

6. Слесаренко, А. П. Моделирование нелинейных тепловых процессов на базе совместного применения метода возмущений, регионально-структурного и вариационного методов [Текст] / А. П. Слесаренко, Т. В. Бутенко // Информационные технологии. Автоматизированные системы управления. Серия «Математические моделирования». — 2008. — Вып. 10, № 833. — С. 89–96.
7. Слесаренко, А. П. Идентификация нелинейной нестационарной зависимости мощности источника энергии от температуры на базе вариационно-структурного и проекционных методов [Текст] / А. П. Слесаренко, Н. А. Сафонов // Проблемы машиностроения. — 2010. — Т. 13, № 6. — С. 58–63.
8. Слесаренко, А. П. S-функции в обратных задачах аналитической геометрии и моделировании тепловых процессов [Текст] / А. П. Слесаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 3/4(51). — С. 41–46.
9. Слесаренко, А. П. S-функции в построении консервативных структур решения геометрических обратных задач [Текст] / А. П. Слесаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 2/4(56). — С. 60–66.
10. Choi, I. G. Mathematical modeling of radioactive waste glass melter [Electronic resource] / I. G. Choi // Conference: Symposium on nuclear waste management, Cincinnati, OH (United States), 28 Apr – 2 May 1991. — United States: DOE; USDOE, Washington, DC, 1990. — Available at: \www/URL: http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/5637005.
11. Бребия, К. Методы граничных элементов [Текст] / К. Бребия. Ж. Теллес, Л. Вроубел. — М.: Мир, 1987. — 524 с.

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ТА ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ S-ФУНКЦІЙ

Розроблена методологія моделювання формоутворення поверхонь, описуваних ваговими функціями, побудованими на базі рішень зворотних завдань диференційної геометрії за допомогою S-функцій. Результати вирішень зворотних завдань диференційної геометрії використані при побудові консервативних структур вирішення завдань теплопровідності, що точно задовольняють граничним умовам третього роду. Структура рішення

враховує вплив граничних дій лише в граничному поясоцку області рішення задачі.

Ключові слова: моделювання теплових процесів, структура рішення, S-функція, формоутворення поверхонь.

Слесаренко Анатолій Павлович, доктор фізико-математических наук, професор, ведучий научний співробітник, лауреат Государственной премии Украины, отдел моделирования и идентификации тепловых процессов, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина.

Журавлёв Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизации производственных процессов, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Украина.

Жиленко Владимир Борисович, инженер, ассистент, заведующий лабораторией электротехники, кафедра автоматизации производственных процессов, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Украина.

Слесаренко Анатолій Павлович, доктор фізико-математических наук, професор, провідний науковий співробітник, лауреат Державної премії України, відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна.

Журавльов Юрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри автоматизації будівничих процесів, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна.

Жиленко Володимир Борисович, інженер, асистент, завідувач лабораторії електротехніки, кафедра автоматизації будівничих процесів, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна.

Slesarenko Anatoliy, A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

Ghuravlev Yuriy, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine.

Ghilenko Vladimir, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine.

UDK 66.14.683

**Абдуллах Джалал
Мохаммед,
Ал Хайят Мохаммед
Надим Касим**

РОЗРАХУНОК СТАБІЛЬНОЇ РОБОТИ ВИХРОВОГО РОЗПИЛЮЮЧОГО ПРОТИТОЧНОГО МАСОБМІННОГО АПАРАТУ (ВРПМА) В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОКРАПЕЛЬНОГО ПОТОКУ

У даній роботі наведено методику вибору стійких режимів роботи вихрового розпилюючого протиточного масообмінного апарату (ВРПМА), яка включає розрахунок польоту крапель з урахуванням однорідності потоку і їх взаємного впливу один на одного. В результаті теоретичних і практичних досліджень вдалося визначити швидкість потоку газу і крапель, співвідношення відцентрових сил і сил аеродинамічного опору.

Ключові слова: масоперенос, швидкість, пристрій, вихор, крапля, апарат, розрахунок.

