

УДК 628.11
ББК 65.290
JEL O32

К вопросу технико-экономического обоснования выбора инновационной технологии получения питьевой воды

Мани Момени, аспирант кафедры промышленной логистики, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: momenim@student.bmstu.ru

Ардешир Момени, специалист по авиамоторной технике, Институт аэрокосмической промышленности, Берлинский технический университет, Берлин, Германия

E-mail: amomeni2002@yahoo.com

Аннотация: Социально-экономическая проблема нехватки пресной воды серьезно вошла в международную и политическую повестку дня в последнее десятилетие XX-го века. 28 июля 2010 года Генеральная ассамблея ООН включила право на воду в перечень базовых прав человека, а мировое сообщество признало расширение доступа к питьевой воде одной из четырех ключевых составляющих целей тысячелетия ООН по обеспечению устойчивости окружающей среды. Комплексные проблемы отдельных регионов мира в распределении водных ресурсов и рост требований человечества к стандартам жизни отражает как постепенное объективное обострение ситуации, так и повышение моральных норм глобального гражданского общества в отношении проблем неравенства и образа жизни. Цель настоящего исследования – провести обзор существующих и перспективных способов получения пресной воды для решения социально-экономических задач обеспечения отдельных регионов мира. Задачами исследования были определены: осуществление на основании проведенного обзора технико-экономического анализа существующих и перспективных способов получения пресной воды. Научная новизна работы заключается в анализе технико-экономической эффективности отобранных способов получения питьевой воды, включая использование сопла Лаваля и формулировке рекомендаций по их применению.

Ключевые слова: способы получения пресной воды, социально-экономическая проблема, технико-экономический анализ, точка росы, сопла Лаваля, термодинамика, газодинамика, солнечная энергия.

To the question of choosing the innovative technology for providing drinking water depending on technical-economic analysis

Mani Momeni, Graduate student, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

E-mail: momenim@student.bmstu.ru

Ardeshir Momeni, Specialist for aeromotor technics, Institute of Aerospace Industry, Berlin technical University, Berlin, Germany

E-mail: amomeni2002@yahoo.com.

Abstract: The socio-economic problem of freshwater scarcity has seriously entered the international and political agenda in the last decade of the twentieth century. On July 28, 2010, the UN General Assembly included the right to water in the list of basic human rights, and the world community recognized the expansion of access to drinking water as one of the four key components of the UN Millennium goals to ensure environmental sustainability. The complex problems of individual regions of the world in the distribution of water resources and the growing demands of humanity for

living standards reflect both a gradual objective aggravation of the situation and an increase in the moral standards of global civil society in relation to the problems of inequality and lifestyle. The purpose of this study is to review existing and prospective methods of obtaining fresh water to solve socio – economic problems of providing individual regions of the world. The objectives of the study were defined: implementation of a technical and economic analysis of existing and prospective methods of obtaining fresh water based on the review. The scientific novelty of the work is technical and economic analysis of different ways including a Laval nozzle for producing water and formulating recommendations for their implementation.

Keywords: methods of obtaining fresh water, socio-economic problem, technical and economic analysis, dew point, Laval nozzles, thermodynamics, gas dynamics, solar energy.

Введение

До начала 2000-х годов проблема нехватки водных ресурсов не привлекала особенного внимания экономистов за исключением вопросов, связанных с национальными системами водоснабжения и орошения, гидроэнергетикой, вопросами урбанизации. За пределами национальных границ вопрос о воде сводился к анализу проблем засух и пустынь. Внимание было сфокусировано на поиске эффективных локальных мер по противодействию засухам или решению сложных проблем распределения ограниченных водных ресурсов в ряде стран, особенно в пограничных районах. Нехватка питьевой воды является хронической, острой и широко распространенной в регионах как в Северной Африки, Ближнего Востока, Центральной и Южной Азии. Сегодня можно говорить о сформировавшемся понимании: дефицит пресной воды становится одним из структурных факторов, воздействующих на мировое экономическое развитие. Обеспечение чистой пресной водой оказывается в фокусе политики устойчивого развития, дефицит воды становится ограничителем экономического роста в развивающихся странах¹.

