

ISSN 2518-1726 (Online),  
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Қазақстан Республикасының  
Ғылым Академиясының  
Әл-Фараби атындағы  
Қазақ ұлттық университетінің

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
Al-Farabi  
Kazakh National University

### SERIES PHYSICO-MATHEMATICAL

## 2 (336)

MARCH – APRIL 2021

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

---

*NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical 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. Физикалық-математикалық 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 физико-математическая» 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  
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі  
**Ғ.М. Мұтанов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

**Асанова А.Т.** проф. (Қазақстан)  
**Бошкаев К.А.** PhD докторы (Қазақстан)  
**Байгунчеков Ж.Ж.** проф., академик (Қазақстан)  
**Quevedo Hernando** проф. (Мексика)  
**Жүсіпов М.А.** проф. (Қазақстан)  
**Ковалев А.М.** проф., академик (Украина)  
**Калимолдаев М.Н.** проф., академик (Қазақстан)  
**Михалевич А.А.** проф., академик (Белорусь)  
**Мырзакулов Р.** проф., академик (Қазақстан)  
**Рамазанов Т.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Такибаев Н.Ж.** проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары  
**Тигиняну И.** проф., академик (Молдова)  
**Уалиев З.Г.** проф., чл.-корр. (Қазақстан)  
**Харин С.Н.** проф., академик (Қазақстан)

**«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».**

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінің Ақпарат комитетінде  
14.02.2018 ж. берілген № 16906-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

**Тақырыптық бағыты:** *физика-математика ғылымдары және ақпараттық  
технологиялар саласындағы басым ғылыми зерттеулерді  
жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.;  
тел.: 272-13-19; 272-13-18

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

---

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаева көш., 75.

Главный редактор  
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК  
**Г.М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

**Асанова А.Т.** проф. (Казахстан)  
**Бошкаев К.А.** доктор PhD (Казахстан)  
**Байгунчечков Ж.Ж.** проф., академик (Казахстан)  
**Quevedo Hernando** проф. (Мексика)  
**Жусупов М.А.** проф. (Казахстан)  
**Ковалев А.М.** проф., академик (Украина)  
**Калимолдаев М.Н.** проф., академик (Казахстан)  
**Михалевич А.А.** проф., академик (Беларусь)  
**Мырзакулов Р.** проф., академик (Казахстан)  
**Рамазанов Т.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Такибаев Н.Ж.** проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.  
**Тигиняну И.** проф., академик (Молдова)  
**Уалиев З.Г.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Харин С.Н.** проф., академик (Казахстан)

**«Известия НАН РК. Серия физика-математическая».**

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и коммуникаций Республики Казахстан № 16906-Ж, выданное 14.02.2018 г.

**Тематическая направленность:** *публикация приоритетных научных исследований в области физико-математических наук и информационных технологий.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел.: 272-13-19; 272-13-18

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

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

Editor in chief

doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK

**G.M. Mutanov**

Editorial board:

**Asanova A.T.** prof. (Kazakhstan)

**Boshkayev K.A.** PhD (Kazakhstan)

**Baigunchekov Zh.Zh.** prof., akademik (Kazakhstan)

**Quevedo Hemando** prof. (Mexico)

**Zhusupov M.A.** prof. (Kazakhstan)

**Kovalev A.M.** prof., academician (Ukraine)

**Kalimoldaev M.N.** prof., akademik (Kazakhstan)

**Mikhalevich A.A.** prof., academician (Belarus)

**Myrzakulov R.** prof., akademik (Kazakhstan)

**Ramazanov T.S.** prof., akademik (Kazakhstan)

**Takibayev N.Zh.** prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.

**Tiginyanu I.** prof., academician (Moldova)

**Ualiev Z.G.** prof., chl.-korr. (Kazakhstan)

**Kharin S.N.** prof., academician (Kazakhstan)

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Communications of the Republic of Kazakhstan No. 16906-Ж, issued on 14.02.2018.

**Thematic scope: *publication of priority research in the field of physical and mathematical sciences and information technology.***

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19; 272-13-18

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2021

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str., Almaty.

