both sides of this surface the potential flow is prevailing.

The pressure change at the entrance to the cyclone can be expressed by the moment of momentum M_a on the outer side (r_2) of the separation space (the correction should be allowed for the fact that the momentum in the cross-section of the inlet branch pipe M_{bx} will be slightly different from M_a). The momentum on a cylindrical surface with a radius r_1 is expressed by the difference

$$M_{bx} = M_a - M_{cp} \quad (1)$$

with

$$M_{cp} = \lambda \cdot 2\pi r_1 r_2 h \frac{\rho_c}{2} w_i w_a \quad (2)$$

As a friction coefficient λ in the first approximation there can be assumed the value λ_{ct} , defined in the conditions of existence of a turbulent boundary layer on the outer wall of the cyclone at a constant pressure [17]:

$$\lambda_{ct} = 0,074 Re_{ct}^{-0,2} \quad (3)$$

where

$$Re = \omega_a \cdot 2\pi r_2 / \nu_c, \text{ with } 5 \cdot 10^5 < Re_{ct} < 10^7$$

With taking into account these dependencies, there can be obtained the equations for calculation of coefficients of local resistances for input and output in the cyclone. For the input pipe [1]:

$$\xi_{bx} = \frac{\Delta p_{bx}}{\rho_c v^2 / 2} = \frac{r_1}{r_2} \left(\frac{w_i}{v_i} \right)^2 \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{w_i}{v_i} \cdot \frac{h}{r_1} \lambda \right)^2} - 1 \right] \quad (4)$$

For the output pipe:

$$\xi_{bbyx} = \frac{\Delta p_{bbyx}}{\rho v^2 / 2} = K \left(\frac{w_i}{v_i} \right)^{4/3} + \left(\frac{w_i}{v_i} \right)^2 \quad (5)$$

Under the experimental data [1], the constant $K=4,4$. The ratio of velocities at the entrance to the apparatus and the exit of it can be calculated according to the ratio of the cross-section areas of the inlet branch pipe and the outlet pipe:

$$\frac{w_i}{v_i} = \frac{1}{\frac{F_{bx}}{F_{bbyx}} \frac{r_1}{r_{bx}} \alpha + \frac{h}{r_1} \lambda} \quad (6)$$

where α – the correction factor, taking into account the ratio of moments of momentums M_{bx}/M_a :

$$\alpha = \frac{M_{\text{BX}}}{M_a} = \frac{v_{\text{BX}} r_{\text{BX}}}{w_a r_2} \quad (7)$$

The total hydraulic resistance of the cyclone is calculated totally as [1]:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \Delta P_{\text{BX}} + \Delta P_{\text{БЫХ}} \quad (8)$$

or

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi \frac{\rho_c w_{\text{г}}^2}{2}, \quad (9)$$

$$\text{where } \xi = \xi_{\text{BX}} + \xi_{\text{БЫХ}}$$

By LIOT procedure [18], the hydraulic resistance of cyclones of various types is calculated by the conventional (fictitious) gas flow rate in the horizontal cross section of the cylindrical part of the empty apparatus as

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi_0 \frac{\rho w_0^2}{2} \quad (10)$$

or by the velocity in the input branch pipe as

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi_{\text{BX}} \frac{\rho w_{\text{BX}}^2}{2} \quad (11)$$

To reduce the hydraulic resistance of NIIOGAZ cyclones, on the exhaust pipe there are installed the volute or the annular diffuser, reducing $\Delta P_{\text{ц}}$ in average by 10 % [1].

The hydraulic resistance coefficients ξ_{BX} and ξ_0 are given in [1] (CN-11 $\xi_{\text{BX}} = 6,1$, $\xi_0 = 150$; CN-15 $\xi_{\text{BX}} = 7,6$, $\xi_0 = 160$; CN-24 $\xi_{\text{BX}} = 10,9$, $\xi_0 = 80$).

It should be taken into account that the hydraulic resistance of the cyclone largely depends on the dust content of gas, and the coefficients of hydraulic resistance ξ in the dusty gas flow are changing in average from 2 to 20% depending on the dust concentration [1]. According to experimental data, the presence of dust in gas in amounts exceeding 1 g/m³, causes the heterogeneity of the gas-solid system separation process, the formation of secondary circulation flows, the boundary layer separation and deceleration of the circumferential gas velocity. At concentrations > 10 g/m³ the influence of dust content on the hydraulic resistance cannot be neglected.

