

ISSN 2518-170X (Online),
ISSN 2224-5278 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
Қ. И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский
технический университет им. К. И. Сатпаева

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Kazakh national research technical university
named after K. I. Satpayev

ГЕОЛОГИЯ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР СЕРИЯСЫ



СЕРИЯ ГЕОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

3 (429)

МАМЫР – МАУСЫМ 2018 ж.
МАЙ – ИЮНЬ 2018 г.
MAY – JUNE 2018

ЖУРНАЛ 1940 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1940 г.
THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940.

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

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of geology and technical sciences 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 geology and technical sciences in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of geology and engineering sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы "ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар 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. Геология және техникалық ғылымдар сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді геология және техникалық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук» 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. Серия геологии и технических наук в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по геологии и техническим наукам для нашего сообщества.

Б а с р е д а к т о р ы

э. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА академигі

И.К. Бейсембетов

Бас редакторының орынбасары

Жолтаев Г.Ж. проф., геол.-мин. ғ. докторы

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Абаканов Т.Д. проф. (Қазақстан)
Абишева З.С. проф., академик (Қазақстан)
Агабеков В.Е. академик (Беларусь)
Алиев Т. проф., академик (Әзірбайжан)
Бакиров А.Б. проф., (Қырғыстан)
Беспәев Х.А. проф. (Қазақстан)
Бишимбаев В.К. проф., академик (Қазақстан)
Буктуков Н.С. проф., академик (Қазақстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Тәжікстан)
Грэвис Р.М. проф. (АҚШ)
Ерғалиев Г.К. проф., академик (Қазақстан)
Жуков Н.М. проф. (Қазақстан)
Кенжалиев Б.К. проф. (Қазақстан)
Қожахметов С.М. проф., академик (Қазақстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Ресей)
Курскеев А.К. проф., академик (Қазақстан)
Курчавов А.М. проф., (Ресей)
Медеу А.Р. проф., академик (Қазақстан)
Мұхамеджанов М.А. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Нигматова С.А. проф. (Қазақстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Қазақстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Ракишев Б.Р. проф., академик (Қазақстан)
Сейтов Н.С. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Сейтмуратова Э.Ю. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (АҚШ)
Штейнер М. проф. (Германия)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология мен техникалық ғылымдар сериясы».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

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

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде 30.04.2010 ж. берілген №10892-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,
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2018

Редакцияның Қазақстан, 050010, Алматы қ., Қабанбай батыра көш., 69а.

мекенжайы: Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, 334 бөлме. Тел.: 291-59-38.

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. э. н., профессор, академик НАН РК

И. К. Бейсембетов

Заместитель главного редактора

Жолтаев Г.Ж. проф., доктор геол.-мин. наук

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

Абаканов Т.Д. проф. (Казахстан)
Абишева З.С. проф., академик (Казахстан)
Агабеков В.Е. академик (Беларусь)
Алиев Т. проф., академик (Азербайджан)
Бакиров А.Б. проф., (Кыргызстан)
Беспаяев Х.А. проф. (Казахстан)
Бишимбаев В.К. проф., академик (Казахстан)
Буктуков Н.С. проф., академик (Казахстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Таджикистан)
Грэвис Р.М. проф. (США)
Ергалиев Г.К. проф., академик (Казахстан)
Жуков Н.М. проф. (Казахстан)
Кенжалиев Б.К. проф. (Казахстан)
Кожаметов С.М. проф., академик (Казахстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Россия)
Курскеев А.К. проф., академик (Казахстан)
Курчавов А.М. проф., (Россия)
Медеу А.Р. проф., академик (Казахстан)
Мухамеджанов М.А. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Нигматова С.А. проф. (Казахстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Казахстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Ракишев Б.Р. проф., академик (Казахстан)
Сейтов Н.С. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Сейтмуратова Э.Ю. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (США)
Штейнер М. проф. (Германия)

«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (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 №10892-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/geology-technical.kz>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2018

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

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

E d i t o r i n c h i e f

doctor of Economics, professor, academician of NAS RK

I. K. Beisembetov

Deputy editor in chief

Zholtayev G.Zh. prof., dr. geol-min. sc.

E d i t o r i a l b o a r d:

Abakanov T.D. prof. (Kazakhstan)
Abisheva Z.S. prof., academician (Kazakhstan)
Agabekov V.Ye. academician (Belarus)
Aliyev T. prof., academician (Azerbaijan)
Bakirov A.B. prof., (Kyrgyzstan)
Bespayev Kh.A. prof. (Kazakhstan)
Bishimbayev V.K. prof., academician (Kazakhstan)
Buktukov N.S. prof., academician (Kazakhstan)
Bulat A.F. prof., academician (Ukraine)
Ganiyev I.N. prof., academician (Tadjikistan)
Gravis R.M. prof. (USA)
Yergaliev G.K. prof., academician (Kazakhstan)
Zhukov N.M. prof. (Kazakhstan)
Kenzhaliyev B.K. prof. (Kazakhstan)
Kozhakhmetov S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Kontorovich A.Ye. prof., academician (Russia)
Kurskeyev A.K. prof., academician (Kazakhstan)
Kurchavov A.M. prof., (Russia)
Medeu A.R. prof., academician (Kazakhstan)
Muhamedzhanov M.A. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Nigmatova S.A. prof. (Kazakhstan)
Ozdoev S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Postolatii V. prof., academician (Moldova)
Rakishev B.R. prof., academician (Kazakhstan)
Seitov N.S. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Seitmuratova Ye.U. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Stepanets V.G. prof., (Germany)
Humphery G.D. prof. (USA)
Steiner M. prof. (Germany)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences.