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 336 (2021), 165 – 171

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.37>

УДК 697 (075.8)

А. А. Генбач<sup>1</sup>, К. К. Шоколаков<sup>2</sup><sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи;<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи.

E-mail: natalja-genbach@rambler.ru; kudash@bk.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА  
В ПОРИСТОМ ПЫЛЕГАЗОУЛОВИТЕЛЕ  
С РАСПЫЛИТЕЛЕМ В ВИДЕ ТРУБЧАТОГО КОЛЬЦА**

**Аннотация.** Разработан и изучен безфорсуночный капиллярно-пористый пылегазоуловитель с пеногенерирующими и пеногасящими структурами. Пенный поток генерируется запыленным газом, очищаются микро- и ультрамикроскопические частицы, особенно опасные для организма человека. Определена устойчивость плёнки жидкости в пористой структуре при подаче пенообразующей жидкости распылителем в виде трубчатого кольца. Оптимизированы пеногенерирующая и пеногасящая структуры, за счет этого материалоемкость и габариты снижаются в 2–2,5 раза, гидравлическое сопротивление – в десятки раз (до ста раз), а газодинамическое – до двух раз.

**Ключевые слова:** тепломассообмен, гидрогазодинамика, пылегазоочистка, пеногенерация, капиллярно-пористые структуры.

Исследование процессов тепло- и массообмена в капиллярно-пористых структурах направлено на управление коэффициентом теплопередачи [1, 2]. Опытные данные по теплообмену обобщаются с точностью 20% для чистых жидкостей, паро(воздухо)-механических пен, для процессов кипения, пеногенерации, барботажа, вдува, отсоса и псевдооживления [2-5]. Для пылевых пенных потоков управление процессами пылеочистки осуществляется геометрией микроканалов [6, 7]. Подача пенообразователя и подвод энергии для выдувания пены происходят безфорсуночным способом в специально оптимизированных капиллярно-пористых структурах [8-13], в которых также регулируется выброс капель жидкости и генерация пены [13]. Разделение энергии общего потока газа на энергию волны и энергию необходимых компонентов газа дополнительно интенсифицирует процессы пеногенерации и повышает эффективность пылегазоочистки [5, 7, 10, 11].

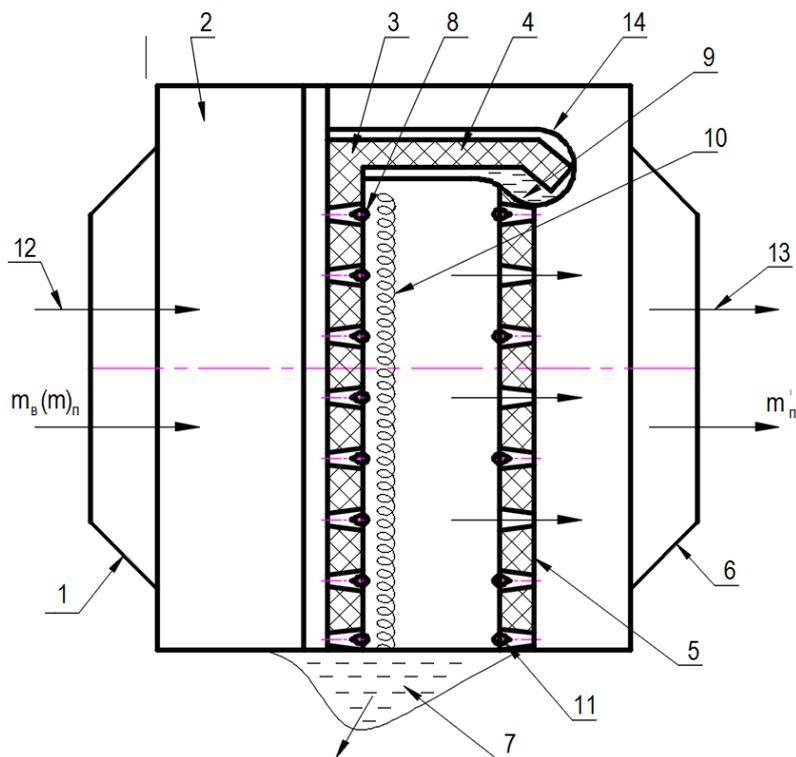
Исследуем и рассчитаем безфорсуночный капиллярно-пористый пылегазоуловитель.