According to [19], during the sedimentation of particles under the conditions corresponding to the Stokes law, the theoretical settling velocity in m/s is calculated by the formula:

$$w_0 = \frac{d^2 (\rho_1 - \rho_2) w_{\text{г}}^2}{9 \nu_2 \rho_2 D} \quad (12)$$

here $w_{\text{г}}$ – the circumferential gas velocity in the cyclone, assumed to be equal to 12 – 14 m/s; D – the cyclone diameter in m.

The diameter of the cyclone should be first preset, and then checked by the subsequent calculation. To pre-select the diameter of the centrifugal dust precipitator, one can be guided by the data [19, 20], in which there are given the approximate ratios of the main dimensions of centrifugal dust precipitators and the inlet branch pipe width b or the cyclone diameter D .

The cross-sectional area of the inlet branch pipe in m²

$$f = bh = \frac{V_{\text{сек}}}{w_{\text{BX}}}, \quad (13)$$

where $V_{\text{сек}}$ – the actual second volume of gas coming into the cyclone at a preset temperature, in m³/s; $w_{\text{BX}} \approx 20$ m/s – the gas velocity in the inlet branch pipe of the cyclone.

The correct application of the formula (12) is checked by the equation

$$Re = \frac{w_0}{v_2} \leq 0,2. \quad (14)$$

At $Re > 0,2$ the theoretical settling velocity is calculated as follows.
After defining the criterion of Archimedes by the equation

$$Ar = \frac{g \cdot d^3}{v_2^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} \quad (15)$$

the separation factor is found:

$$\Phi_p = \frac{w_r^2}{gR} = \frac{2w_r^2}{gD} \quad (16)$$

The criterion of Reynolds should be calculated according to the formulas:
at $Ar\Phi_p < 84000$

$$Re = \left(\frac{Ar\Phi_p}{13,9} \right)^{1/1,4}; \quad (17)$$

at $Ar\Phi_p > 84000$

$$Re = 1,71 \sqrt{Ar\Phi_p} \quad (18)$$

By the found values of the criterion Re the theoretical precipitation rate is determined.

Based on the pre-determined performance of the cyclone, the internal diameter of the exhaust pipe is determined according to the equation

$$d_T = 1,13 \sqrt{\frac{V_{cek}}{w_T}}, \quad (19)$$

where w_T – the gas velocity in the exhaust pipe in m/s (in practical calculations) w_T is assumed to be equal to 4-8 m/s).

The outer diameter of the exhaust pipe

$$D_1 = d_T + 2\delta; \quad (20)$$

here δ – the wall thickness of the exhaust pipe.

The correctness of the chosen value of the cyclone diameter is verified by the formula

$$D = \frac{D_1}{1 - 10 \frac{v_{oc}}{w_r}}. \quad (21)$$

The height of the cylindrical part of the centrifugal dust precipitator

$$h_1 = \frac{2V_{cek}}{(D - D_1)w_r}. \quad (22)$$

The height h_2 of the conical part of the cyclone can be determined by the data, given in [19, 20]. The reliable withdrawal of entrained particles from the cyclone is provided with the value of the angle at the top of the cone of 30-40°. The hydraulic resistance of the cyclone is calculated by the formula:

$$\Delta P_{\text{г}} = \xi_{\text{г}} \frac{w_{\text{вх}}^2 \rho_2}{2}, \quad (23)$$

where $\xi_{\text{ц}}$ – the resistance coefficient, depending on the design of the cyclone (for CKKB design cyclones $\xi_{\text{ц}} = 2,5$, for VTI cyclones $\xi_{\text{ц}} \approx 6$, for NIOGAZ cyclones $\xi_{\text{ц}} \approx 7$ [5]).

As can be seen from the formula (12), the settling rate of particles in centrifugal dust precipitators can be increased by increasing the gas flow rate w_r or decreasing the radius of rotation R . The first way is inefficient, as it causes a sharp increase in the hydraulic resistance of the apparatus, with increasing the turbulence of the gas flow and, finally, the reduced efficiency factor. The second way has resulted in the creation of multiclone structures.