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

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

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 10892-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2018

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev
69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

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

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 3, Number 429 (2018), 300 – 308

A. A. Genbach¹, K. K. Shokolakov^{1,2}

¹Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan,

²Joint Stock Company "Kazakh Institute of Oil and Gas", Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kudash@bk.ru

**DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL PLANT OF
A NON-NOZZLE POROUS FOAM GENERATOR FOR PRODUCING
WITH FOAM GENERATING AND DEFOAMING STRUCTURES**

Abstract. On the basis of studies of heat-mass exchange processes by boiling of pure liquids and with the addition of surface-active agents, a new class of non-nozzle porous foam generator for producing of air (steam) and mechanical foam was developed. The results of the experiment are generalized by the criteria equations of heat-mass exchange with an accuracy of $\pm 20\%$ with respect to the processes of bubbling, foam generation, pseudo-fluidization and boiling. The combined action of capillary and mass forces for capillary-porous structures of the 3x0,4 type made it possible to boost the operating mode of the foam generator by 1,5-2 times and reduce the consumption of the foam generating agent and reduce the hydraulic resistance tenfold. The nozzle-free foam generators of air mechanical foam were designed along with its case, inlet and outlet nozzles, a set of grids and sprayer. They help to conduct foam generation processes with high effectiveness under low hydro-and-gas dynamic resistance. For further enhancement of the combined processes of gas mechanical foam and collecting micro-and-ultramicroscopic dust, a dust collector along with its case, inlet and outlet nozzles, a set of grids and sprayer was proposed, which is equipped with defoaming grid porous structure, whereas foam generating and defoaming structures are installed into in case consequently as per the dusty gas movement and sludge collector. Besides, each subsequent grid of foam generating porous structure is made with the increased size of cells following the cleanable gas; e.g. made of metal cells for clearance 0,08*0,14*1, and defoaming made of grids with decreasing size of cells following the cleanable gas, e.g made of metal cells for clearance 0,4*0,14*0,08.

Key words: porous foam generator, foam generation, foaming, defoaming, heat-mass exchange, capillary-porous structures.

УДК 614.843 (088.8)

А. А. Генбач¹, К. К. Шоколаков^{1,2}

¹Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан,

²АО «Казахский институт нефти и газа», Алматы, Казахстан

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
БЕЗФОРСУНОЧНОГО ПОРИСТОГО ПЕНОГЕНЕРАТОРА
ВОЗДУШНО(ПАРО)-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ
С ПЕНОГЕНЕРИРУЮЩИМИ И ПЕНОГАСЯЩИМИ СТРУКТУРАМИ**

Аннотация. На основе исследований процессов тепло-массообмена кипением чистых, жидкостей и с добавкой поверхностно-активных веществ разработан новый класс безфорсуночных капиллярно-пористых пеногенераторов воздушно(паро)-механической пены. Результаты эксперимента обобщаются критериальными уравнениями тепло- и массообмена с точностью $\pm 20\%$ применительно к процессам барботажа, пеногенерации, псевдооживления и кипения. Совместное действие капиллярных и массовых сил для капиллярно-

пористых структур вида $3 \times 0,4$ позволило форсировать в 1,5-2 раза режим работы пеногенератора, сократить расход пенообразователя и в десятки раз уменьшить гидравлическое сопротивление. Разработаны безфорсуночные пеногенераторы воздушно-механической пены, содержащий корпус, входной и выходной патрубки, пакет сеток, распылитель. Они позволяют проводить процессы генерации пены с высокой эффективностью при малых гидро- и газодинамических сопротивлениях. Для дальнейшей интенсификации совместных процессов генерации газомеханической пены и улавливания микро- и ультрамикроскопической пыли предложен пылеуловитель, содержащий корпус, выходной и выходной патрубки, пакет сеток, распылитель, который снабжен пеногасящей сетчатой пористой структурой, причем пеногенерирующая и пеногасящая структуры установлены в корпусе последовательно по ходу движения запыленного газа, и шламособорником. Кроме того, каждая последующая сетка пеногенерирующей сетчатой пористой структуры выполнена с увеличивающимся размером ячеек по ходу движения очищаемого газа, например, из металлических с размером ячеек на просвет: $0,08 \times 0,14 \times 1$, а пеногасящая – из сеток с уменьшающимся размером ячеек по ходу движения очищаемого газа, например, из металлических с размером ячеек на просвет: $0,4 \times 0,14 \times 0,08$.

Ключевые слова: пористый пеногенератор, пеногенерация, пенообразование, пеногашение, теплообмен, капиллярно-пористые структуры.