Пылеуловитель состоит из патрубка подвода запыленного газа, соединенного с корпусом, в котором размещена пеногенерирующая пористая структура (рисунок).

Распылитель, выполненный в виде трубчатого кольца со щелью, снабжает пеногенерирующую пористую структуру и пеногасящую пористую структуру пенообразующим раствором.

Каждая последующая сетка пеногенерирующей сетчатой пористой структуры выполнена с увеличивающимся размером по ходу движения очищаемого газа, например, на металлических с размером ячеек на просвет: 0,08 x 0,14 x 1 (три последовательно установленные сетки с ячейками на просвет 0,08 x 10<sup>-3</sup> м; 0,14 x 10<sup>-3</sup> м; 1 x 10<sup>-3</sup> м соответственно), а каждая последующая сетка пеногасящей пористой структуры выполнена с уменьшающимся размером ячеек по ходу движения очищаемого газа, например, из металлических сеток с размером ячеек на просвет: 0,4 x 0,14 x 0,08. Размеры ячеек в пористых структурах определены авторами экспериментально.

Обеспеченный газ 13 удаляется из патрубка 6 отвода очищенного газа, а пыль – из шламосборника 7.



Капиллярно-пористый пылегазоуловитель

- 1 – входной патрубок; 2 – корпус пылеуловителя; 3 – пеногенерирующая пористая структура; 4 – капиллярно-пористая структура; 5 – пеногасящая пористая структура; 6 – выходной патрубок; 7 – шламоборник; 8 – растущие пузыри; 9 – пенообразующий раствор; 10 – парогазомеханическая пена; 11 – пузыри пены; 12 – запыленный газ ( $m_b, m_n$ ); 13 – очищенный газ ( $m_n'$ ); 14 – распылитель

Проведем исследование и инженерный расчет по оценке устойчивости работы пористых структур в пылеуловителе.

Распылитель 14, выполненный в виде трубчатого кольца со щелью для ввода торца пакета сеток 4, обеспечивает по сравнению с форсуночным распылителем равномерный подвод пенообразующего раствора 9 к пеногенерирующей 3 пористой структуре по всей поверхности сеток за счет комбинированного действия массовых и капиллярных сил.

Это создает устойчивый многофазный слой в объеме пористой структуры, существенно интенсифицируя процессы массопереноса и пылеулавливания по сравнению с волокнистыми насадками и другими подобными им мелкопористыми фильтрующими материалами: металлическими насадками из спеченных порошков и металлокерамики, поскольку в них даже при небольших массовых расходах происходит закупоривание мелких пор растущими пузырями газомеханической пены.

Используя в качестве фактора воздействия на пористую структуру удельный тепловой поток, нами определялась устойчивость пленки жидкости по перегреву поверхности пористого материала. Для волокнистых насадок, а также порошковых и керамических насадок при удельных тепловых потоках порядка  $2 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> наступает потеря устойчивости пограничного слоя в связи с запариванием пористой поверхности. Сетчатые пористые структуры, питаемые трубчатым распылителем, проявили существенно большую устойчивость многофазного пограничного слоя (таблица 1).

Таблица 1 – Устойчивость пленки жидкости в сетчатой структуре 0,08x0,14x1 при подводе жидкости распылителем в виде трубчатого кольца (опыты авторов, проведенные на модельных образцах в лабораторных условиях)

Фактор воздействия – удельный тепловой поток $q, \times 10^4, \frac{Вт}{м^2}$	6	8	10	20	40	60
Устойчивость пленки жидкости определялась по перегреву поверхности. $\Delta T = T_{ск} - T_n, К$	18	20	21	35	46	57

При тепловых потоках  $q > 10 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$  для сетчатых структур только при капиллярном подводе жидкости (без массовых сил) наступает закупоривание пузырьками ячеек сеток и прекращение их функционирования. Для волокнистых, спеченных металлических порошков, металлокерамических насадок нарушение работоспособности наблюдается даже при более низких тепловых нагрузках, чем  $10 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ .

Высокая устойчивость пленки жидкости в сетчатых структурах, питаемых трубчатым распылителем, позволяет сократить в 1,5-2 раза расход пенообразующего раствора при сохранении стойкости, дисперсности и высокократности пены, получаемый в пеногенерирующей структуре, что обеспечивает повышение коэффициента захвата пенным потоком пылинок мелких фракций и, как следствие, увеличивает коагулирующую способность пены.

Для расчета гидравлического сопротивления сетчатой структуры по транспорту жидкости воспользуемся уравнением Дарси [8].

При  $T = 20^\circ\text{C}$ , динамическая вязкость жидкости  $\mu = 1000 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;  $m_{\text{ж}}$  – расход жидкости,  $m_{\text{ж}} = m_{\text{п}} \beta + 1,5$ ;  $m_{\text{п}}$  – расход пены,  $m_{\text{п}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$ ; плотность жидкости  $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $F_{\text{ф}}$  – живое сечение пористой структуры:  $F_{\text{ф}} = \varepsilon F_{\text{ф}} = \varepsilon \delta_{\text{ф}} \cdot L = 0,7 \cdot 1,28 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,89 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ;  $\varepsilon$  – пористость структуры,  $\varepsilon = 0,7$ ;  $\delta_{\text{ф}}$  – толщина пористой структуры; для сеток из нержавеющей стали 12X18H9T (4МТУ-4-7-66) толщина сетчатой структуры  $0,08 \times 0,14 \times 1$  равна соответственно:

$$(0,1+0,18+1) \cdot 10^{-3} = 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$L$  – длина пористой структуры,  $L = 1 \text{ м}$ ;  $h$  – высота пористой структуры,  $h = 1 \text{ м}$ ; коэффициент, учитывающий долю газа, генерируемого в жидкости;  $K_{\text{y}}$  – условный коэффициент проницаемости; определен нами экспериментально:

$$K_{\text{y}} = 5,5 \cdot 10^{-7} \left(\frac{b_{\text{r}}}{d}\right)^{-1,29}, \quad (1)$$

где  $b_{\text{r}}$  – гидравлический диаметр структуры:

$$b_{\text{r}} = \frac{0,08+0,18+1}{3} \cdot 10^{-3} = 0,42 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$d$  – средний диаметр проволоки сетки;

$$d = \frac{0,055+0,09+0,5}{3} \cdot 10^{-3} = 0,22 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$\text{Тогда: } K_{\text{y}} = 5,5 \cdot 10^{-7} \left(\frac{0,42}{0,22}\right)^{-1,29} = 2,38 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2.$$

Гидравлическое сопротивление: по уравнению Дарси:

$$\Delta p = \frac{1,5 \mu_{\text{ж}} m_{\text{ж}} \cdot h}{\rho_{\text{ж}} \cdot F_{\text{ф}} \cdot K_{\text{y}}} \left(\frac{\beta^1}{1,5} + 1\right) = \frac{\mu_{\text{ж}} m_{\text{ж}} \cdot h}{\rho_{\text{ж}} \cdot F_{\text{ф}} \cdot K_{\text{y}}} = \frac{1 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{1000 \cdot 0,89 \cdot 10^{-3} \cdot 2,38 \cdot 10^{-7}} = 12 \text{ Па}.$$

Для волокнистых материалов максимальное значение проницаемости может составить  $\sim 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$  при минимальном размере пор  $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ . Тогда гидравлическое сопротивление волокнистых материалов возрастет в  $\frac{2,38 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-9}} \approx 120$  раз, т.е. будет значительно больше. Таким образом, с учетом условий эксплуатации гидравлическое сопротивление сетчатой структуры будет в десятки раз меньше, что позволяет сократить расходы энергии на подачу пенообразующего раствора.