In paper [20] to calculate the pressure drop in a cyclone there is proposed the equation:

$$\Delta p = \xi \frac{\rho w^2}{2}. \quad (24)$$

According to the preset efficiency, the actual gas velocity in the cyclone is calculated, and the gas velocity in the cyclone should not deviate from the optimal one by more than by 15%.

According to the tables, given in the paper, there is assumed the hydraulic resistance coefficient, corresponding to the predetermined type of a cyclone. For NIOGAZ cyclones (single ones or group ones) the specifying corrections are made by the formula

$$\xi = K_1 K_2 \xi_{\text{ц}}^{c.п} 500 + K_3, \quad (25)$$

where $\xi_{\text{ц}}^{c.п} 500$ - the hydraulic resistance coefficient of a single cyclone with a diameter of 500 mm. Index «c» means that the cyclone operates in a hydraulic network, while «п» - without the network, i.e. directly with exhausting into the atmosphere; K_1 – the correction factor for the cyclone diameter; K_2 – the correction factor for gas dust content; K_3 – the coefficient, taking into account the additional pressure losses, caused by the arrangement of cyclones in a group.

To calculate the hydraulic resistance of a cyclone, we have proposed the equation:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \Delta P_{\text{BX}} + \Delta P_{\text{B.3}} + \Delta P_{\text{БЫХ}}, \quad (26)$$

where ΔP_{BX} – the hydraulic resistance of the entrance area, Pa; $\Delta P_{\text{B.3}}$ – the hydraulic resistance of the vortex area, Pa; $\Delta P_{\text{БЫХ}}$ - the hydraulic resistance of the exit area, Pa.

The hydraulic resistance of the entrance area:

$$\Delta P_{\text{BX}} = \xi_{\text{BX}} \frac{w_{\text{BX}}^2 \rho_{\Gamma}}{2}, \quad (27)$$

where $\xi_{\text{BX}} = 3,32$ – the resistance coefficient at the entrance to the apparatus.

The hydraulic resistance of the vortex area:

$$\Delta P_{\text{B.3}} = \xi_{\text{B.3}} \frac{w_{\text{B.3}}^2 \rho_{\Gamma}}{2}, \quad (28)$$

where $\xi_{\text{B.3}} = 4,1$ – the resistance coefficient of the vortex area; $w_{\text{B.3}}$ – gas velocity in the vortex area, m/s.

The hydraulic resistance of the exit area:

$$\Delta P_{\text{БЫХ}} = \xi_{\text{БЫХ}} \frac{w_{\text{БЫХ}}^2 \rho_{\Gamma}}{2}, \quad (29)$$

where $\xi_{\text{БЫХ}} = 5,7$ – the resistance coefficient at the exit of the apparatus.

Figure 1 gives the results of the cyclone hydraulic resistance calculations according to the equations, presented by various authors.