Параллельно в мире растут расходы на исследование проблемы, вложения в борьбу с засухами и другими природными явлениями, резко влияющими на доступ к водным ресурсам. В городах остро встает вопрос энергообеспечения, в то же время возникает все больше государственных программ по совершенствованию ирригационных систем в сельской местности. Засушливые регионы Азии, Европы и Северной Америки инвестируют все больше в строительство опреснительных станций. В мире идет активная дискуссия по этим проблемам, и на сегодня можно выделить несколько магистральных сюжетов. Во-первых, это водная составляющая в мировом производстве, сельском хозяйстве и энергетике (компоненты А. Хоекстры). Основные экономические разработки по водной проблеме среди российских авторов принадлежат директору Института водных проблем РАН В.И. Данилову-Данильяну².

Материалы и методы

Проблема обеспечения территорий пресной водой может быть решена одним из следующих методов:

1. Транспортировки из других регионов;
2. Опреснение соленой воды (подземные и поверхностные источники водоснабжения);
3. Извлечение воды из атмосферного воздуха

Транспортировка воды через эти регионы обычно является очень дорогостоящим процессом, а опреснение зависит от наличия засоленных водных ресурсов, которые обычно редко встречаются в засушливых регионах. Атмосферный воздух — это огромный и

¹ Лихачева А.Б. Проблема пресной воды как структурный фактор мировой экономики // Экономический журнал ВШЭ. – 2013. – С. 19-50.

² Данилов-Данильян В.И. Дефицит пресной воды и мировой рынок // Водные ресурсы. – 2005. – № 5. – С.47-56

возобновляемый водный резервуар. Это бесконечный источник воды доступен не только не исчезающей и доступен везде на земле. Добыча воды из атмосферного воздуха имеет несколько преимуществ по сравнению с другими методами. Воздух, как источник воды является возобновляемым и чистым, а количество воды в атмосферном воздухе оценивается в 14000 км^3 , а количество пресной воды в земле составляет всего около 1200 км^3 ³. Извлечение воды из атмосферного воздуха может осуществляться различными методами, наиболее распространенным из этих методов является охлаждение влажного воздуха до температуры ниже точки росы и абсорбция водяного пара из влажного воздуха с использованием твердого или жидкого осушителя, с последующим извлечением экстрагированной воды путем нагревания осушителя и конденсация испаренной воды.

В некоторых регионах мира, роса, если доступно, представляется простым решением для получения питьевой воды. Роса, действительно, используется растениями и мелкими животными в засушливой и полусухой среде. Также существует метод получения воды с помощью сопла Лавала, который широко используется для выделения жидкости из природного газа в нефтегазовой отрасли.

При проведении настоящего исследования были применены следующие общенаучные методы исследования: библиографический поиск; патентный поиск; сравнение технико-экономических факторов; компьютерное моделирование.

Основная часть

Далее будут рассмотрены существующие и перспективные способы получения пресной воды с последующим технико-экономическим обоснованием.

Установка 1. Земной коллектор. Одной из первых работ, посвященных извлечению воды из атмосферного воздуха, было опубликованной в России⁴. Был предложен аппарат, состоящий из системы вертикальных и наклонных каналов в атмосфере для сбора воды из атмосферного воздуха путем охлаждения влажного воздуха до температуры ниже точки росы. коллектор грунтовой воды. предложенный Кобаяши⁵ и показано на рис. 1 процесс образования росы, по принципу, состоит из трех оснований. Когда солнце светит ярко, поверхность земли становится сухой, создавая сухое основание. Глубина сухого основания изменяется в зависимости от типа почвы, количества осадков, глубины капиллярного основания и т.д. Под сухим основанием лежит влажное основание, который остается влажным через капиллярное действие, поскольку он находится в контакте с подземной водой. При капиллярном действии эта вода всасывается до поверхности земли через крошечные щели в почве. Когда поверхность земли нагревается солнцем, эта вода рассеивается в водяном паре. Чтобы собрать этот пар в виде капель, используется четырехугольный каркас с остеклением на склоне, называемая коллекторов грунтовых вод. Когда поверхность земли нагревается солнечной энергией, водяной пар, который испаряется от поверхности поднимается до остекления конвекцией и с помощью него конденсируется на нижней части остекления. Конденсат течет вдоль по остеклению под действием силы тяжести.

³ Львович М.И. Мировые ресурсы пресных вод // Научные обзоры и сообщения. –2003. – С. 70-76.