Для расчета газодинамического сопротивления трехслойной сетчатой структуры типа  $0,08 \times 0,14 \times 1$  по просасыванию газа (воздуха) запишем уравнение:

$$\Delta p = \sum_1^3 \xi_{\text{Re}} \frac{\rho \cdot W_{\text{вх}}^2}{2}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность газа,  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ;  $W_{\text{вх}}$  – скорость газа на входе в структуру,  $W_{\text{вх}} = 3 \text{ м/с}$ ;  $\sum_1^3 \xi_{\text{Re}}$  – суммарный коэффициент газодинамического сопротивления.

Определяется по диаграмме 8 – 6 [14].

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{W_0 d}{\nu} = \frac{0,22 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-6}} = 62,9;$$

$W_0$  - скорость газа в ячейках;  $\varepsilon$  - пористость структуры,  $\varepsilon = 0,7$ ;  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости газа,  $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $d$  - средний диаметр проволоки сеток,  $d = 0,22 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

Поскольку  $Re > 50$ , то

$$\xi Re = K'_{Re} \xi_{np} = 1,3 \cdot 1 = 1,3.$$

Суммарный коэффициент сопротивления:

$$\sum_1^3 \xi Re = 3 \xi Re = 3 \cdot 1,3 = 3,9.$$

Окончательно получим:

$$\Delta p = 3,9 \frac{1,2 \cdot 3^2}{2} = 21,1 \text{ Па}.$$

Расчет газодинамического сопротивления трехслойной сетчатой структуры типа 0,4x0,14x0,08 будет аналогичны.

Определим газодинамическое сопротивление волокнистой структуры.

Воспользуемся диаграммой 8-8 [14] для фильтрующих материалов. Критерий

$$Re = \frac{w \cdot \delta}{\nu} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-6}} = 20,$$

где  $\delta$  – средний размер волокна,  $\delta = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

По диаграмме 8-8 определяем величину  $\xi = 7$  при толщине фильтра  $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

Окончательно получим:

$$\Delta p = 7 \frac{1,2 \cdot 3^2}{2} = 37,8 \text{ Па},$$

т.е. эта величина будет в  $\frac{37,8}{21,1} = 1,8$  раза больше, чем для сетчатых структур, что позволит экономить энергию на привод вентилятора (дымососа). В действительности экономия получится еще выше, так как толщина применяемых волокнистых структур больше, а размеры пор меньше принятых в расчете.

Опытные данные по интенсификации процессов тепло- и массообмена в различных сетчатых структурах,  $\lambda$ , Вт/м<sup>2</sup> К, сведем в таблицу 2.

Как видно из табл. 2, в наибольшей степени можно форсировать процесс в пограничном слое сетчатой пористой структуры типа 0,08x0,14x1 (пеногенерирующая пористая структура), а максимально ослабить процесс – в структуре типа 0,4x0,14x0,08 (пеногасящая структура). Пористые структуры, набранные из сеток с одинаковыми ячейками, существенно уступают по форсировке процесса в пограничном многофазном слое структура типа 0,08x0,14x1.

Таблица 2 - Результаты экспериментальных исследований для различных пористых структур,  $\lambda$ , Вт/м<sup>2</sup> \* К

Вид пористой структуры	Тепловая нагрузка, Вт/м <sup>2</sup> , x10 <sup>4</sup>			
	0,5	1	2	4
0,08x0,14x1	4510	4488	4332	4035
0,4x0,14x0,08	2620	1715	1320	1115
0,14x0,14x0,14	4320	4250	3820	3510
1x1x1	2300	2210	2200	2800

Организовать устойчивый процесс в многофазном слое с помощью волокнистых и им подобным фильтрующим материалам (металлокерамические, спеченные порошки) не удастся, так как пузыри пены закупоривают поры насадки, прекращая поступление свежих порций пенообразующей жидкости к пузырегенерирующим порам при тепловых нагрузках в 2-2,5 раза меньших, чем для сетчатых пористых структур.