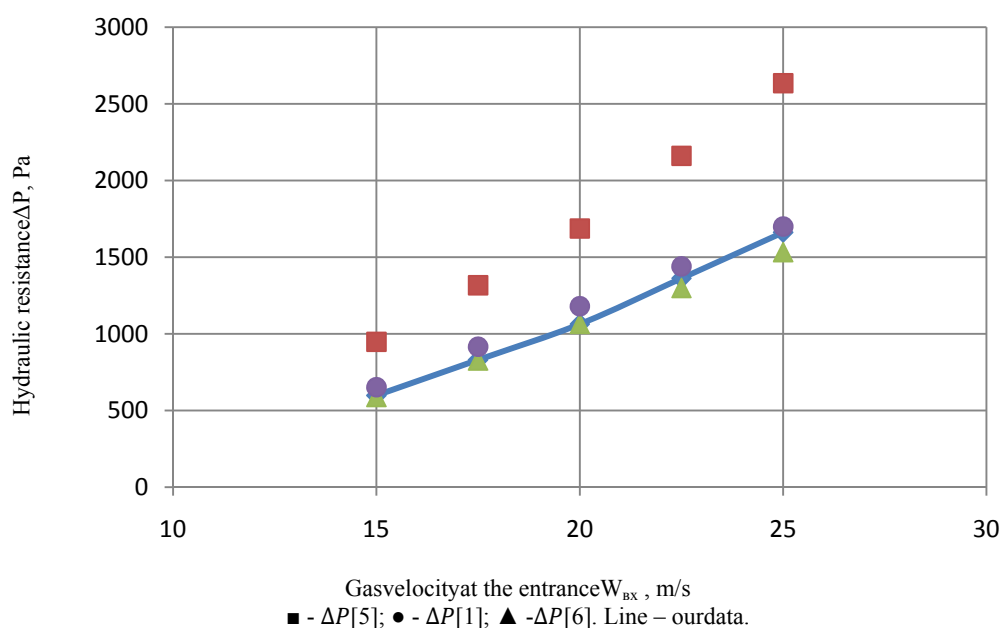


Figure 1 – the cyclone hydraulic resistance ΔP depending on the gas flow velocity at the entrance w_{BX} .

As it can be seen from the figure, the cyclone hydraulic resistance, depending on the gas flow rate at the entrance to the apparatus increases. It is obvious, because with increasing speed there are growing the expenditures on overcoming the local resistances and creation of a swirling flow. Calculations on the equations, proposed in papers [1, 20], and our data have close values, whereas the data in paper [19] are slightly overvalued.

Conclusions. There has been considered the model of centrifugal separation of a dust-laden gas stream.

There has been given the analysis of different approaches to determination of the cyclone hydraulic resistance.

Proceeding from the analysis done, there has been proposed the equation that takes into consideration the resistance of the entrance area, vortex area and exit area, well correlated with the data of other researchers.

REFERENCES

- [1] Romankov P.G., Kurochkina M.I. *Gidromekhanicheskie protsessy khimicheskoi tekhnologii*. L.: Khimiia, **1974**. 288 p. (In Russian).
- [2] *Tekhnika pyleulavlianiia i ochistki promyshlennykh gazov: Sprav. izd.* / Aliev G.M.-A. M.: Metallurgii, **1986**. 544 p. (In Russian).
- [3] *Ochistka promyshlennykh gazovotpyli* / V.N.Uzhov, A.Iu.Valdberg, B.I.Miagkov, I.K.Reshidov. M.: Khimiia, **1981**. 390 p. (In Russian).
- [4] Lukin V.D., Kurochkina M.I. *Ochistka ventilatsionnykh vybrosov v khimicheskoi promyshlennosti*. L.: Khimiia, **1980**. 232 p. (In Russian).
- [5] Karpov S.V., Saburov E.N. *Vliianie osnovnykh geometricheskikh parametrov na aerodinamicheskui ueffektivnostt ciklonnykh apparatov // Teor. osn. khim. tekhnol.* **1990**. t.24. № 5. P.651–660 (In Russian).
- [6] Kouzov P.A., Mylnikov S.I. *Raschet effektivnosti pyleulavlianiia v teiklonakh s vodianoiplenkoi // Tr. in-tov okhranytruda.* **1972**. vyp. 77. P. 6–12. (In Russian).
- [7] Prechistenskii S.A. *Tcentrifugirovanie aerozolei v TcRP*. M.: Atomizdat, **1960**. 190 p. (In Russian)
- [8] *Ochistka gazov v khimicheskoi promyshlennosti. Protsessy i apparaty* / O.S.Balabekov, L.Sh.Baltabaev. M.: Khimiia, **1991**. 256 p. (In Russian).

