

Плазмохимическая технология – основа производства водорода из полимерных отходов

проф. д.т.н. Латышенко К.П., преп. к.т.н. Гарелина С.А.*

Университет машиностроения

kplat@mail.ru

* Академия гражданской защиты МЧС РФ

roul@mail.ru

Аннотация. Настоящая статья является второй частью работы, посвященной плазмохимической переработке полимерных отходов и других токсичных органических соединений в водород и другую ликвидную продукцию. Она посвящена выбору наиболее эффективного способа переработки полимерных отходов в водород и другую ликвидную продукцию. Показана целесообразность применения для поставленной задачи плазмохимических технологий, отвечающих основным критериям перспективности технологий, таким как экологичность и рациональность использования энергии.

Ключевые слова: производство водорода, производство водорода из полимерных отходов, плазмохимическая переработка полимерных отходов, плазмохимическая технология, водородная энергетика, плазма

«Водородная энергетика, зародившаяся на фоне мирового нефтяного кризиса 1970-х гг., к настоящему времени переросла в динамично развивающееся научно-техническое направление, поддержка которого возведена в ранг приоритетов политики международных сообществ, национальных правительств, коммерческих компании и общественных организаций...».

Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В. Водород для производства энергии: проблемы и перспективы // Альтернативная энергетика экология. 2006. № 8 (40). С. 72 – 90.

Введение

Оценивая рациональность использования полимерных отходов в энергетических системах и комплексах, заключающуюся в их переработке в водород, необходимо, прежде всего, проанализировать актуальность, основные преимущества и перспективность водородной энергетике, а также основные способы производства водорода.

Хорошо известно, что перспективность технологий оценивается прежде всего по таким критериям, как экологичность и рациональность использования энергии [1]. Таким образом, эти два критерия и будут служить основой выбора наиболее эффективного способа производства водорода из полимерных отходов.

Состояние и тенденции развития мировой водородной энергетике

В последнее десятилетие в мире наблюдается большой интерес к водородным технологиям и топливным элементам. Следует отметить, что уделяется огромное внимание и «политическому» аспекту водородной энергетике, которое выражается в разработке и принятии на государственном уровне национальных и межнациональных программ, созданию межгосударственных ассоциаций. Например, благодаря высокому уровню развития в России водородных технологий и топливных элементов Россия с 2007 г. избрана вице-председателем Международного партнерства по водородной экономике, в состав которого входит и Россия, интересы которой представляет Роснаука [3].

Необходимо отметить, что работы в области водородной энергетике в России были начаты в Российском научном центре «Курчатовский институт» (в то время – Институте атомной энергии имени И.В. Курчатова) по инициативе академика В.А. Легасова [4]. Для их успешного развития в Центре было создано специализированное подразделение – Институт

водородной энергетики и плазменных технологий (руководитель академик РАН В.Д. Русанов) [5]. Это подразделение внесло большой вклад в развитие водородной энергетики не только в России, но и за рубежом [4]. Следует подчеркнуть, что Россия была одним из лидеров в области водородной энергетики в 70-х годах XX века. До сих пор десятки академических институтов ведут исследования в этой области. Например, в Институте катализа им. Г.К. Борескова СО РАН [6] изучается возможность использования металлов платиновой группы (палладия, платины и др.) для получения водорода. Здесь создан ряд катализаторов для получения водорода из метана с последующей его очисткой с помощью мембран.

Анализ различных литературных источников [2, 4, 6, 7, 8 – 10] позволил выявить основные достоинства водородной энергетики, обеспечивающие её актуальность и перспективность в решении проблем, связанных с обеспечением энергетической и экологической безопасности страны:

1. Характерной чертой водорода как топлива является его высокая энергонасыщенность и неограниченные ресурсы [4, 2, 6, 8].

2. При использовании водорода для производства энергии не образуются вредные вещества [2, 4, 6, 8].

3. Водород позволяет осуществлять аккумуляцию, хранение в различных формах и состояниях, транспортирование и распределение через сетевую систему, доставку потребителю в нужный момент и место (данное важнейшее качество отсутствует у электроэнергетики) [2].

4. Водород – наиболее эффективное топливо для топливных элементов, характеризующихся высокими значениями КПД преобразования химической энергии в электрическую, в отличие от «тепло-механических» систем, КПД которых лимитирован циклом Карно [4]. Следует отметить, что именно преимущества топливных элементов делают водородную энергетику такой перспективной [4].