Таким образом, за счет интенсификации процессов тепломассопереноса в сетчатых структурах при данной производительности материалоемкость и габариты могут быть снижены в 2-2,5 раза, а масса установки – в 3-4 раза по сравнению с волокнистыми насадками.

Таким образом, форсирование процесса в пеногенерирующей пористой структуре увеличивает эффективность улавливания микроскопической пыли, а подавление процесса пенообразования в пеногасящей пористой структуре увеличивает эффективность улавливания ультрамикроскопической пыли. Рост эффективности пылеулавливания связан с повышением коагулирующей способности газомеханической пены в объеме пористой структуры и на ее поверхности и ростом коэффициента захвата пылинок мелких фракций зарождающимся и гибнущим пенным потоком.

Социальный эффект будет иметь место за счет высокой эффективности улавливания микро- и ультрамикроскопической пыли в зарождающемся и гибнущем пенном потоке, особенно опасной для организма человека.

Технико-экономические показатели пылеуловителя не будут уступать существующим пенным пылеуловителям; максимально допустимая температура работы не ограничивается, то есть можно очищать от пыли горячие газы, отходящие от печей и котлоагрегатов электростанций; возможная конденсация паров воды может даже несколько улучшить осаждение пыли мелких фракций; взрыво- и пожароопасность будут сведены к нулю.

В целом, предложенное устройство позволяет сократить капитальные и эксплуатационные расходы на создание пылеуловителя, повысить условия безопасности труда работников и улучшить экологические условия окружающей среды (достичь высокого социального эффекта).

**А. А. Генбач<sup>1</sup>, К. К. Шоколаков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Техникалық ғылымының докторы, профессор «Алматы Энергетика және Байланыс Университеті»,  
<sup>2</sup>докторант АЭЖБУ, бас инженері ТОО «НИЦ Энергетика»

#### **ТҮТІКТІ ШЫҒЫРШЫҚ ТҮРІНДЕГІ БҮРІККІШІ БАР КЕУЕКТІ ШАҢГАЗУСТАҒЫШТАҒЫ ЖЫЛУ АЛМАСУДЫ ЗЕРТТЕУ**

**Аннотация.** Көбік генерациялаушы және көбік өшіруші құрылымдары бар форсункасыз капиллярлы-кеуекті шаң-газ ұстағыш әзірленді және зерттелді. Көбік ағыны тоздандырылған газбен генерацияланады, әсіресе адам ағзасына қауіпті микро және ультрамикроскопиялық бөлшектері таралады. Түтікші шығыршық түріндегі көбік қалыптастырушы сұйықтықты беру кезінде кеуекті құрылымда сұйықтық үлдірінің төзімділігі айқындалған. Көбік генерациялаушы және көбік өшіруші құрылымы оңтайландырылған, осының есебінен материал сыйымдылығы мен габариттері 2-2,5 есе, гидравликалық қарсыласуы – ондаған есе (жүз есеге дейін), ал газдинамикалығы – екі есеге дейін төмендейді.

**Түйін сөздер:** гидрогазды динамикасының жылу салмақты алмастырушы, шаң газ тазарту, капиллярлы-кебеулі құрылымдар

**A. A. Genbach<sup>1</sup>, K. K. Shokolakov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of technical sciences, professor of «Almaty university power engineering and telecommunication»,  
<sup>2</sup>doctoral student AUPET, chief engineer JSC «SEC Energetica»

#### **EXAMINATION OF HEAT EXCHANGE IN A POROUS DUST-GAS CATCHER WITH A RING-PIPE SPRAYER**

**Abstract.** Nozzle-free capillary-porous dust and gas trap with foam generating and defoaming structures was developed and studied. Foam flow is generated by dusty gas, micro and ultra microscopic particles, which are especially dangerous for human body, are cleaned. Stability of liquid film in the porous structure during supply of foam-forming liquid by a spray in the form of a tubular ring, was determined. Foam generating and defoaming structures have been optimized, due to this material consumption and dimensions are reduced by 2-2.5 times, hydraulic resistance - by dozens of times (up to one hundred times), and gas-dynamic - by up to two times.