Исследование процессов теплообмена при кипении чистых жидкостей в капиллярно-пористых структурах, разработка способов управления этими процессами [1] позволило обобщить эксперименты с чистыми пенными и запыленными пенными потоками и изучить единое уравнение для расчета теплообмена и массообмена с точностью $\pm 20\%$ [2], причем обобщались процессы кипения, барботажа, псевдооживления и пеногенерации.

На основе таких исследований разработан новый класс безфорсуночных пеногенераторов и пенопылегазоуловителей с барботажными капиллярно-пористыми решетками [3], так и с пеногенерирующими и пеногасящими структурами, ориентированными вертикально. За счет управления внутренними характеристиками двухфазных потоков [4] сконструированы различные устройства пено-пылеулавливания [5-13]. Стало возможно повысить эффективность пылегазоулавливания за счет управления геометрией микроканалов пористого материала [6], разделение потока на энергию волны и энергию газов (паров) [7, 11], создание генератора пены путем подвода электроэнергии (без набегающего потока) [8], разработки турбулизаторов в виде пеногенерирующих и пеногасящих пористых структур, использующих совместное действие гравитационных и капиллярных сил, сил давления и вибрации.

В а. с. №358012, 1972 описан способ электростатической очистки газов, где электризацию осадительных элементов производят, используя трибоэффект. Данный эффект использовали и ранее, однако при электризации фильтрующих элементов на них образовывался проводящий слой, который снижал электростатическую составляющую фильтрации. В рассматриваемом способе будет повышена эффективность электростатических фильтров, поскольку электризацию предлагается осуществить путем циркуляции взвешенного, тонкодисперсного электризирующего агента в полых осадительных элементах.

Способ электростатической очистки газов /а.с. 358012, 1972/ по эффективности пылеосаждения превосходит известные способы, однако в отличие от них он имеет низкую производительность пылеосаждения.

Таким образом, используя трибоэффект можно увеличить эффективность электризации пыли в воздушном потоке, однако необходимо решить задачу по увеличению производительности пылеочистки.

Дополнением к способам очистки газов от пыли является способ /а.с. 247241, 1969/, в котором предлагается улавливать тонкие аэрозоли путем зарядки частиц аэрозоля при осаждении на них электростатически распыляемой легко испаряющейся жидкости, причем пар жидкости конденсируют для повторного использования. Такой способ имеет преимущество над способом пылеулавливания зарядкой частиц электростатически распыленной водой, так как при взаимном притяжении частиц пыли и капелек распыленной воды, происходит их слипание, укрупнение частиц с нейтрализацией зарядов.

Общим недостатком электрических способов является незначительный размер и рыхлая структура образующихся конгломератов пылевых частиц. При соударении они могут легко разрушаться. Особенно низкую эффективность процесса пылеподавления следует ожидать при

осаждении мелкодисперсной пыли. Следовательно, необходимо разработать способ осаждения пыли, который бы позволил существенно повысить прочность и устойчивость разрушению образующихся пылевых конгломератов при обработке воздушного запыленного потока электрическим полем при сохранении высокой производительности пылеочистки.

Интересен способ обеспыливания воздуха с применением пористых полотен /а.с. №368413, 1973/. Для повышения эффективности улавливания пыли запыленный поток пропускают между параллельно расположенными полотнами, которые смачивают жидкостью. Движущийся поток воздуха приводит полотна в колебательные движения из-за неоднородности профиля скоростей. Частички пыли, находясь в турбулентном потоке воздуха, увлажняются, подвергаясь столкновениям и коагулируются. Увлажнение ткани осуществляется путем подачи воды к трубчатой раме, на которой закреплены полотна.

Для достижения необходимой эффективности пылеулавливания потребуется проведение многочисленных экспериментальных исследований при различных режимных параметрах, а также новые конструктивные разработки для формирования аэродинамической структуры запыленного воздушного потока.

Известен способ пылеподавления, основанный на использовании насыщенного водяного пара. При конденсации пара возникает область пониженного давления, в которую устремляются пылинки, и могут быть уловлены. К недостаткам данного способа можно отнести его низкую эффективность, обусловленную нерациональным использованием генерируемого пара в целях пылеподавления. К тому же, для достижения требуемых норм запыленности, необходимы большие расходы пара, а, следовательно, неоправданные затраты на выработку пара.

Близким к описанному способу можно считать способ (а.с. №130461), где производится смешение пылевоздушного потока со струей пара с последующим осаждением паропылевого потока распыленной водой.

При такой организации процесса также следует ожидать низкую степень пылеулавливания. Конденсационный эффект будет проявляться нестабильно, носить вероятностный характер, зависящий от случайных столкновений распыленных капелек воды с молекулами водяного пара и будет определяться степенью турбулентности пылевоздушного потока. При насыщении пылевоздушного потока паром эффективность коагуляции пыли следует ожидать незначительной. Поэтому водяной пар и распыленная вода используется нерационально, имеются повышенные расходы пара и воды.

При изучении движения аэрозольных частиц в поле диффузии пара показано, что аэрозольные частицы особенно интенсивно удаляются вблизи холодной поверхности. Аэрозоли со скоростью 1 м/с пропускали через конденсатор длиной 0,5 м и шириной 5×10^{-3} м. Металлическая стенка омывалась водой с температурой на входе в конденсатор 20°C и на выходе из него около минус 70°C. Концентрация частиц составляла 1012 частиц/м³. Степень улавливания колебалась в больших пределах (75-95%). Механизм процессов пылеулавливания объяснен двумя положениями: 1) конденсационным укрупнением аэрозольных частиц как на ядрах конденсации; 2) направленным движением молекул пара преимущественно к холодной поверхности.