5. Водород могут потреблять существующие двигатели внутреннего сгорания, паровые и газовые машины [9]. Более того, добавка водорода к обычному топливу двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин приводит к увеличению их КПД и уменьшению вредных выбросов [10].

6. Универсальность применения: централизованная и децентрализованная энергетика, коммунальная энергетика, питание многочисленных бытовых приборов, в качестве моторного топлива [2, 4, 6, 7, 8, 10]. Отмечается, что водород является одним из перспективных вариантов моторного топлива [7] (следует отметить, что на долю автотранспорта расходуется около 60 % нефти).

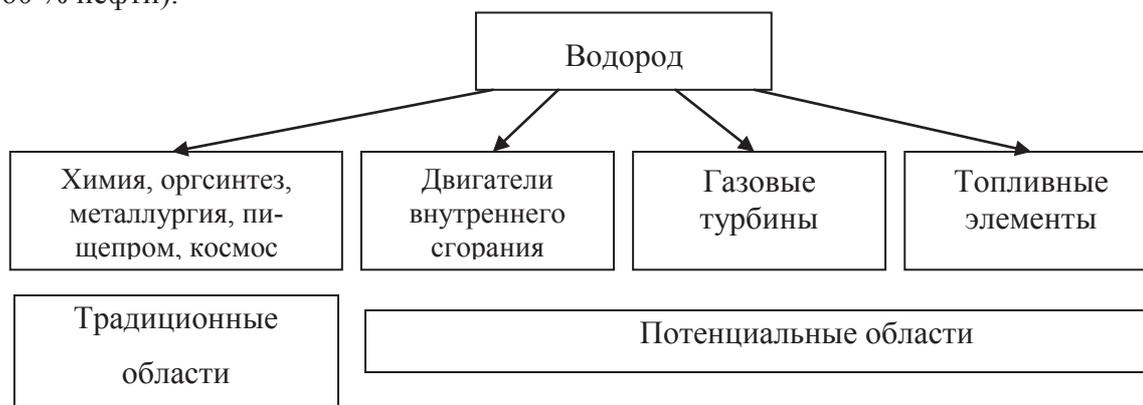


Рисунок 1. Области применения водорода

Таким образом, различные пути развития водородной энергетики, как правило, рассматривают применительно к транспорту. Стоит отметить, что актуальным для России, особенно с учётом того, что значительная часть территории не охвачена единой электросетью,

является развитие децентрализованной энергетики на основе водородных технологий, включая создание систем аварийного энергоснабжения [6]. На рисунке 1 приведены традиционные и потенциальные области применения водорода [6].

Существующие способы производства водорода базируются на использовании в качестве исходного сырья воды (электролиз, фотолиз), угля и природного газа (паровая конверсия), сероводорода (химическое и плазмохимическое разложение) [2, 6]. На рисунке 2 приведены возможные источники и пути получения водорода.

На сегодняшний день наиболее низкую стоимость водорода обеспечивает паровая конверсия метана: «получение водорода из природных органических топлив в настоящее время является наиболее широко освоенным методом. Основной технологией является паровая конверсия метана ... по указанной технологии получают около 85 % производимого в мире водорода, что обусловлено достаточно высокой (более 80 %) эффективностью процесса, его реализацией на уровне крупномасштабного производства, сравнительно невысокой на данный момент стоимостью и отлаженной инфраструктурой транспортировки исходного сырья» [2].