**Key words:** heat-mass exchange, hydrogasdynamics, foam generation, capillary-porous structures.

**About information authors:**

Genbach A.A., doctor of technical sciences, professor of «Almaty university power engineering and telecommunication», Almaty, Kazakhstan; natalja-genbach@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6988-8587>;

Shokolakov K.K., doctoral student AUPET, chief engineer JSC «SEC Energetica», e-mail: kudash@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9112-1067>

**ЛИТЕРАТУРА**

[1] Поляев В.М., Генбач А.А. Управление теплообменом в пористых структурах // Известия Российской академии наук. «Энергетика и транспорт». - 1992. Т.38, №6. - С. 105-110.

[2] Поляев В.М., Генбач А.А. Теплообмен в пористой системе, работающий при совместном действии капиллярных и гравитационных сил // Теплоэнергетика. - 1193. №7. - С. 55-58.

[3] Генбач А.А., Кульбакина Н.В. Пылеподавление и пылеулавливание с помощью циркуляционного пеногенератора с пористой структурой // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. - 2010. - №4. - С. 62-65.

[4] Поляев В.М., Генбач А.А. Управление внутренними характеристиками кипения в пористой системе // Криогенная техника и кондиционирование: сборник трудов МГТУ. 1991.- С. 224-237.

[5] Поляев В.М., Генбач А.А. Применение пористой системы в энергетических установках // Промышленная энергетика. - 1192. №1. - С. 40-43.

[6] Генбач А.А., Пионтковский М.С. Пористый пылегазоуловитель с управляемой геометрией микроканалов // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. - 2010. - №4. - С. 59-61.

[7] Поляев В.М., Генбач А.А., Минашкин Д.В. Процессы в пористом эллиптическом теплообменнике // Известия вузов. Машиностроение. - 1991. - №4. - 6. - С.73-77.

[8] Генбач А.А., Генбач Н.А. Исследование пеногенератора с обогреваемой поверхностью // Вестник АИЭС. - Алматы. - 2009. - №4. - С.24-27.

[9] Генбач А.А., Генбач Н.А. Исследование капиллярно-пористых систем в тепловых энергетических установках электростанций // Вестник АИЭС. - Алматы. - 2011. - №2(13). - С.57-62.

[10] Генбач А.А., Генбач Н.А. Применение капиллярно-пористых систем в тепловых энергетических установках электростанций // Вестник АИЭС.-Алматы.-2011.-№3(14). - С.4-11.

[11] Polyayev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. Methods of Monitoring Energy Processes // Experimental thermal and fluid science, International of Thermodynamics, Experimental Heat Transfer, and Fluid Mechanics. Avenue of the Americas. – New York, volum 10, april, 1995. – p.273-286.

[12] Генбач А.А., Шоколаков К. Пористый пенный пылеуловитель. МОН РК, Международный научный журнал - приложение Республики Казахстан – Поиск №2 /2011 С. 266-271.

[13] Поляев В.М., Генбач А.А. Плотность центров парообразования и выброс капель из пористой структуры // Известия вузов. Машиностроение. -1990. №9. - С.50-55.

[14] Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.

[15] Генбач А.А., Шоколаков К.К. Development of an experimental plant of a non-nozzle porous foam generator for producing of air (steam) and mechanical foam. Вестник НАН РК. №1, 2018, p.43-47.

[16] Генбач А.А., Шоколаков К.К. Development of nozzle-free capillary porous dust-and-gas collectors with foam generating and defoaming structures. Доклады НАН РК. №2, 2018, p.5-8.

**REFERENCES**

[1] Polyayev V.M., Genbach A.A. Upravlenie teploobmenom v poristih strukturah // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. «Energetika i transport». 1992. Т.38, №6. S. 105-110.

[2] Polyayev V.M., Genbach A.A. Teploobmen v poristoi sisteme, rabotaushii pri sovmestnom deistvii kapillyarnih i gravitacionnih sil // Теплоэнергетика. 1193. №7. S. 55-58.