Механизм процесса осаждения пыли очень сложный, хотя можно указать основные действующие факторы: движущей силой аэрозольных частиц является стефановский поток конденсирующегося пара, к тому же она усиливается наличием диффузионных, термофоретических сил и конвективных потоков, крупные частицы удаляются из потока за счет гравитационных и центробежных сил; некоторое число частиц в паровоздушном потоке уменьшается за счет процесса коагуляции.

Исследование механизма процесса пылеулавливания в поле диффузии пара требует дальнейшего развития, особенно это относится к интенсификации процессов конденсации пара, равномерности распределения жидкостной пленки, разработке новых устройств питания пылевого воздушного потока насыщенным паром.

Некоторая интенсификация процессов пылеулавливания может быть достигнута за счет наложения дополнительных источников энергии /а.с. №1032197, 1983/. Предлагается водяной пар и диспергированную воду заряжать разноименно, причем воду необходимо предварительно омагнитить. В бункер с горной массой по ходу ее движения подается пар, который проходит через элек-

трическое поле, сформированное на выходе из парового сопла. Паропылевоздушный поток, покидая бункер, конденсируется на распыленных форсункой каплях электрически заряженной, предварительно омагниченной воды.

При весовом расходе пара, равном 7×10^{-3} кг/с и более, относительная запыленность воздуха достигает 3-6% и становится автомоделной относительно расхода пара. Увеличение эффективности процесса в описанной конденсационной системе пылеподавления происходит в 1,5-2 раза (видимо, по отношению к конденсационной системе без электрической зарядки пара, воды и омагничивания воды). Также неясно, как влияет процесс омагничивания воды, и какой вклад электрической зарядки отдельно для пара и воды.

Полученный эффект объяснен тем, что при подаче в очаг пыли разноименно электростатически заряженных аэрозолей пара и воды из-за электрических сил притяжения между молекулами пара и каплями воды происходит более интенсивная и упорядоченная конденсация пара на каплях воды. У поверхности конденсации возникает большее, чем при незаряженных аэрозолях, гидродинамическое течение запыленной среды, направленное к каплям, которое притягивает пылинки и способствует их захвату каплями, за счет чего происходит коллективное осаждение пылинок. Коэффициент захвата частичек пыли каплями воды также возрастает за счет уменьшения сил поверхностного натяжения электростатически заряженных капель.

Описанный способ пылеподавления имеет дополнительный эффект по осаждению пылевых частиц, однако достигается это большой ценой: необходима электрическая зарядка пара, воды, омагничивание воды, что серьезно усложняет схему конденсирующей системы пылеподавления, требует дополнительных затрат на создание электрических полей и на обеспечение условий электробезопасности работающих.

Таким образом, дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования процессов пылеулавливания должны быть направлены на создание новых конструктивных решений, в основе которых могут быть положены рассмотренные способы с применением испарительно-конденсационных многофазных систем пылеулавливания и поверхностно-активных веществ.

Главным образом, при существующих типах пенообразующих веществ, возлагаются надежды на новые аэродинамические схемы и конструкции, которые будут определять протекание процесса пылеосаждения, существенно увеличивая степень очистки запыленного потока, являясь надежными, простыми в изготовлении и эксплуатации, удовлетворяющие требованиям техники безопасности при эксплуатации оборудования [8-13].

На рисунке 1 представлен новый класс безфорсуночного пеногенератора с пеногенирующей капиллярно-пористой структурой 2. Экспериментальная установка по исследованию процессов генерации воздуха (паро)-механической пены показана на рисунке 2.

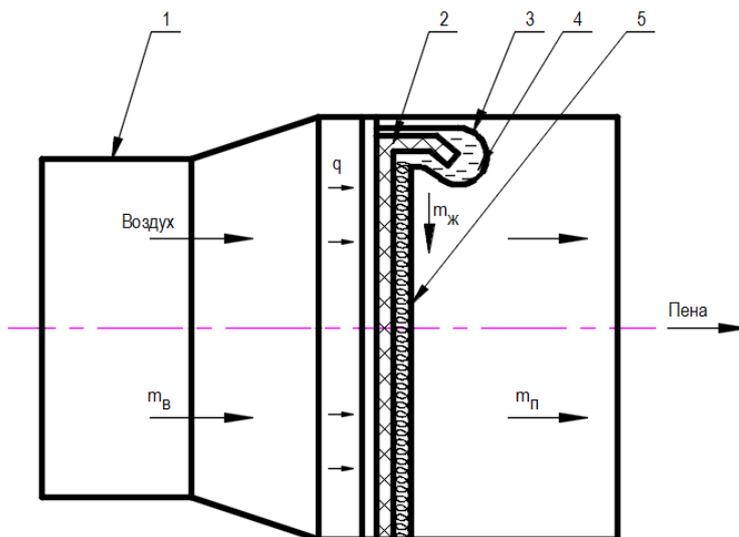


Рисунок 1 – Безфорсуночный капиллярно-пористый пеногенератор воздушно(паро)-механической пены:

1 – цилиндрический корпус; 2 – капиллярно-пористая структура; 3 – распылитель (питающая артерия); 4 – пенообразующий раствор; 5 – воздушно (паро) – механическая пена; $m_в$, $m_ж$, $m_п$ – расходы воздуха (пара), жидкости (пенообразующего раствора), пены; q – плотность энергии набегающего (пенообразующего) потока

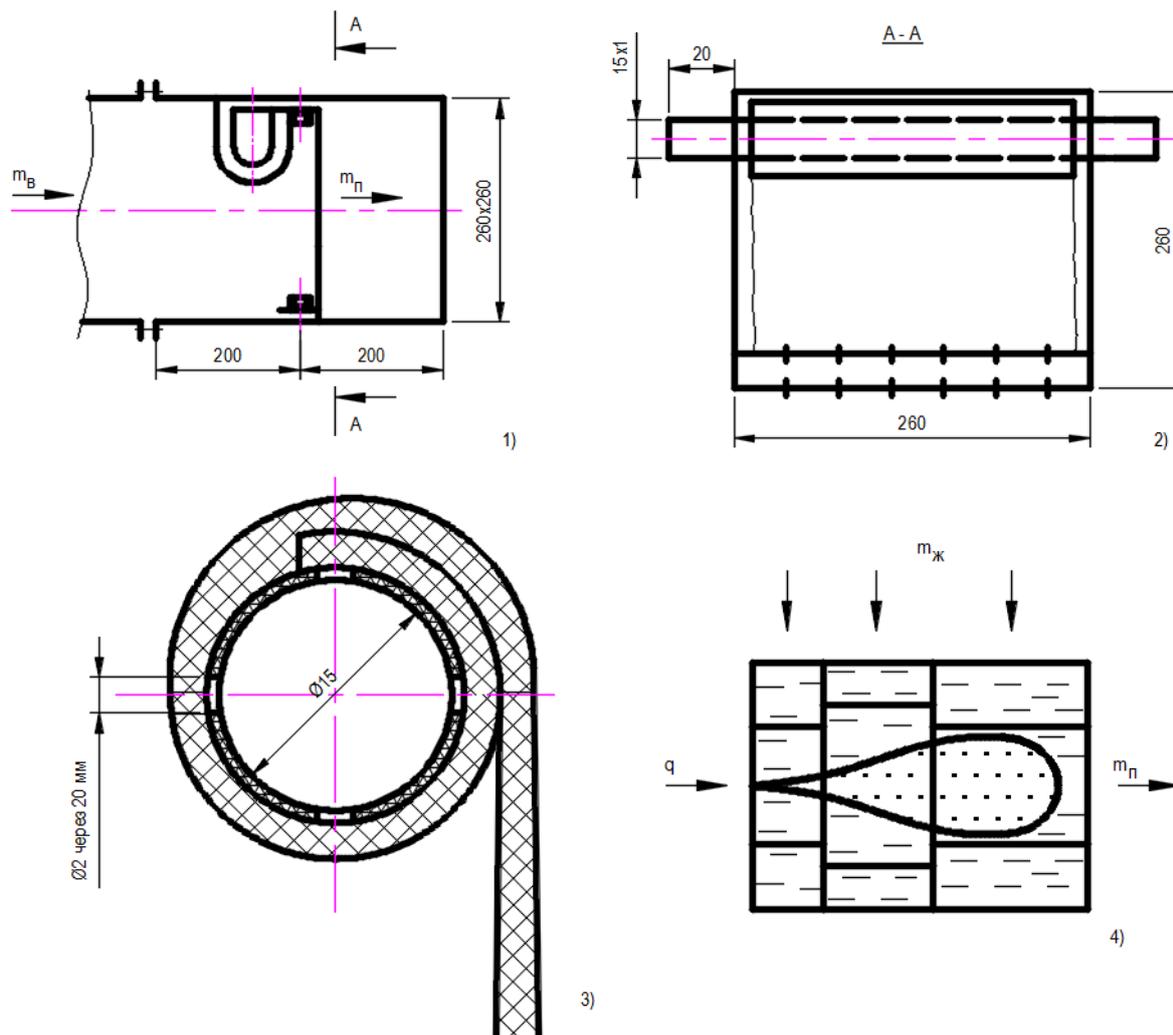


Рисунок 2 – Экспериментальная установка по исследованию процессов генерации пены:
1 – пеногенератор; 2 – распылитель; 3 – соединение капиллярно-пористой структуры; 4 – динамика пузыря в структуре

Комбинированное использование массовых и капиллярных сил обеспечивает создание равномерного и устойчивого распределения пленки пенообразующего раствора по всей капиллярно-пористой структуре вида $3 \times 0,4$ (три слоя сетки с шириной ячейки в свету $0,4 \times 10^{-3}$ м). Это позволяет форсировать в 1,5-2 раза режим работы пеногенератора, сократить расход пенообразователя при сохранении стойкости, дисперсности и высокократности пены.

Величина гидравлического сопротивления будет в десятки раз меньше (нет форсунки), чем в пеногенераторах ГВПВ-400 или ППГ-4.