- [9] Volnenko A.A. Konstruirovaniye dvukh stupenchatykh vikhrevykh apparatov dlia provedeniia protsessov pileulavlianiia. // Nauka i obrazovanie Iuzhnogo Kazakhstana. **1997.** № 7. P.200. 202.(In Russian).
- [10] Volnenko A.A. Ochistkagazov v dvukhstupenchatykh apparata khvikhrevogotipa // Problemy razvitiia predpriatii osnovnoi i gornokhimi: Sb. nauch. TrudovAO "KazNIIkhimproekt".-Shymkent, **1996.** P.228-230.(In Russian)
- [11] Valdberg A.Iu., Kovalevskii Iu.V., Lebediuk G.K. Mokrye pileuloviteli udarno-inertcionnogo, tcentrobezhnogo i forsunochnogo deistviia. M.: TcINTIKhimneftemash, **1981.** 38 p.(In Russian).
- [12] Potapov O.P., Kropp L.D. Batareinye tciklony. M.: Energiia, **1977.** 152 p.(In Russian).
- [13] Kropp L.D., Bronshtein A.Sh. Ekspluatatsiia batareinykh tciklonov. M.: Energiia, **1964.** 152 p.(In Russian).
- [14] Gordon G.M., Peisakhov I.L. Pyleulavlianie i ochistka gazov. M.-L.: Metallurgii, **1968.** 499 p.(In Russian).
- [15] Kouzov P.A. Sravnitelnaia otcenka tciklonov razlichnykh tipov. V kn.: Obespylianie v metallurgii. M.: Metallurgii, **1971.** P.185-196.(In Russian).
- [16] Gazoочistnoe oborudovanie. Tciklony. M.: Tcintikhimneftemash, **1977.** 24 p.(In Russian).
- [17] Shlikhting G. Teoriia pogranichnogo sloia. Per. s angl. M.: Nauka, **1969.** 741 p.(In Russian).
- [18] Kouzov P.A., Iofinov G.A. Ispytanie obespylivaiushchikh ventiliatcionnykh ustanovok. L.: VNIOT, **1971.** 165 p.(In Russian).
- [19] Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv. Pod red. I.I. Chernobylskogo. M.: Mashinostroenie, **1975.** 454 p.(In Russian).
- [20] Birger M.I., Valdberg A.Iu., Miagkov B.I. Spravochnik popyle i zoloulavlianiiu // Pod obshch.red. A.A. Rusanova. M.: Energoatomizdat, **1983.** 312 p.(In Russian).

А.О.Торский¹, А.А. Волненко¹, А.А. Абжапбаров¹, А.Э. Левданский²

¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан

²Беларусь мемлекеттік технологиялық университеті, Минск, Беларусь

ГИДРОДИНАМИКА ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В АППАРАТЕ ЦИКЛОННО-ВИХРЕВОГО ДЕЙСТВИЯ

Аннотация.Ортадан тепкіш күшті қолданатын аппараттардың кең таралғанына қарамастан, оларда өтетін біркелік емес жүйелерді бөлу процесі оларға әсер ететін барлық параметрлерді ескерудің күрделілігіне байланысты жеткіліксіз зерттелген.

Шаңдалған газ ағыны циклонға цилиндрлі шаңтұндырғыш камерасына тангенциалды орналасқан келте құбыр арқылы кіретіндіктен газ шығаратын түтікше айналасында шеңбер бойымен өтіп конус қабырғасы бойымен спиральды түрде төмен қарай қозғалады да және содан соң жоғары қарай қозғалады, бұл ретте пайда болатын ортадан тепкіш күш қатты бөлшектерді қаңқаның ішкі қабырғасына жабысуына мәжбүрлей отырып әсер етеді, олар кейін ауырлық күші әсерімен шығарушы келте құбырға сырғып түседі.

Циклондарды есептеу үшін газ-қатты заттар жүйесін бөлу мен ағындар қозғалысы процесстерін сипаттайтын көптеген модельдер ұсынылды. Көптеген зерттеушілер бөлу шекарасы ретінде аппараттан газды шығаруға арналған ішкі құбыр радиусына сәйкес келетін елестетілген тік цилиндрлі бетті қабылдайды. Өзгелер гидравликалық кедергіні есептеу үшін h биіктігімен және радиусы $\sqrt{r_1 r_2}$ орташа цилиндрлі бетті, онда ағын жылдамдығының секірмелі өзгерісі болады деп ойлап, пайдаланады. Бұл беттің екі жағы да потенциалды ағысқа ие болады. Нәтижесінде жалпы кедергі мен циклонға кіру және шығуға арналған жергілікті кедергілер коэффициенттерін есептеуге арналған теңдеу алынды.

Зерттеушілердің бір бөлігі шығу жақтағы газ жылдамдығы бойынша циклонның гидравликалық кедергісін есептеуді ұсынады. Біз циклонның гидравликалық кедергісін есептеу үшін кіріс аймағының, құйынды аймағының және шығыс аймағының кедергілерін ескеретін теңдеу ұсынып отырмыз. Ұсынылып отырған теңдеу бойынша есептеу нәтижелері өзге зерттеушілердің мәндерімен жақсы үйлеседі.