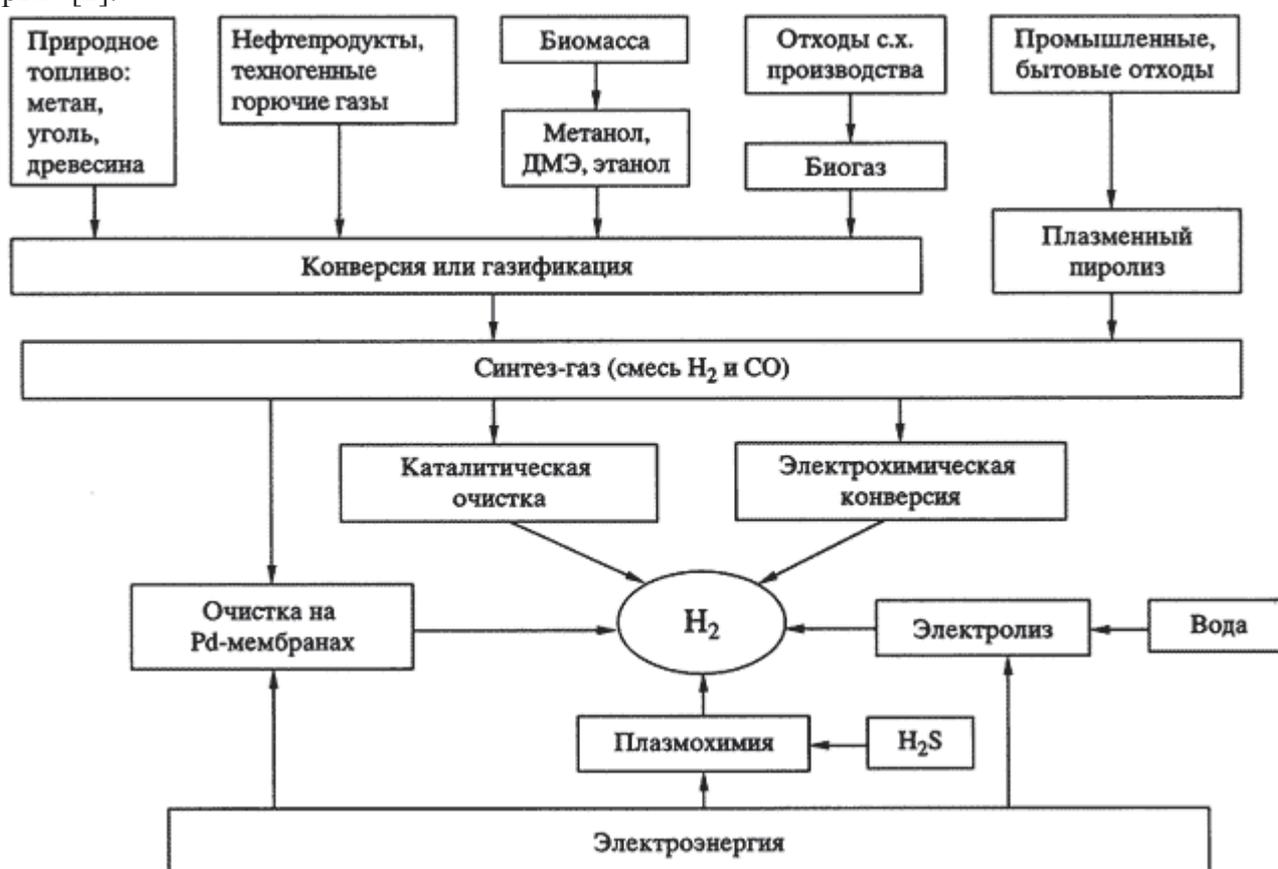


Рисунок 2. Возможные источники и пути получения водорода

Однако нельзя не отметить, что способ паровой конверсии обладает целым рядом существенных недостатков, которые делают этот метод неконкурентоспособным в будущем:

- зависимость от поставок сырья, основные запасы которого распределены всего между несколькими регионами мира;
- выбросы в атмосферу большого количества CO_2 , утилизация которого требует капитальных затрат и эксплуатационных расходов;
- наличие в конечном продукте примесей CO и CO_2 , что предъявляет дополнительные требования для очистки при его использовании в ряде устройств;
- метод паровой конверсии плохо адаптируется к установкам малой производительности [2].

Таким образом, с точки зрения экологии, производство водородного топлива из ископаемых углеводородов практически не отличается от непосредственного сжигания топлив и, в силу присущих недостатков, является бесперспективным применительно к производству водорода для нужд водородной энергетики.

Ещё одним промышленным способом производства водорода является электролиз, характеризующийся рядом существенных преимуществ по сравнению с паровой конверсией [2]: экологическая чистота, простота эксплуатации, удобство в работе, высокая чистота производимого водорода, дополнительный ценный побочный продукт – кислород. Однако в мировой практике использование этой технологии не превышает 5 % в силу того, что электролиз является высокоэнергетозатратным процессом (при электролизе большая часть электроэнергии теряется в виде тепла при протекании тока через электролит) и характеризуется низкой удельной производительностью (определяемой характером электрохимических реакций, протекающих только на поверхности электродов) [2]. Если электролиз будет широко использоваться, недостатки этого метода, по-видимому, останутся.