Исследование процессов теплообмена кипением чистых жидкостей в капиллярно-пористых структурах выявило поведение внутренних (термогидравлических) характеристик (зарождение паровой фазы, плотность центров генерации, выброс капель из структуры, отрывной диаметр и частота отрыва пузырей, скорость роста пузырей [11, 13-16]. Были разработаны различные пористые системы применительно к тепловым энергетическим установкам [17] и с целью их расчета обработаны экспериментальные данные с точностью $\pm 20\%$ в виде критериального уравнения для барботажа, вдува, отсоса, псевдооживления, пеногенерации [18] и сконструированы высокоэффективные безфорсуночные капиллярно-пористые пылегазоуловители с пеногенерирующими и пеногасящими структурами [3, 6-8, 12].

Рассмотрим характерный аппарат из нового класса безфорсуночных пылегазоуловителей. Изобретение авторов «Пылеуловитель» [а.с. №1456608, МКИ E21F 5/04, 1989] относится к различным областям народного хозяйства для высокоэффективной очистки газа (воздуха) от микро-

ультрамикроскопической пыли (фракций размером менее $5 \cdot 10^{-6}$ м и $0,25 \cdot 10^{-6}$ м соответственно), например, при сжигании топлива, переработке и транспортировке пылящих материалов, при удалении вентиляционных выбросов.

Известен пенный аппарат для улавливания газов и аэрозолей [а.с.№309717, кл.В. ОIд 47/04, 1971], содержащий патрубки ввода и удаления газа, корпус, волокнистую насадку, расположенную в корпусе, прокладку-перегородку, каплеотбойник.

Недостатком устройства является низкая эффективность улавливания микро- и ультрамикроскопической пыли, определяемая размерами пор насадки, что в свою очередь создает высокую материалоемкость, большие гидравлические сопротивления по движению жидкости и газодинамические сопротивления при прокачке газа (воздуха).

Небольшая продолжительность работы между регенерациями за счет забивания пор волокнистой насадки является серьезной проблемой. Пена образуется вне пористого тела и набрасывается на его поверхность. Это снижает эффективность улавливания пыли и интенсивность процессов массопереноса, что приводит к росту материалоемкости, габаритов и массы аппарата.

Поток газа, проходя через волокнистую насадку, преодолевает большое газодинамическое сопротивление. Это связано с перерасходом энергии на его прокачку. Продолжительность работы между регенерациями такого аппарата будет невысокой, поскольку поры в волокнах начнут забиваться пылинками. Все это усложняет эксплуатацию аппарата и уменьшает его надежность.

В предлагаемых капиллярно-пористых структурах безфорсуночного пылегазоуловителя [3, 6-8, 12] высокую эффективность улавливания микро- и ультрамикроскопической пыли можно объяснить диффузионным механизмом осаждения пыли в пенном потоке в объеме и на поверхности структуры, когда пылинки испытывают непрерывное воздействие молекул газа, находящегося в броуновском движении, причем подвижность частиц будет увеличена путем термофореза, возникающего за счет разности температур между скелетом пористой структуры, пенного потока и частицами пыли, и за счет диффузиофореза, вызванного градиентом концентрации компонентов пенного потока, усиленным процессами испарения пенообразующего раствора в объеме пористой структуры и частичной конденсаций пара пенного потока.

Высокая устойчивость и стабильность пленки жидкости в ячейках сетчатых структур обеспечивается равномерным подводом жидкости распылителя и позволяет в $1,5 \div 2$ раза уменьшить расход пенообразующего раствора при сохранении стойкости, дисперсности и высокократности пены, получаемой в пеногенерирующей структуре [3, 6-8, 12].

Как показывают опыты [7, 12] гидравлическое сопротивление сетчатых пористых структур по сравнению с волокнистой насадкой уменьшится в десятки раз, а газодинамическое – в несколько раз. За счет того, что предлагаемые пористые структуры имеют большие размеры ячеек по сравнению с порами волокнистой насадки, существенно увеличится период между регенерациями сеток, а значит, упрощается эксплуатация и повышается надежность работы пылеуловителя и срок службы.

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

Работает пылеуловитель следующим образом.

Загрязненный пылью поток вводится через патрубок подвода запыленного газа 1 в корпус пылеуловителя 2 (рисунок 3). Очистка газа от микроскопической пыли производится в пеногенерирующей пористой структуре 3 вида $0,08 \cdot 0,14 \cdot 1$. Газомеханическая пена 10 выдувается газовым потоком из ячеек структуры, снабжаемой пенообразующим раствором 9, например, ПО-12, подаваемым из распылителя 4.

Пористая структура по сравнению с изотропной структурой позволяет существенно интенсифицировать массообменные процессы, протекающие в ее объеме и на поверхности за счет облегченного роста пузырей 8 от вершины конуса к его основанию, что повышает коагулирующую способность пены. Следовательно, интенсификация процессов приводит к росту эффективности улавливания микроскопической пыли за счет повышения коэффициента захвата пыли пеной в объеме структуры и на ее поверхности.