⁴ Алексеев В.В. и др. Установка для получения пресной воды из атмосферного воздуха. Патент РФ №2131000. МПК E03B 3/28.

⁵ Кобаяси М. Способ получения воды в засушливых землях // Солнечная энергия, –1963. – №7. – С. 93-99.

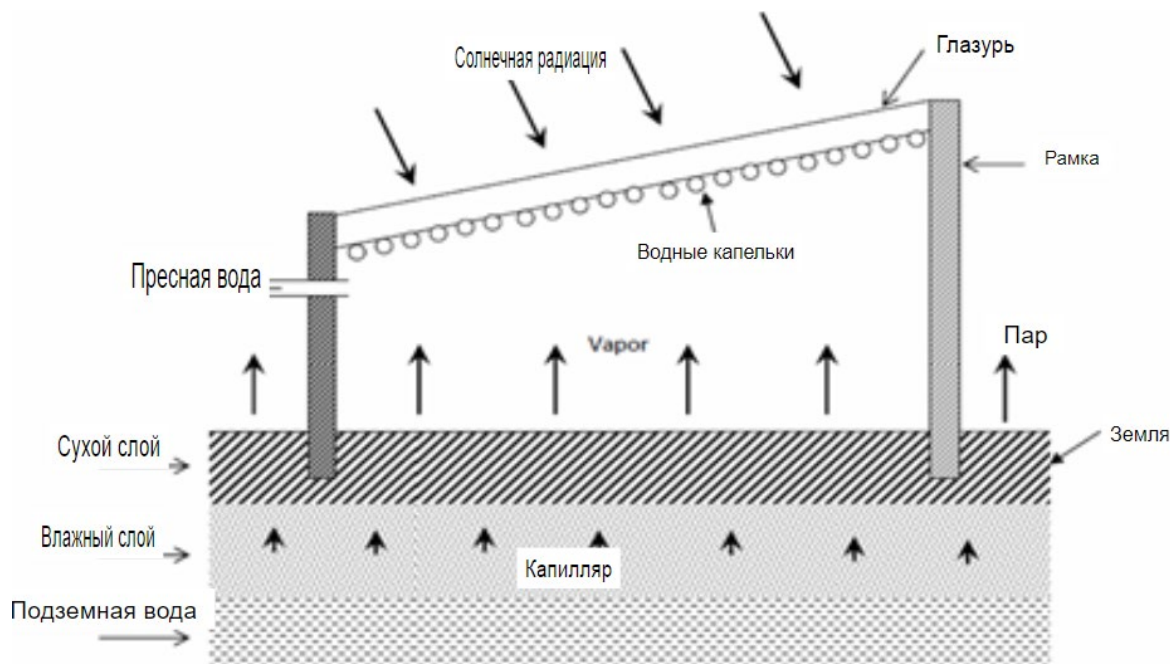


Рис. 1. Принцип работы водосборника [6]

Установка 2. Солнечный коллектор: Холл⁶ предложил систему для производства воды из атмосферного воздуха посредством абсорбции с использованием этиленгликоля в качестве жидкого осушителя с последующим восстановлением. Софрата⁷ построил нетрадиционную систему для сбора воды из воздуха на основе процесса адсорбции-десорбции с использованием твердого осушителя. В документе также обсуждается Технико-экономическое обоснование осуществимости применения систем кондиционирования для сбора воды из влажного воздуха, охлаждая его до температуры ниже точки росы. Алайли⁸ использовал типичный S-образный композитный материал для поглощения влаги из атмосферного воздуха с последующей регенерацией с использованием солнечной энергии. Хамед⁹ протестировал два метода получения воды из атмосферного воздуха с использованием солнечной энергии:

Первый метод был основан на охлаждении влажного воздуха до температуры ниже точки росы воздуха с использованием охлаждения абсорбента $LiBr-H_2O$.

Второй метод основан на абсорбции влаги из атмосферного воздуха в течение ночи с использованием хлорида кальция $CaCl_2$ раствора в виде жидкого осушителя с последующим восстановлением поглощенной воды в дневное время. В результате этого исследования второй метод был рекомендован в качестве наиболее подходящего применения солнечной энергии для получения воды из воздуха (рис. 2).

⁶ Холл Р.С. Производство воды из атмосферы путем поглощения с последующим восстановлением в солнечном неподвижном состоянии // Солнечная энергия –1966. – №10. – С. 42-45.