Түйін сөздер: циклон, тангенциалдыкелте құбыр, ортадан тепкіш күш, қатты бөлшектер, газ жылдамдығы, кедергі коэффициенті, гидравликалық кедергі.

А.О. Торский¹, А.А. Волненко¹, А.А. Абжапбаров¹, А.Э. Левданский²

¹Южно-Казахстанский государственный университет им.М.Ауэзова, г.Шымкент, Казахстан;

²Белорусский государственный технологический университет, г.Минск, Беларусь

ГИДРОДИНАМИКА ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В АППАРАТЕ ЦИКЛОННО-ВИХРЕВОГО ДЕЙСТВИЯ

Аннотация. Несмотря на широкое распространение аппаратов, использующих центробежную силу, протекающий в них процесс разделения неоднородных систем недостаточно изучен из-за сложности учета всех действующих на него параметров.

В виду того, что запыленный газовый поток входит в циклон через патрубок, расположенный тангенциально к цилиндрической пылеосадительной камере, проходит по окружности вокруг выхлопной трубы и движется спирально вниз по стенке конуса и затем вверх, возникающая при этом центробежная сила воздействует на твердые частицы, заставляя их прижиматься к внутренней стенке корпуса, которые затем, под действием силы тяжести, сползают к выпускному патрубку.

Для расчета циклонов предложено большое число моделей, описывающих процессы движения потока и разделения системы газ-твердое вещество. Многие исследователи принимают в качестве границы разделения воображаемую вертикальную цилиндрическую поверхность соответствующую радиусу внутренней трубы для выхода газа из аппарата. Другие для расчета гидравлического сопротивления используют среднюю цилиндрическую поверхность радиусом $\sqrt{r_1 r_2}$ и высотой h , предполагая, что на ней происходит скачкообразное изменение скорости потока. По обе стороны этой поверхности преобладает потенциальное течение. В результате получены уравнения для расчета коэффициентов местных сопротивлений для входа и выхода в циклоне и общего сопротивления.

Часть исследователей предлагает рассчитывать гидравлическое сопротивление циклона по скорости газа на входе. Нами для расчета гидравлического сопротивления циклона предложено уравнение, учитывающее сопротивление зоны входа, вихревой зоны и зоны выхода. Результаты расчета по предложенному уравнению хорошо коррелируются с данными других исследователей.

Ключевые слова: циклон, тангенциальный патрубок, центробежная сила, твердые частицы, скорость газа, коэффициент сопротивления, гидравлическое сопротивление

Information about authors:

TorskiyAndreyOlegovich – PhD doctoral student of the 1st academic year for the specialty of Technological machines and equipment (6D072400), Department of Technological machines and equipment, M.Auezov South Kazakhstan State University, e-mail: nii_mm@mail.ru.

VolnenkoAlexandrAnatol'evich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, M.Auezov South Kazakhstan State University, e-mail: nii_mm@mail.ru.

AbzhapbarovAbaiAkilbekovich - master, teacher of the Department of Technological Machines and Equipment, M.Auezov South Kazakhstan State University, e-mail: nii_mm@mail.ru.

Levdansky Alexander Eduardovich - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Processes and Apparatuses of Chemical Production", Belorussian State Technological University, e-mail: alex_levdansky@belstu.by