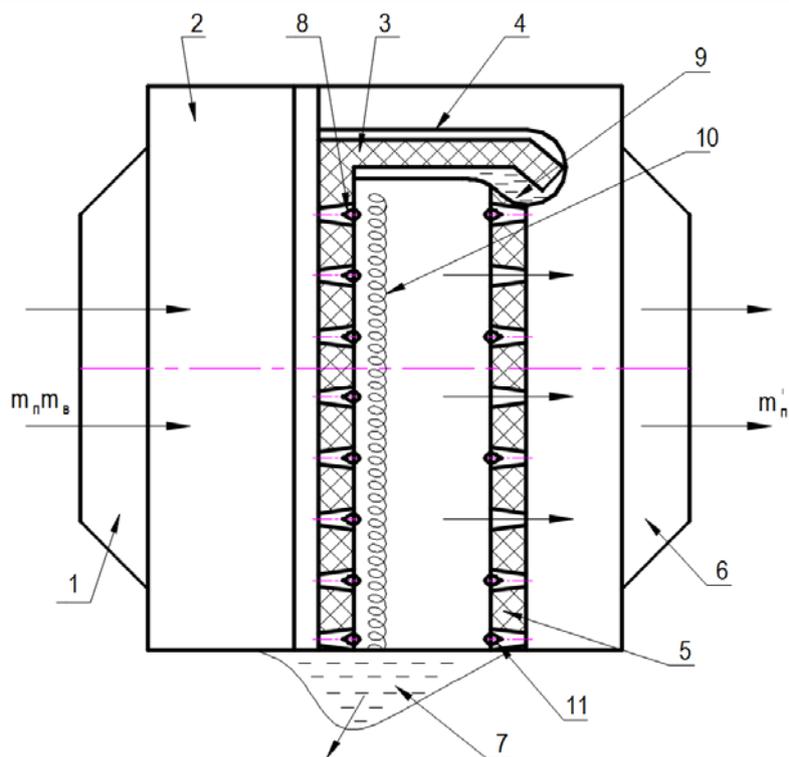


Рисунок 3 – Безфорсуночный капиллярно-пористый пылегазоуловитель с пеногенерирующими 3 и пеногасящими 5 структурами: 1 – входной патрубок; 2 – корпус пылеуловителя; 3 – пеногенерирующая пористая структура; 4 – распылитель; 5 – пеногасящая пористая структура; 6 – выходной патрубок; 7 – шламосборник; 8 – пузырь; 9 – пеногасящая пористая структура; 10 – газомеханическая пена; 11 – пузыри пены; m_n, m_b, m_n' – расходы пены, воздуха (пара)

Газомеханическая пена 10 будет разрушаться от поверхности и в объеме пеногасящей пористой структуры 5 вида $0,4 \times 0,14 \times 0,08$. Пузыри пены 11 начнут интенсивно схлопываться в структуре за счет роста сопротивления от основания конуса структуры к его вершине. Микроскопическая пыль, содержащаяся в разрушаемой газомеханической пене, под действием гравитационных сил и сил давления, стекающего из распылителя по поверхности пористой структуры устремится в шламосборник 7.

Газ будет дополнительно очищаться от микроскопической пыли в пеногасящей структуре, где существенно интенсифицируется процесс разрушения газомеханической пены за счет того, что сетки набраны с уменьшающимся размером ячеек.

Это способствует повышению эффективности улавливания микроскопической пыли на ее поверхности и в объеме, за счет чего увеличивается коэффициент захвата пыли и коагулирующая способность разрушаемого пенного потока.

Газ, очищенный от микроскопической пыли, удаляется из аппарата через патрубок отвода очищенного газа 6.

Опыты показали [8, 12], что по сравнению с фильтрующими материалами, такими как металлокерамика и спеченные порошки, расход пенообразующего раствора сокращается в (1,5...2) раза при сохранении стойкости, дисперсности и высоkokратности пены, гидравлическое сопротивление по транспорту пенообразующей жидкости уменьшается в (10...20) раз, газодинамическое сопротивление – в 1,8 раза, что уменьшает мощность насоса и вентилятора (дымососа), материалоемкость и габариты – в (2...2,5) раза, массу установки – в (3...4) раза.

Существенно повышается период между регенерациями и эффективность улавливания микроскопической пыли, которая может достигать значений (99,6...99,8) %, упрощаются условия

эксплуатации, возрастает надежность пылеуловителя и срок его службы, что подтверждается актами треста «Алма-Атаинжстрой» и Алма-Атинской ТЭЦ-2.

Экономический эффект от внедрения предложенного пылеуловителя будет иметь место за счет сокращения расхода пенообразующего раствора в 1,5÷2 раза, уменьшения гидравлического сопротивления по транспорту пенообразователя в (10÷20) раз, газодинамического сопротивления по прокачке запыленного потока – в 1,8 раза, материалоемкости и габаритов – в 2÷2,5 раза, массы установки в 3÷4 раза. Также упростятся условия эксплуатации аппарата, повысится период работы между регенерациями, а значит, возрастет его надежность и срок службы, что снизит капитальные и эксплуатационные затраты.