1. Introduction

Lately, the world faces an acute lack of energy and raw material resources. This causes the need for using new,

low-waste and highly-effective technological processes with minimal losses, full heat recovery, purification of wastewater and gases. Their creation is impossible without devices with high specific indicators. Therefore, developing a new

type of mass-exchange equipment and solving the problem intensifying vortex spray countercurrent mass exchange devices (VSCMED) is relevant.

Based on the analysis of intensification methods of mass exchange processes in vortex spray countercurrent mass exchange devices, promising directions for organizing the motion of gas-drop flow were revealed. A physical model of the motion of gas and drop flows in the VSCMED cavity, and the mathematical model of calculation of hydrodynamic, structural indicators of VSCMED-type devices was developed.

In general, the problem of selecting stable operation modes of VSCMED is very complex, and it's currently facing a number of difficulties. The uniform drop flow, which arises (spring) from the spraying fluid jets in the central region of the vortex chamber and their mutual influence on each other should be considered in order to search for an acceptable solution to resort a number of assumptions, when entering them in the condition of the problem.

Basically, it allows obtaining mathematical solutions and selecting the optimum conditions for a particular type of average and design for the device.

2. Analysis of literature data

The results' analysis of references and theoretical studies [1] allow developing a theoretical substantiated method for calculating the stability of VSCMED operation modes. Basically, this methodology is based on the following mathematical and experimental reasonable assumptions and estimates.

1. Vortex gas flow in a large part of the vortex mass exchange chamber is flat in nature.

2. The size of the drops, which are obtained from the spraying jets of liquid, is essential for the characteristic of the drop flow [2].

This size is determined by the ratio of surface tension forces, which depend on the type of fluid being sprayed, and the forces of aerodynamic influence on the drop from the side of the gas stream. The value of this ratio, and therefore the size of the drops is determined by the Weber criterion [3].

3. The ratio of the loads from the gas and liquid masses is less than one. In this case, density between gas and liquid differs by several orders of magnitude, the liquid volume in the chamber is less than the gas volume in the vortex mass exchange chamber and the distance between the drops in this flow is large. The mutual influence of drops on each other in such a flow can be ignored [4].

4. As a result of spray liquid (drops) flow by its composition close to monodisperse [5].

5. Considering above assumptions this allows to determine the hydrodynamic characteristics of the drop flow to conduct calculations of hydrodynamics of a single drop of the liquid.

6. Liquid drops are involved in a rotary motion from the energy of a vortex gas flow. Gas flow velocity in the circumferential direction is reduced. Decrease in these velocities can be determined by the law of conservation of angular momentum rotary motion. This allows considering the availability of drop flow in the vortex mass exchange chamber of VSCMED and its influence on the hydrodynamics vortex gas flow [6].

3. Problem statement

The purpose of the paper is to determine the influence of hydrodynamics of gas and drops on the efficiency of the VSCMED-type device in different operation modes and as a result to determine optimal and stable mode.

To achieve this goal it is necessary to consider the velocity of the gas flow and liquid drops both separately, and jointly, consider the forces, acting on the drop and track changes in the radius of the vortex chamber.

4. The results of theoretical research and experimental studies

Fig. 1 shows the direction of actions on liquid drops the centrifugal force F_c and aerodynamic effects F_s or the resistance force from the gas stream side. Centrifugal force involves a drop in movement from the center to the periphery of the vortex mass exchange chamber VSCMED.

And the resistance force involves a drop in movement from the periphery of the vortex mass exchange to the center of the chamber.

Task of determining the optimal operation VSCMED and its calculation and creation hydrodynamic conditions in the chamber VSCMED.

Which at any point along the radius of the vortex mass exchange chamber centrifugal forces will prevail over the resistances forces? In this case, will be almost completely absent or will be minimized drop loss, and the counter-movement the gas and liquid phases to ensure high efficiency of processes in mass exchange VSCMED [7].