МАЗМҰНЫ

<i>Аринова Д.Б., Аскаров Е.С., Попов Г.</i> Кулисті типті центрден текпіш – гирационды диірменнің конструкциясын зерттеу және сынау (ағылшын тілінде).....	6
<i>Торский А.О., Волненко А.А., Абжапбаров А.А., Левданский А.Э.</i> Гидродинамика закрученного потока в аппарате циклонно-вихревого действия (ағылшын тілінде).....	18
<i>Жұмаділлаева С.А., Баешов Ә.Б., Алтынбекова М.О., Абжалов Б.С.</i> Иониттердің органикалық субстраттармен супрамолекулярлы комплекстері (ағылшын тілінде).....	26
<i>Сейсенбаев А.Е., Устимов А.М., Аймбетова И.О.</i> Висмуттың қосылыстарын пирометаллургиялық және электролиз арқылы тазалауды зерттеу мен минералды қалдықты утильдеуге қорғасынның рафинациясынан бөлінетін висмутті дросстардан қайта өңдеудің жаңа технологияларын жасау (ағылшын тілінде)	31
<i>Нұрділлаева Р.Н., Баешов Ә.Б., Серік Г.С., Баешова А.Қ.</i> Айнымалы токпен поляризациялау арқылы мыс бромидін алу (ағылшын тілінде).....	36
<i>Тлеуов А.С., Арыстанова С.Д., Лавров Б.А., Шапалов Ш. К., Байысбай О.П., Досбаева А.М., Мадьярова Ж.Ж.</i> Фосфор шламынан фосфорды бөліп алу үшін қолданылатын табиғи алюмосиликатты сорбенттердің физика- химиялық құрамы (ағылшын тілінде).....	44
<i>Үмбетова А.К., Слан Г.О., Омарова А.Т., Бұрашева Г.Ш., Абидкулова К.Т.</i> Алматы өңіріндегі <i>Atraphaxis virgata</i> өсімдігінің химиялық құрамын зерттеу (ағылшын тілінде).....	52
<i>Шапалов Ш.К., Ходжаев Р.Р., Сулейменов Н.М., Наукенова А.С., Хуанган Н., Рахимберлина А. А., Алтыбаев Ж.М.</i> Көмір шахталарының оқшауланған аймағындағы өрт жағдайының бағасына ақпаратты қасиеттердің тұтастай әсер етуі (ағылшын тілінде).....	56

* * *

<i>Аринова Д.Б., Аскаров Е.С., Попов Г.</i> Кулисті типті центрден текпіш – гирационды диірменнің конструкциясын зерттеу және сынау (орыс тілінде).....	61
<i>Торский А.О., Волненко А.А., Абжапбаров А.А., Левданский А.Э.</i> Гидродинамика закрученного потока в аппарате циклонно-вихревого действия (орыс тілінде).....	72
<i>Жұмаділлаева С.А., Баешов Ә.Б., Алтынбекова М.О., Абжалов Б.С.</i> Иониттердің органикалық субстраттармен супрамолекулярлы комплекстері (орыс тілінде).....	80
<i>Үмбетова А.К., Слан Г.О., Омарова А.Т., Бұрашева Г.Ш., Абидкулова К.Т.</i> Алматы өңіріндегі <i>Atraphaxis virgata</i> өсімдігінің химиялық құрамын зерттеу (орыс тілінде).....	85

Мерейтой

Насиров Рахметолла (<i>70 жасқа толуына орай</i>).....	90
--	----

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Аринова Д.Б., Аскаргов Е.С., Попов Г.</i> Исследование и испытание конструкции центробежно-гирационной мельницы кулисного типа (на английском языке).....	6
<i>Торский А.О., Волненко А.А., Абжапбаров А.А., Левданский А.Э.</i> Гидродинамика закрученного потока в аппарате циклонно-вихревого действия (на английском языке).....	18
<i>Джумадуллаева С.А., Баешов А.Б., Алтынбекова М.О., Абжалов Б.С.</i> Супрамолекулярные комплексы ионитов с органическими субстратами (на английском языке).....	26
<i>Сейсенбаев А.Е., Устимов А.М., Аймбетова И.О.</i> Исследования пирометаллургической и электролитической схем очистки соединений висмута и изыскание новых технологий переработки висмутистых дроссов, полученных после рафинирования черного свинца с утилизацией минерального отхода (на английском языке)	31
<i>Нурдиллаева Р.Н., Баешов А.Б., Серик Г.С., Баешова А.К.</i> Получение бромида меди при поляризации переменным током (на английском языке).....	36
<i>Тлеуов А.С., Арыстанова С.Д., Лавров Б.А., Шапалов Ш. К., Байысбай О.П., Досбаева А.М., Мадьярова Ж.Ж.</i> Физико-химический состав природных алюмосиликатных сорбентов используемых для извлечения фосфора из фосфорного шлама (на английском языке).....	44
<i>Умбетова А.К., Слан Г.О., Омарова А.Т., Бурашева Г.Ш., Абидулова К.Т.</i> Исследование химического состава <i>Atraphaxis virgata</i> алматинского региона (на английском языке).....	52
<i>Шапалов Ш.К., Ходжаев Р.Р., Сулейменов Н.М., Наукенова А.С., Хуанган Н., Рахимберлина А. А., Алтыбаев Ж.М.</i> Совокупное влияние информативных признаков на оценку состояния пожарной ситуации в изолированных участках угольных шахт (на английском языке).....	56