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. 1992. № 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] 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, 1995. Vol. 10. P. 273-286.
- [12] Генбач А.А., Шоколаков К. Пористый пенный пылеуловитель // МОН РК, Международный научный журнал. Приложение Республики Казахстан. Поиск. – 2011. – № 2. – 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] Поляев В.М., Генбач А.А. Отрывной диаметр и частота отрыва паровых пузырей в пористых структурах // Вестник МГТУ. Серия Машиностроение. – 1990. – № 1. – С. 69-72.
- [15] Поляев В.М., Генбач А.А., Минашкин Д.В. Визуализация процессов в пористом эллиптическом теплообменнике // Известия вузов. Машиностроение. – 1991. – 10-12. – С. 75-80.
- [16] Поляев В.М., Генбач А.А. Скорость роста паровых пузырей в пористых структурах // Известия вузов. Машиностроение. – 1990. – № 10. – С. 56-61.
- [17] Поляев В.М., Генбач А.А. Области применения пористой системы // Известия вузов. Энергетика. – 1991. – № 12. – С. 97-101.
- [18] Polyayev, V.M., Genbach A.A., Heat Transfer in a Porous System in the Presence of Both Capillary and Gravity Forces, Thermal Engineering, 40 (1993), 7. – P. 551-554.
- [19] Генбач А.А., Генбач Н.А. Пути получения требуемой информации при разработке капиллярно-пористых систем энергоустановок // Вестник АУЭС. – Алматы, 2013. – № 2(21). – С. 12-18.

А. А. Генбач, К. К. Шоколаков

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

**КӨБІК ӨНДІРЕТІН ЖӘНЕ КӨБІК СӨНДІРЕТІН ҚҰРЛЫМДАРЫ БАР
АУА (БУ)-МЕХАНИКАЛЫҚ КӨБІКТІҢ БҮРІККІШСІЗ КЕУЕК КӨБІК ГЕНЕРАТОРЫНЫҢ
ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОНДЫРҒЫСЫН ӘЗІРЛЕУ**

Аннотация. Таза сұйықтықтарды қайнатумен және қабатты-белсенді заттарды қосумен жылу-салмақ алмастырғыш үдерісті зерттеу негізінде ауа(бу)-механикалық көпірлікті бүріккішсіз капиллярлы-боркылдақ көпірлік генераторларының жаңа класы әзірленді. Эксперимент нәтижелерін жылыну мен масса тасымалының критикалық теңдеулеріне көбік, поролон жасау, псевдоожолдау және қайнау процестеріне қатысты $\pm 20\%$ дәлдікпен қорытылады. Капиллярлы-бұрқылдақ құрылымдар үшін $3 \times 0,4$ түріндегі капиллярлы және салмақты бірыңғай әрекеттер көпірлік генераторының жұмыс режимін 1,5-2 есе тездетуге, көпірлік қалыптастырушының шығындарын қысқартуға және гидравликалық қақтығысты он есе азайтуға мүмкіндік берді. Корпус, кіру және шығу келте құбырлары, торшалар топтамасы, тозаңдатқыштан тұратын ауа-механикалық көбікке арналған бүркігішсіз көбік генераторлары әзірленді. Олар аз гидро және газдинамикалық қарсылықтарда жоғары тиімділікпен көбік өндіру процестерін жүргізуге мүмкіндік береді. Газ-механикалық көбікті өндіру мен микро және ультрамикроскопиялық тозаңды тұту бірлескен процестерін әрі қарай сәйкестендіру үшін көбік сөндіретін торкөзді кеуекті құрылыммен және қақ жинағышпен жабдықталған корпус, кіру және шығу келте құбырлары, торшалар топтамасы, тозаңдатқыштан тұратын тозаң тұтқыш ұсынылды, бұл ретте көбік өндіретін және көбік сөндіретін құрылымдар корпуста тозаңдатылған газ қозғалысының бағытын бойлай орнатылды. Бұдан өзге, көбік өндіретін торкөзді кеуекті құрылымның кейінгі торшасы тазартылатын газдың қозғалыс бағыты бойымен ұяшықтардың ұлғаятын өлшемімен, мысалы, саңылауға ұяшықтарының өлшемі: $0,08 \times 0,14 \times 1$ болатын метал торлардан, ал көбік сөндіретін торша - тазартылатын газдың қозғалыс бағыты бойымен ұяшықтардың кішірейетін өлшемімен, мысалы, саңылауға ұяшықтарының өлшемі: $0,4 \times 0,14 \times 0,08$ болатын метал торлардан орындалды.

Түйін сөздер: боркылдақ көпірлік генераторы, көпірлік генерациясы, жылу салмақ алмастырғыш, капиллярлы-боркылдақ құрылымдар.

Сведения об авторах:

Генбач А. А. – Доктор технических наук, профессор, кафедра «Тепловые энергетические установки», Алматинский университет энергетика и связи, Алматы, Казахстан

Шоколаков К. К. – докторант Алматинского университета энергетика и связи, специальность «Теплоэнергетика», кафедра «Тепловые энергетические установки», инженер-проектировщик АО «Казахский институт нефти и газа», Алматы, Казахстан

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

ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)

<http://geolog-technical.kz/index.php/kz/>

Верстка Д. Н. Калкабековой

Подписано в печать 14.05.2018.
Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
24,2 п.л. Тираж 300. Заказ 3.