[3] Genbach A.A., Kulbakina N.V. Pilepodavlenie i pileulavlvanie s pomoshu cirkuluacionnogo penogeneratora s poristoi strukturoi // Energetika i toplivnie resursi Kazakhstana. 2010. №4. S. 62-65.

[4] Polyayev V.M., Genbach A.A. Upravlenie vnutrennimi harakteristikami kipeniya v poristoi sisteme // Kriogennaya tehnika i kondicionirovanie: sbornik trudov MGTU. 1991.S. 224-237.

- [5] Polyayev V.M., Genbach A.A. Primenenie poristoi sistemi v energeticheskikh ustanovkakh // Promishlennaya energetika. 1192. №1. S. 40-43.
- [6] Genbach A.A., Piontskovskii M.S. Poristii pilegazoulovitel s upravlyaemoi geometriei mikrokanalov // Energetika i toplivnie resursi Kazahstana. 2010. №4-S. 59-61.
- [7] Polyayev V.M., Genbach A.A., Minashkin D.V. Processi v poristom ellipticheskom teploobmennike // Izvestiya vuzov. Mashinostroenie. 1991. №4-6. S.73-77.
- [8] Genbach A.A., Genbach N.A. Issledovanie penogeneratora s obogrevaemoi poverhnostu // Vestnik AIES. Almaty. 2009. №4. S.24-27.
- [9] Genbach A.A., Genbach N.A. Issledovanie kapillyarno-poristih sistem v teplovihi energeticheskikh ustanovkakh elektrostancii // Vestnik AIES.-Almaty. 2011. №2(13). S.57-62.
- [10] Genbach A.A., Genbach N.A. Primenenie kapillyarno-poristih sistem v teplovihi energeticheskikh ustanovkakh elektrostancii // Vestnik AIES. Almaty. 2011. №3(14). S.4-11.
- [11] V.M. Polyayev, A.N. Genbach, A.A. Genbach. Methods of Monitoring Energy Processes // Experimental thermal and fluid science, International of Thermodynamics, Experimental Heat Transfer, and Fluid Mechanics. Avenue of the Americas. New York, volum 10, april, 1995. p.273-286.
- [12] Genbach A.A., Shokolakov K. Poristii pennii pileulovitel. MON RK, Mezhdynardnii nauchnii zhurnal - prilozhenie Respubliki Kazakhstan. Poisk №2 /2011 S. 266-271.
- [13] Polyayev V.M., Genbach A.A. Plotnost centrov paroobrazovaniya i vibros kapel iz poristoi strukturi // Izvestiya vuzov. Mashinostroenie. 1990. №9.S. 50-55.
- [14] Idelchik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam. M. Mashinostroenie, 1975. 559 c.
- [15] Генбач А.А., Шоколаков К.К. Development of an experimental plant of a non-nozzle porous foam generator for producing of air (steam) and mechanical foam. Bulletin of NAS RK. Volume 1, 2018, PP.43-47. ISSN 2518-1467 (Online), ISSN 1991-3494 (Print)
- [16] Генбач А.А., Шоколаков К.К. Development of nozzle-free capillary porous dust-and-gas collectors with foam generating and defoaming structures. Reports of NAS RK. Volume 2, 2018, PP.5-8. ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)
- [17] Сағынғанова И. К., Маркин В.Б. The organizations of the tasks implementation in the distributed automatic control systems of heat supply stations. News of NAS RK. Series of geology and technical sciences. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.7> ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)
- [13] A. A. Genbach, K.K. Shokolakov, D.Y. Bondartsev. Model of liquid boiling in the actual porous structure at the near-critical area with further transfer to the limit state of coating. Reports of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1483.32> ISSN 2224-5227 Volume 2, Number 324 (2019), 13–19.

**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](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 сайтах:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

**ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)**

Редакторы: *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*  
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 15.04.2021.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

11,6 п.л. Тираж 300. Заказ 2.