Таким образом, присущие процессу паровой конверсии метана и электролизу очевидные сырьевые, экологические и экономические ограничения стимулирует разработку иных промышленных способов получения водорода, более целесообразных в стратегическом плане.

Анализ литературы [6, 11, 12] показал, что в настоящее время на стадии разработок находятся плазмохимические технологии производства водорода из различных органических отходов, в том числе и полимерных.

Основные преимущества плазмохимических технологий, обеспечивающих целесообразность их применения для переработки полимерных отходов с получением водорода

За последние 30 – 40 лет в России и за рубежом выполнено много исследований, посвященных применению плазмы для проведения газофазных химических процессов. Подобными исследованиями занимаются многие исследовательские центры и институты, но каждая разработка имеет свою специфику. Например, в Исследовательском центре им. М.В. Келдыша занимаются коаксиальными плазматронами, в Санкт-Петербургском политехническом университете – высокочастотной плазмой, в Институте электрофизики РАН – плазмогенераторами переменного тока, а Новосибирская школа занимается генераторами электродуговой плазмы с газовыхревой стабилизацией дуги в разрядной камере, в институте теплофизики – исследованием и применением газоразрядной низкотемпературной плазмы [12].

Плазмохимическая технология основана на использовании, по крайней мере на одной из стадий технологического процесса, плазмы. Хорошо известно, что перевод веществ в состояние плазмы увеличивает их реакционную способность.

В мире существуют, а также находятся в стадии разработки разнообразные технологии плазмохимической переработки органических материалов для различных целей: получение мономеров для синтеза (включая часто и сам синтез) полимеров, пластмасс, энергоносителей, восстановителей и др. [13]. При этом в качестве исходного продукта используются не только добываемое сырьё земных недр, но и возобновляемое растительное сырьё, а также промышленные и бытовые отходы.

Первым направлением традиционной многотоннажной плазмохимической технологии является производство ацетилена (сырья для производства разнообразных продуктов основного органического синтеза) [13]. В промышленных масштабах плазмохимический способ получения ацетилена осуществляют пиролизом углеводородов либо непосредственно в дуговом разряде, либо в плазменной струе водорода, нагреваемой в плазматроне. Получение ацетилена в промышленных масштабах впервые было осуществлено в Германии на заводе в г. Хюльсе в 1940 г. с производительностью 60 тыс. т ацетилена в год, который работает до сих пор [13].

Вторым традиционным направлением плазмохимической переработки органических

материалов является конверсия их в синтез-газ (используется в различных химических процессах при производстве аммиака, метанола, высших спиртов и других химических продуктов, а также жидкого топлива, заменяющего бензин и дизельное топливо) [13]. При добавлении к углеводородам (система С–Н) кислородсодержащих соединений происходит интенсивное образование соединения СО, которое становится преобладающим в системе С–Н–О, поскольку из всех молекул молекула СО имеет наибольшую энергию связи [13]. В принципе синтез-газ получают без всякой плазмы обычным процессом сжигания. Однако, в отличие от таких методов, плазменный метод позволяет обеспечить низкое содержание СО₂, Н₂О в продуктах конверсии или полное их отсутствие и таким образом позволяет исключить дорогостоящую операцию очистки там, где синтез-газ требуется достаточно чистым, например в органическом синтезе, в металлургии и др. Следует отметить, что данное направление переработки органических материалов в синтез-газ уже в настоящее время становится рентабельным и развивается особенно в металлургии, которая постепенно переходит к бескоксовым способам производства металла, а синтез-газ в будущем станет основным восстановителем [13].

Целесообразность применения плазмохимических процессов для переработки полимерных отходов с получением водорода объясняется следующими преимуществами, выявленными на основе анализа соответствующих литературных данных [14 – 16].

1. Современные плазмохимические процессы достаточно управляемы, их можно моделировать и автоматизировать (обеспечивают необходимую локализацию выбросов токсичных веществ при аварийных ситуациях [14]), используя один вид энергии – электричество.