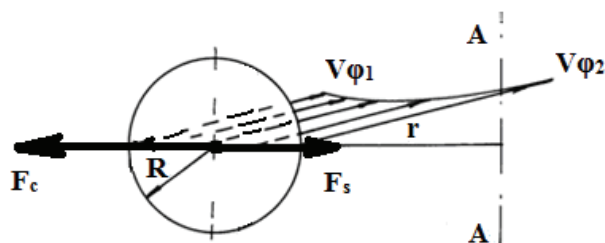


Fig. 1. Effect on the drop centrifugal force and resistance forces: R — radius of the drop; r — radius (variable value), where is a drop in the vortex chamber of the axis of the chamber; $V_{\phi 1}$ and $V_{\phi 2}$ — circumferential velocities of the gas flow on both sides of the drop; A-A — the axis of the vortex mass exchange chamber

In this case, on liquid drops act two kinds' forces, the opposite direction acting centrifugal force [8]:

$$F_c = \frac{\pi d_k^3}{6} \rho_g \frac{W_\phi^2}{r}. \quad (1)$$

And, the resistance force:

$$F_s = \psi \frac{\pi}{8} W_r^2 d_k^2 \rho_r. \quad (2)$$

One of the problems providing a counter-movement in the mass exchange in the vortex spray countercurrent mass exchange device is an early achievement rotational velocity enough to satisfy the condition [9]:

$$F_c > F_s. \quad (3)$$

That is necessary to capture the drop in rotation velocity:

$$W_{\varphi} > \sqrt{\frac{3\rho_{\Gamma}\Psi r}{4\rho_g d_K}} W_r. \quad (4)$$

In the case a uniform gas flow with the height of mass exchange chamber, substituting in (4) the value of (2), we obtain:

$$W_{\varphi} > \sqrt{\frac{3\rho_{\Gamma}\Psi r}{4\rho_g d_K}} \frac{Q_g}{2\pi r H_K}. \quad (5)$$

Under the third condition along the radius in the chamber will be a regular counter-movement phase. In counter-movement at some radius with equal acting forces resistance force and centrifugal force will cease move to the periphery. Maybe 'suspension' liquid drops [10].

In low rotational velocity liquid drops are captured by the gas stream and go out of the vortex mass exchange chamber, which cause increase in the drop loss and acutely decrease in the efficiency of the vortex mass exchange apparatus. At the input of the vortex mass exchange chamber velocity of gas flow, which for the droplets to the periphery, which provide movement to the periphery, at the wall of mass exchange chamber must be larger than the value:

$$W_{\varphi} > \sqrt{\frac{3\rho_{\Gamma}\Psi}{4\rho_g d_K}} \frac{Q_g R_1^{-\frac{1}{2}}}{2\pi H_K}. \quad (6)$$

The above analysis relation of forces acting on a liquid drop along the radius of the vortex mass exchange chamber shows, when calculating the total rotational and radial velocities for regular movement counter flow gas and liquid phases a conditional check should be made (3) over the entire section from the center to the periphery of the chamber, which can be perform by using the equation (6).

The presence of a liquid phase in the vortex gas flow and overlay a condition that is a countercurrent flow phases along the radius of the chamber, has influences the value of the hydraulic resistance of the mass exchange chamber. Liquid drops entrained in rotation movement by the energy of the gas flow. Gas flow velocities decreases, which leads to lower pressure drop between the center and the periphery of the vortex mass exchange chamber and reduction the hydraulic resistance of the working chamber.

Given that the determination of resistance forces should be considering that the determination of resistance forces should be considered values of the velocities drop with relatively of gas flow. Then the expression (2) becomes:

$$F_s \frac{1}{8} \Psi \pi d k^2 \rho_g (V_r(r) - W_r(r))^2. \quad (7)$$

Fig. 2 shows an example of calculating the change in the resistance force and the centrifugal force for a drop of 100 μ m in the mass exchange chamber with dimensions $R_1 = 0,15$ m, $R_2 = 0,05$ m and the input velocity in the tangential slits equal to 50 m/s.

