

A. A. Genbach¹, K. K. Shokolakov²¹Doctor of technical sciences, professor of «Almaty university power engineering and telecommunication»,
Almaty, Kazakhstan,²Doctoral student AUPET, design engineer JSC «Kazakh institute oil and gas», Almaty, Kazakhstan.
E-mail: kudash@bk.ru**DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL PLANT OF A NON-NOZZLE
POROUS FOAM GENERATOR FOR PRODUCING OF AIR (STEAM)
AND MECHANICAL FOAM**

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.

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

УДК 614.843 (088.8)

А. А. Генбач¹, К. К. Шоколаков²¹Доктор технических наук, профессор, кафедра «Тепловые энергетические установки»,
Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан,²докторант Алматинского университета энергетики и связи, специальность «Теплоэнергетика»,
кафедра «Тепловые энергетические установки», инженер-проектировщик
АО «Казахский институт нефти и газа», Алматы, Казахстан**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
БЕЗФОРСУНОЧНОГО ПОРИСТОГО ПЕНОГЕНЕРАТОРА
ВОЗДУШНО (ПАРО) – МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ**

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 3x0,4 позволило форсировать в 1,5-2 раза режим работы пеногенератора, сократить расход пенообразователя и в десятки раз уменьшить гидравлическое сопротивление.

Ключевые слова: пористый пеногенератор, пеногенерация, тепломассообмен, капиллярно-пористые структуры.

Исследование процессов тепломассообмена при кипении чистых жидкостей в капиллярно-пористых структурах, разработка способов управления этими процессами [1] позволило обобщить эксперименты с чистыми пенными и запылёнными 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 пеногенирующими 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 пеногенирующих 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, используют 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 $5 \cdot 10^{-3}$ 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 электрическое поле, сформированное на выходе из парового сопла. Паропылевоздушный поток, покидая бункер, конденсируется на распыленных форсункой каплях электрически заряженной, предварительно омагнитенной воды.

При весовом расходе пара, равном $7 \cdot 10^{-3}$ кг/с и более, относительная запыленность воздуха достигает 3-6% и становится автоматической 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 объясняется 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 пылесажения, 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.

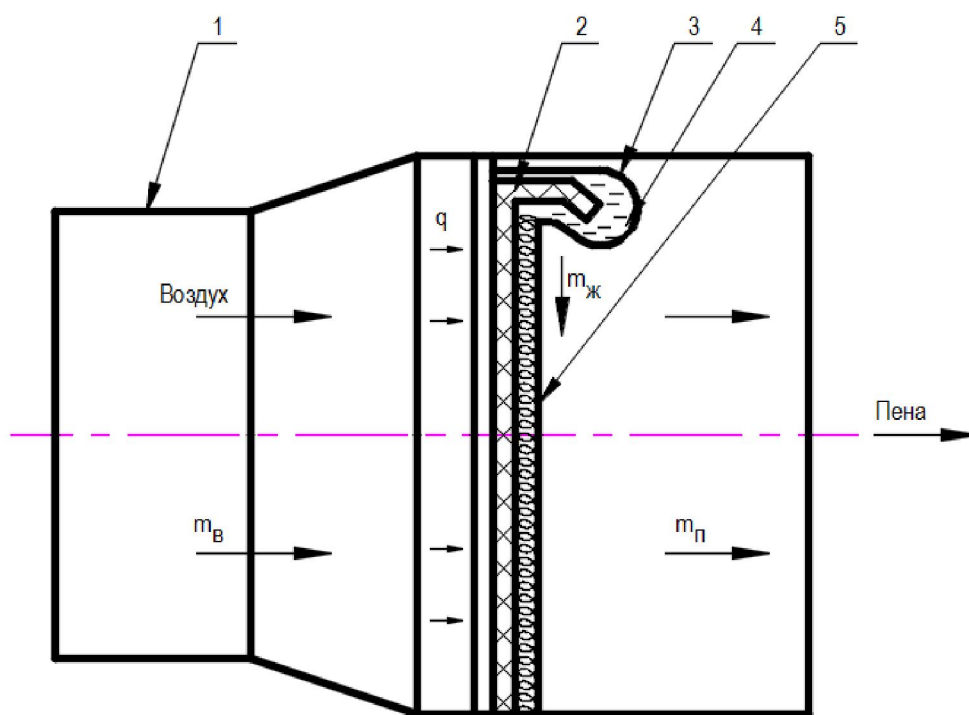


Рисунок 1 – Безфорсуночный капиллярно-пористый пеногенератор воздушно (паро) – механической пены:

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

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 $0,4 \cdot 10^{-3}$ м). Это позволяет форсировать в 1,5-2 раза режим работы пеногенератора, сократить расход пенообразователя при сохранении стойкости, дисперсности и высокочастотности пены.