2. За счёт высоких температур плазма способна полностью разрушить любые органические и биологические материалы, гарантированно уничтожить самые токсичные яды [16].

3. Высокие возможности селективного направления потока энергии для активации нужных компонентов химически реагирующей системы путем выбора соответствующих внешних её параметров, обеспечивая при этом получение нужной продукции, в том числе, переработку полимерных отходов с получением водорода.

4. Плазменные технологии обеспечивают экологически чистую переработку сырья (отходов) без образования смол, диоксинов, аэрозолей и пр., а также полное извлечение всего углерода из материала отходов [15, 16].

5. Плазмохимические реакторы, как правило, являются модульными и требуют весьма малого пространства [16]. Обеспечивается удобство обслуживания, ремонтпригодность, приспособляемость к определённым требованиям, быстрое наращивание производительности, если потребуется. Они могут быть размещены внутри существующих инфраструктур и, что немаловажно, под землёй.

6. Плазмохимические реакторы обладают высокой объёмной мощностью, малой инерционностью при запуске и остановках процесса, малыми весогабаритными характеристиками [14].

7. Особенностью плазмохимического способа является то, что выхлопные газы и твёрдые дисперсные материалы могут присутствовать в более концентрированном виде, чем при традиционном сжигании, т.е. степень переработки составляет более 99,7 % [14, 16].

8. Стоимость строительства и поддержания плазменного процесса газификации намного дешевле стоимости любой обычной современной системы сжигания [16].

Таким образом, сегодня плазменная технология, лишенная недостатков, присущих технологии сжигания, признана как передовая (экологически безопасная и рентабельная) и находится на стадии активного исследования и развития для крупнотоннажной переработки отходов. Следует отметить, что конкурентоспособность плазмохимических технологий переработки полимерных отходов в водород обуславливается также высокими ценами на нефть и газ.

Технологии плазменной переработки различных видов опасных отходов стали реализо-

вываться сравнительно недавно [16]. В настоящее время отлаженного производства по переработке отходов плазмохимическими способами нет [12]. По данным [12], такой завод в Канаде находится в "наладочной" стадии (еще долго не будет работать), в Южной Корее есть опытно-промышленная плазменная установка по переработке бытовых и техногенных отходов до 1.000 кг в час. Экспериментальные исследования данного направления проводились также во Франции. Американцы обещают создать до 2015 г. крупнейший завод по переработке таких отходов (150 тысяч тонн в год) [12].

Заключение

Выявленные преимущества водородной энергетики, обеспечивающие её перспективность, показали, что в энергетике РФ пренебрегать использованием водорода, полученного из полимерных отходов, не следует как по экологическим, так и по экономическим соображениям. Однако стоит согласиться с тем, что *«даже если мировая энергетика в ближайшее время не перейдёт на водородное топливо, решение комплекса вопросов, так или иначе связанных с водородной энергетикой, позволит осуществить значительные прорывы в смежных областях науки и техники»* [17].

На основе анализа литературы показано, что плазмохимические технологии обеспечивают широкие реакционные возможности, оптимальные параметры технологических процессов и, как следствие, экологическую безопасность, рентабельность и универсальность. Таким образом, плазмохимические технологии позволят производить водород и другую ликвидную продукцию без переналадки производства не только из полимерных отходов, но и других токсичных органических соединений, подлежащих уничтожению.

Сегодня экологической угрозой не только для России, но и для всего мира стали захоронения боевых отравляющих веществ [17, 18], отходы диоксиновых технологий (диоксины) [19], места складирования токсичных отходов смешанного класса опасности [20]. Анализ структурных формул названных веществ показал, что они содержат атомы ограниченного количества химических элементов (в состав всех перечисленных соединений входят углерод, водород и галоген), образующих 15 основных типов связей. Этот фактор позволит рассмотреть все эти соединения с единых позиций, т.е. обеспечить возможность разработки универсальной технологии переработки полимерных отходов, химического оружия, диоксинов и токсичных отходов смешанного класса опасности.

Таким образом, сложились все условия для качественного скачка в решении экологических и энергетических проблем.