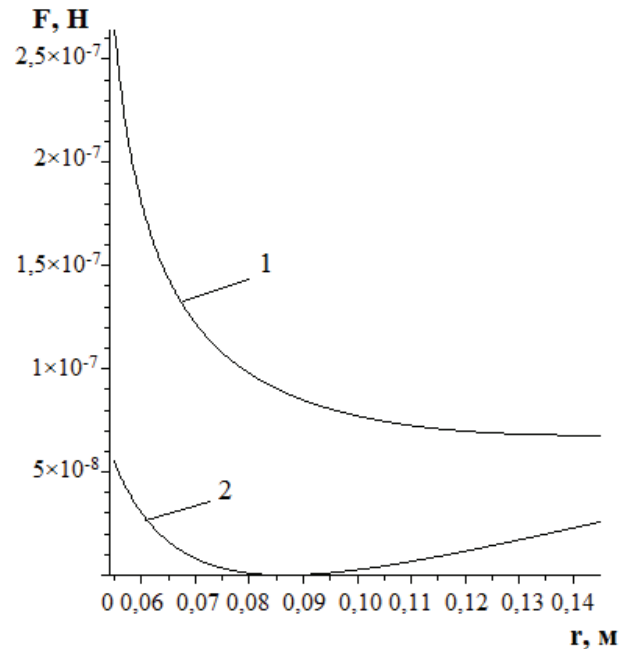


Fig. 2. Dependence of the change between centrifugal force (1) and the resistance force (2) along the radius of the vortex mass exchange chamber for the drops with diameter 100 μ m

To analyze the stability of VSCMED must know the value:

$$\Delta = F_c - F_s. \quad (8)$$

Which must take for regime of stable operation positive values all through motion of the drops along the radius of the vortex mass exchange chamber area until the spray drops mass exchange cylindrical walls of the vortex chamber.

5. Conclusions

In this paper, theoretical research, based on the developed mathematical model, which shows the expected results, needing to be more thoroughly tested experimentally was conducted.

In developing the existing model, previous developments on calculating the rate of gas and drop flow in the vortex devices were taken into account.

The next step in the research should be developing a comprehensive calculation of the geometric dimensions of the device depending on the initial conditions specified.

Fig. 3 is an example of a change of this value for the above example.

In this case, knowing the size of the vortex chamber VSCMED, the size of the tangential slits for input gas, capacity VSCMED of gas (steam), the load on the liquid phase can successively identify:

- Radial and rotation velocity gas flow along the radius of the vortex mass exchange chamber.
- Radial and rotation velocity liquid flow along the radius of the vortex mass exchange chamber.

The value of the centrifugal force and the resistance force, acting on the drops along the radius of the vortex mass exchange chamber VSCMED.

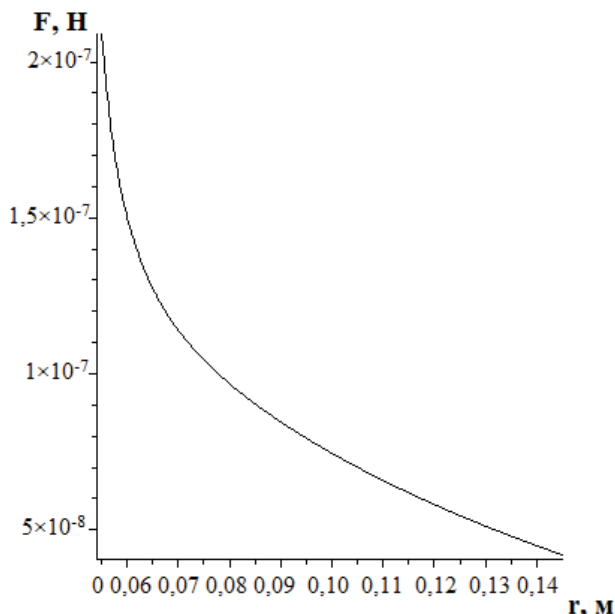


Fig. 3. Dependence of the value of the change for droplets of diameter 100 mm

The ratio between the values the centrifugal forces and resistance forces, and developing recommendations for creating conditions stable and effective work of VSCMED.