* * *

<i>Аринова Д.Б., Аскаргов Е.С., Попов Г.</i> Исследование и испытание конструкции центробежно-гирационной мельницы кулисного типа (на русском языке)	61
<i>Торский А.О., Волненко А.А., Абжапбаров А.А., Левданский А.Э.</i> Гидродинамика закрученного потока в аппарате циклонно-вихревого действия (на русском языке).....	72
<i>Джумадуллаева С.А., Баешов А.Б., Алтынбекова М.О., Абжалов Б.С.</i> Супрамолекулярные комплексы ионитов с органическими субстратами (на русском языке).....	80
<i>Умбетова А.К., Слан Г.О., Омарова А.Т., Бурашева Г.Ш., Абидулова К.Т.</i> Исследование химического состава <i>Atraphaxis virgata</i> алматинского региона (на русском языке).....	85

Юбилейные даты

Насиров Рахметолла (<i>к70-Летию со дня рождения</i>).....	90
--	----

CONTENTS

<i>Arinova D.B., Askarov E.S., Popov G.</i> Investigation and design testing of the centrifugal gyratory mill of a coulisse type (in English).....	6
<i>Torskiy A.O., Volnenko A.A., Abzhapbarov A.A., Levanskiy A.E.</i> Hydrodynamics of a swirling flow in the cyclone-vortex apparatus (in English).....	18
<i>Dzhumadullayeva S.A., Bayeshov A.B., Altynbekova M.O., Abzhalov B.S.</i> Supramolecular complexes of ionites with organic substrates (in English).....	26
<i>Seisenbaev A.E., Ustimov A.M., Aimbetova I.O.</i> Investigations of pyrometallurgical and electrolytic cleaning processes of bismuth connections and survey of new technologies for processing of visible drosses received after raining of black lead with mineral waste disposal (in English).....	31
<i>Nurdillayeva R.N., Bayeshov A.B., Serik G.S., Bayeshova A.K.</i> Production of copper bromide at polarization by an alternating current (in English).....	36
<i>Tleuov A.S., Arystanova S.D., Lavrov B.A., Shapalov Sh. K., Baiysbay O.P., Dosbayeva A.M., Madyarova Zh.Zh.</i> The physico-chemical composition of the natural aluminosilicate sorbents used for the phosphorus extraction from phosphoric slime (in English).....	44
<i>Umbetova A.K., Slan G.O., Omarova A.T., Burasheva G.Sh., Abidkulova K. T.</i> The study of chemical composition of <i>Atraphaxis virgata</i> from the almaty region (in English)	52
<i>Shapalov Sh.K., Khodzhayev R.R., Suleimenov N.M., Naukenova A.S., Khuangan N., Rakhimberlina A.A., Altybaev Zh. M.</i> Cumulative influence of informative features on the assessment of the condition of the fire situation in the sealed areas of coal mines (in English)	56

* * *

<i>Arinova D.B., Askarov E.S., Popov G.</i> Investigation and design testing of the centrifugal gyratory mill of a coulisse type (in Russian)	61
<i>Torskiy A.O., Volnenko A.A., Abzhapbarov A.A., Levanskiy A.E.</i> Hydrodynamics of a swirling flow in the cyclone-vortex apparatus (in Russian).....	72
<i>Dzhumadullayeva S.A., Bayeshov A.B., Altynbekova M.O., Abzhalov B.S.</i> Supramolecular complexes of ionites with organic substrates (in Russian).....	80
<i>Umbetova A.K., Slan G.O., Omarova A.T., Burasheva G.Sh., Abidkulova K. T.</i> The study of chemical composition of <i>Atraphaxis virgata</i> from the almaty region (in English) (in Russian).....	85

Anniversary date

Nasirov Rahmetolla (to the 70 anniversary from the birthday).....	90
---	----

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации
в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.chemistry-technology.kz/index.php/ru/>

ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)

Редакторы: *М. С. Ахметова, Т. А. Апендиев, Аленов Д.С.*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 13.04.2018.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
7,8 п.л. Тираж 300. Заказ 2.