Литература

1. Гривнак Л.Н. Экологические основы природоиспользования. – М.: 2002. – 66 с.
2. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В. Водород для производства энергии: проблемы и перспективы // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – № 8 (40). – С. 72 – 90.
3. Мазуренко С. Перспективы водородной экономики. К итогам II Межд. форума «Водородные технологии для развивающегося мира» // Советник президента. – 2008.
4. Ковальчук М.В. Водородная энергетика как составляющая топливно-энергетического комплекса России // Федеральный справочник. Топливо-энергетический комплекс России. – 2011. № 10.
5. Шамардин И.М. Проект создания Международного Технического Консорциума «Новые экологические и энергетические Проекты» // Аналитическая записка № 1. – 2009. – 39 с.
6. Месяц Г.А., Прохоров Г.А. Водородная энергетика и топливные элементы // Вестник российской академии наук. – 2004. – № 7. С. 575 – 597.
7. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. – М.: Химия, 1990. – 304 с.
8. Моисеев И.И., Платэ Н.А., Варфоломеев С.Д. Альтернативные источники органических топлив // Труды научной сессии РАН «Энергетика России: проблемы и перспективы» / под ред. В.Е. Фортова, Ю.Г. Леонова. – М.: Наука, 2006. – С. 48 – 66 с.

9. Водородная энергетика. <http://energokeeper.com/vodorodnaya-energetika.html> (дата обращения 11.2013).
10. Дружинин П.В., Мельников В.А., Журавлев С.Н. и др. Работа двигателя внутреннего сгорания на водороде // Горюче-смазочные материалы. – 2006. – № 8.
11. Цветков Ю.В. Энергометаллургический комплекс на базе плазменной техники Энергетика России: проблемы и перспективы // Тр. научной сессии РАН «Энергетика России: проблемы и перспективы» / под ред. В.Е. Фортова, Ю.Г. Леонова. – М.: Наука, 2006. – С. 154 – 162.
12. Профессор Анатолий Аньшаков об энергии из отходов. 25.11.2010. <http://www.forum.ruboard.ru> (дата обращения 11.2013).
13. Бородин В.И. Плазменные технологии // Федеральное агентство по образованию. Петрозаводский гос. ун-т. – Петрозаводск, 2004. – 56 с.
14. Власов В.А., Сосновский С.А., Тихомиров И.А. Переработка техногенных отходов в условиях низкотемпературной плазмы ВЧ разряда // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 305. – вып. 3. – С. 352 – 358.
15. Петров С.В., Бондаренко С.Г., Дидык Е.Г., Дидык А.А. Плазменные технологии в воспроизводимых источниках энергии // Энергетика и электрификация. 2010. – № 1. – С. 53 – 59.
16. Петров С.В., Маринский Г.С., Чернец А.В., Коржик В.Н., Мазунин В.М. Применение паро-плазменного процесса для пиролиза органических, в том числе медицинских и других опасных отходов // Современная электрометаллургия. – 2006. – № 4. – С. 57 – 66.
17. Хомкин, К.А. Экспериментальные исследования в обоснование технологии комплексной переработки органических отходов и природного газа в водород и углеродные материалы: дис. ... канд. техн. наук / К.А. Хомкин. – Москва, 2005. – 141 с.
18. Фёдоров Л.А. Где в России искать закопанное химическое оружие (химическое разоружение по-русски). М., 2002.
19. Фёдоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы / – М.: Наука, 1993. – 266 с.
20. Лавренченко С.П., Лукьянов А.В., Матросов С.И. и др. Методический подход к оценке эффективности утилизации жидких токсичных отходов смешанных классов опасности // Материалы I Н.-практ. конф. «Научно-технические аспекты обеспечения безопасности при уничтожении, хранении и транспортировке химического оружия» Москва, 2003. – С. 11 – 17.

Сепарация пара методом частичной конденсации на трубном пучке

к.т.н. доц. Жихарев А.С.
Университет машиностроения
a_giharev@msuie.ru

Аннотация. Рассмотрен способ повышения эффективности улавливания взвешенных в паре капель с использованием эффекта конденсации пара на поверхности трубного пучка.

Ключевые слова: частичная конденсация, сепарация газа, трубный пучок

Одним из способов повышения эффективности улавливания взвешенных в паре капель является использование эффекта конденсации пара. Наиболее перспективным представляется осуществление процесса конденсации с целью осаждения капель на поверхности трубного пучка.

Конденсационная сепарация пара является сложным процессом, зависящим от ряда физических и конструктивных факторов. В случае продольного обтекания паром вертикального