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

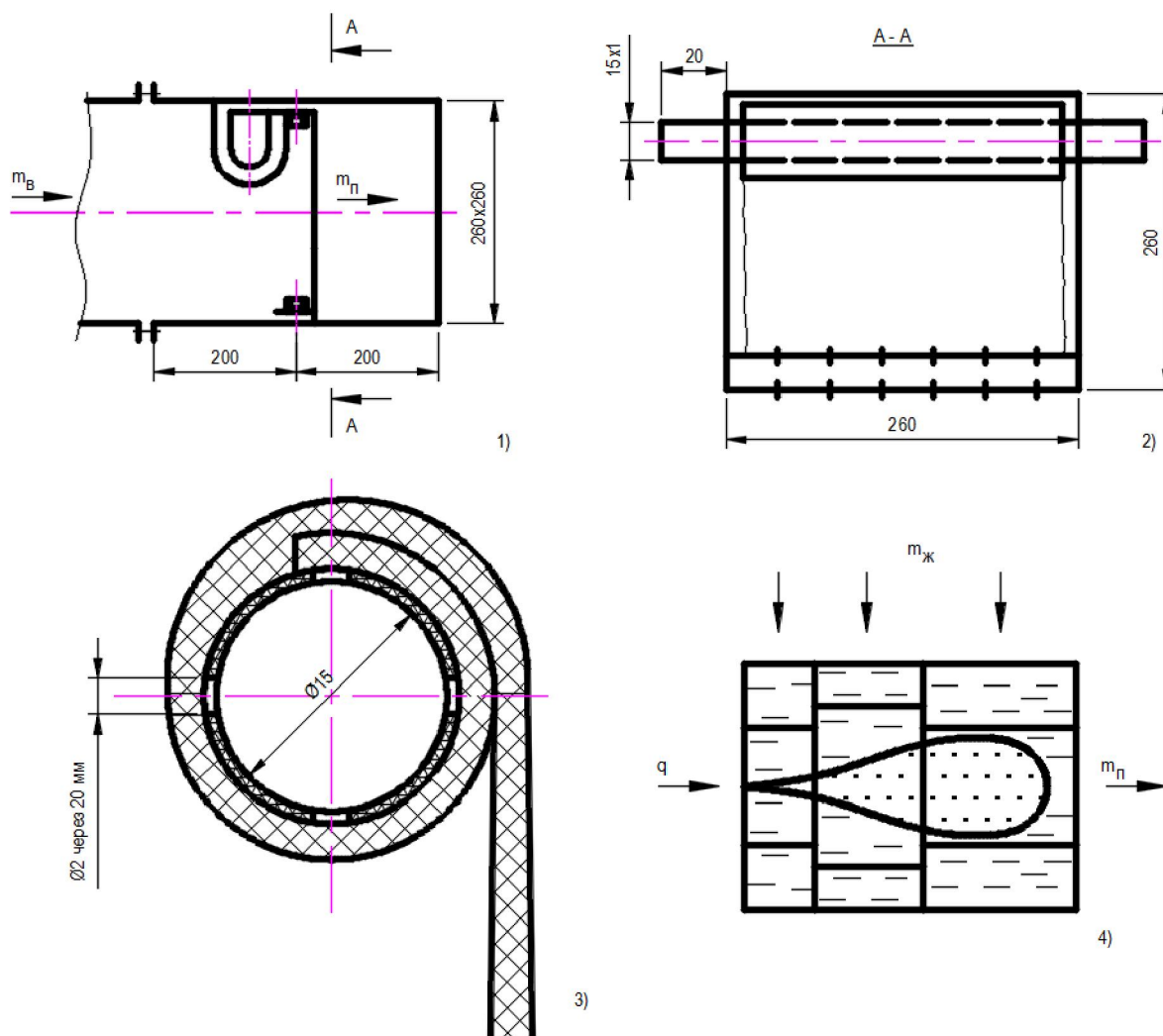


Рисунок 2 – Экспериментальная установка по исследованию процессов генерации пены:

1 – пеногенератор; 2 – распылитель; 3 – соединение капиллярно-пористой структуры;
4 – динамика пузырь в структуре.

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. N 4. – С. 24-27.

[9] Генбач А.А., Генбач Н.А. Исследование капиллярно-пористых систем в тепловых энергетических установках электростанций // Вестник АИЭС. – Алматы, 2011. N 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] Polyakov 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, 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.

А. А. Генбач¹, К. К. Шоколаков²

¹Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

²«Қазақ Мұнай және Газ Институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

АУА (БУ) - МЕХАНИКАЛЫҚ КӨПІРІКТІҢ БҮРІККІШСІЗ БОРҚЫЛДАҚ КӨПІРІК ГЕНЕРАТОРЫН ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫ ОРНАТУДЫ ӘЗІРЛЕУ

Түйін сөздер: борқылдақ көпірік генераторы, көпірік генерациясы, жылу салмақ алмастырғыш, капиллярлы-борқылдақ құрылымдар.

Аннотация. Таза сұйықтықтарды қайнатумен және қабатты-белсенді заттарды қосумен жылу-салмақ алмастырғыш үдерісті зерттеу негізінде ауа (бу) – механикалық көпірікті бүріккішсіз капиллярлы-борқылдақ 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-борқылдақ 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.