

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 $3 \times 0,4$ 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 $0,08 \times 0,14 \times 1$, and defoaming made of grids with decreasing size of cells following the cleanable gas, e.g. made of metal cells for clearance $0,4 \times 0,14 \times 0,08$.

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 электризующего 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 потребуются 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 автомодельной 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 электрозаряженных 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 электрозаряженных 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 аэрогазодинамические схемы и конструкции, которые будут определять протекание процесса пылеосаждения, существенно увеличивая степень очистки запыленного потока, явятся 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.

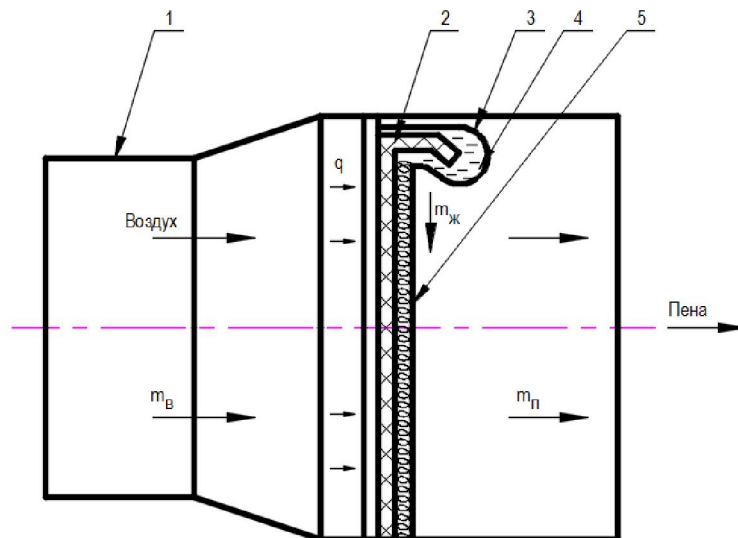


Рисунок 1 – Безфорсуночный капиллярно-пористый пеногенератор воздушно(паро)-механической пены:

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

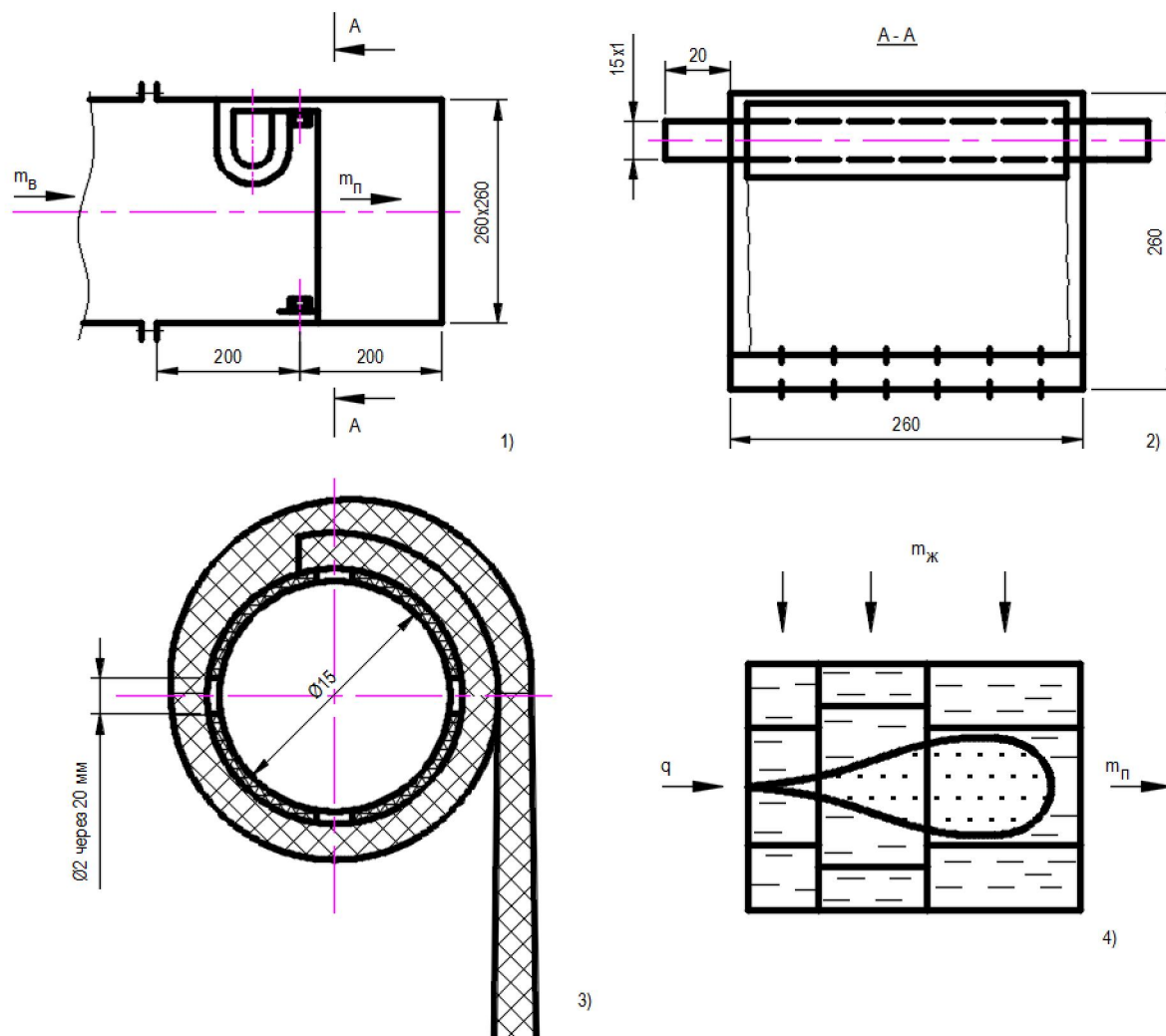


Рисунок 2 – Экспериментальная установка по исследованию процессов генерации пены:
 1 – пеногенератор; 2 – распылитель; 3 – соединение капиллярно-пористой структуры; 4 – динамика пузыря в структуре

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 ПГГ-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 конденсацией 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 подобным 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 $(2 \dots 2,5)$ 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.

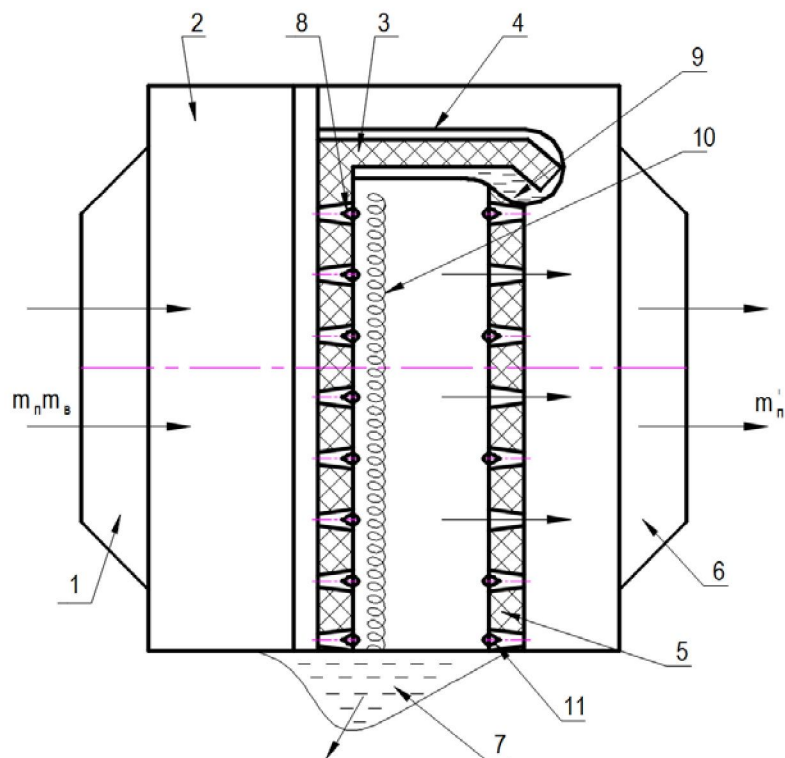


Рисунок 3 – Безфорсуночный капиллярно-пористый пылегазоуловитель с пеногенерирующими 3 и пеногасящими 5 структурами: 1 – входной патрубок; 2 – корпус пылеуловителя; 3 – пеногенерирующая пористая структура; 4 – распылитель; 5 – пеногасящая пористая структура; 6 – выходной патрубок; 7 – шламосборник; 8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

Газомеханическая пена 10 будет разрушаться от поверхности и в объеме пеногасящей пористой структуры 5 вида $0,4*0,14*0,08$. 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 $1,5 \div 2$ раза, уменьшения гидравлического сопротивления по транспорту пенообразователя в $(10 \div 20)$ раз, газодинамического сопротивления по прокачке запыленного потока – в 1,8 раза, материалоемкости и габаритов – в $2 \div 2,5$ раза, массы установки в $3 \div 4$ 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 көпірікті бүріккішсіз капиллярлы-боркылдақ көпірік 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 көпірік генераторының жұмыс режимін 1,5-2 есе тездетуге, көпірік 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 корпусқа 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 көпірік генераторы, көпірік 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