References

1. Sklabinskyi, V. I. Rukh potoku plavu (hazu) v porozhnyii vibrohranuliatora ta vykhrovoho protytechiiinoho masoobminnoho aparata [Text] / V. I. Sklabinskyi, V. A. Osipov, M. P. Kononenko, D. M. Mokhammed Abdullakh // Khimichna promyslovisv Ukrainy. — 2011. — № 1. — P. 3–5.
2. Sklabinsky, V. I. The Characteristics of Vortex Spray Countercurrent Mass Exchange Device [Text] / V. I. Sklabinsky, J. M. Abdullah, N. Mohammed Gasim // Engineering & Technology Journal. — 2011. — № 15, Vol. 29. — P. 3211–3223.
3. Mohammed Abdullah, J. The assessment of the processing chamber radial dimensions of vortex spray countercurrent mass exchange device [Text] / J. M. Mohammed Abdullah, V. I. Sklabinsky, A. H. Mohammed // First Scientific Conference on Modern Technologies in Oil & Gas Refining, Baghdad. — 2011. — P. 24.
4. Gustafson, E. K. Vortex methods and vortex motion [Text] / Karl E. Gustafson, James A. Sethian. — SIAM, 1991. — 212 p. — Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.1137/1.9781611971736>.
5. Holdstyt, M. A. Protsessy perenosy v zernystom sloe [Text] / M. A. Holdstyt, N. Y. Yavorskyi. — Novosybyrsk: Yn-t teplofyziky ym. S. S. Kutateladze SO RAN, 2005. — 358 p.
6. Alekseenko, S. V. Vvedenye v teoryiu kontsentryrovanykh vykhrei [Text] / S. V. Alekseenko, P. A. Kuibyn, V. L. Okulov. — Novosybyrsk: Yn-t teplofyziky SO RAN, 2003. — 503 p.
7. Kuzmin, A. Vortex centrifugal bubbling reactor [Text] / A. Kuzmin, M. Pravdina, A. Yavorsky, N. Yavorsky, V. Parmon // Chemical Engineering Journal. — 2005. — Vol. 107, № 1–3. — P. 55–62. doi:10.1016/j.cej.2004.12.010.
8. Borysov, Y. Y. Kontaktnyi teplomassoobmen pry okhlazhdeny vlahznoho vozdukh v vykhrevom barbotazhnom sloe [Text] / Y. Y. Borysov, A. A. Khalatov, S. V. Shevtsov // Promyshlennaia teplotekhnika. — 2005. — T. 27, № 1. — P. 13–17.
9. Mokhammed, A. D. Opredelenye optimalnoho razmera kapel v VRPMA [Text]: tezysy dokladov / A. D. Mokhammed, N. K. Al Khaiat Mokhamed // Mezhdunarodnaia nauchnotekhnicheskaiia konferentsyia «Tekhnolohyia-2012», 6–7 aprelia 2012 h. — P. 171–172.
10. Shylyayev, M. Y. Dvukhtemperaturnaia model teplomassoobmena pry formirovani puzyrei na otverstyakh hazoraspredelytelnykh reshetok barbotazhnykh apparatov [Text] / M. Y. Shylyayev, A. V. Tolstykh, A. N. Derenok, E. M. Khromova // Teplofyzika y aeromekhanika. — 2004. — Tom 11, № 1. — P. 127–136.

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ВИХРЕВОГО РАСПЫЛИВАЮЩЕГО ПРОТИВОТОЧНОГО МАССООБМЕННОГО АППАРАТА (ВРПМА) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОКАПЕЛЬНОГО ПОТОКА

В данной работе приведена методика выбора устойчивых режимов работы вихревого распыливающего противоточного массообменного аппарата (ВРПМА). Она включает расчет полета капель с учетом однородности потока и их взаимного влияния друг на друга. В результате теоретических и практических исследований удалось определить скорость потока газа и капель, соотношение центробежных сил и сил аэродинамического сопротивления.

Ключевые слова: массоперенос, скорость, устройство, вихрь, капля, аппарат, расчет.

Абдуллах Джалал Мохаммед, аспирант, кафедра процесів та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Сумський державний університет, Україна, e-mail: abdullahj783@gmail.com.

Ал Хайят Мохаммед Надим Касим, аспирант, кафедра процесів та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Сумський державний університет, Україна, e-mail: fench@ukr.net.

Абдуллах Джалал Мохаммед, аспирант, кафедра процесов и апаратов химических и нефтеперерабатывающих производств, Сумский государственный университет, Украина.

Ал Хайят Мохаммед Надим Касим, аспирант, кафедра процесов и апаратов химических и нефтеперерабатывающих производств, Сумский государственный университет, Украина.

Abdullah Jalal Mohammed, Sumy State University, Ukraine, e-mail: abdullahj783@gmail.com.

Al Hayat Mohammed Nadim Qasim, Sumy State University, Ukraine, e-mail: fench@ukr.net.