⁷ Софрата Х. Нетрадиционные системы для сбора воды // Труды Солнечной опреснительной мастерской. – Сери, Денвер, Колорадо. –1981. – С. 71-87.

⁸ Alayli Y., Hadji N.E., Leblond J. Новый процесс извлечения воды из воздуха // Опреснение. –1987. – №67. – С. 227-229.

⁹ Хамед, А.М. Нетрадиционный метод сбора воды из воздуха с использованием солнечной энергии OD: диссертация. ... кандидата технических наук: 05.14.08 Ахмед Мохамед Хамид, Российская академия наук. – Краснодар: ил. – 1993. –165 с.

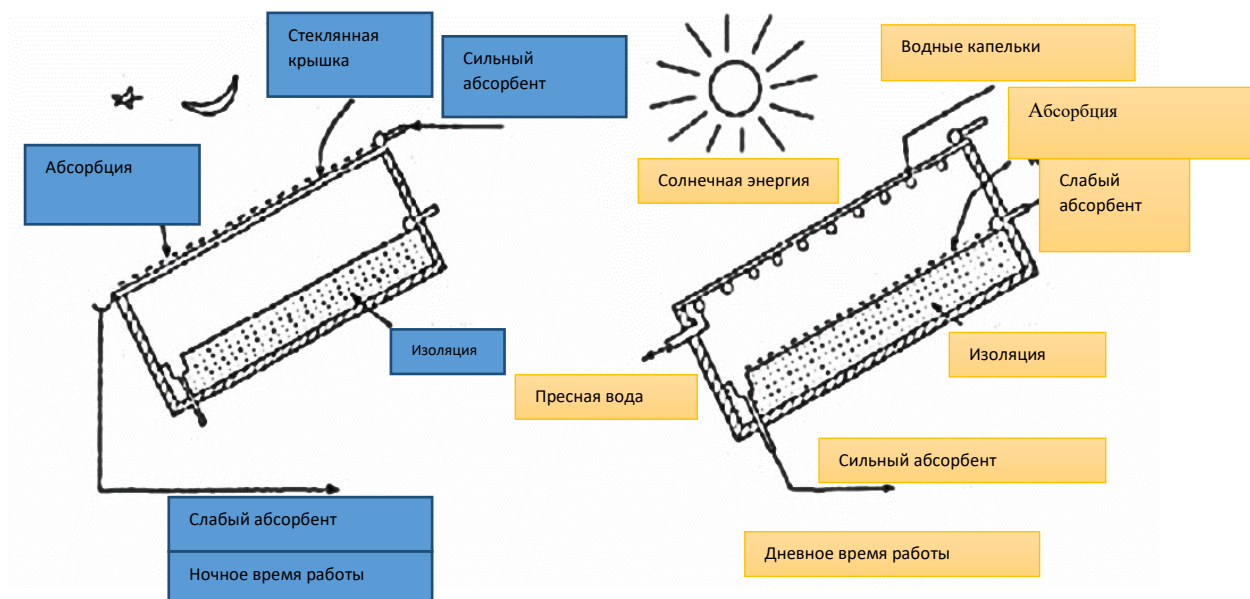


Рис. 2. Принципиальная схема работы солнечного аппарата для получения воды из воздуха [25]

Необходимость экономической реализации солнечно-осушительных систем для производства воды в засушливых районах имеет большое значение. Кроме того, неудобства и относительно высокая стоимость осушительного оборудования ограничивает использование таких единиц в большой. В пустынных районах смешивание песчаного основания поверхности земли с осушителем в качестве перспективного метода для минимизации стоимости пароизоляционного основания был предложен¹⁰. Песчаное основание, пропитанное осушителем, подвергается окружающей атмосфере для поглощения водяного пара ночью. Во время солнечного периода основание покрывается теплицей, где осушитель регенерируется, и водяной пар конденсируется на прозрачной поверхности теплицы или любых других холодных поверхность. Прогнозирование цикла поглощения требует знания процента подход к насыщению. Ввиду конструктивных параметров абсорбирующего основания с отношением осушителя к массе песка является важным фактором, влияющим на скорость абсорбции и, следовательно, скоростью производства воды. Извлечение воды из воздуха с помощью системы солнечного коллектора с песчаным основанием описано Кабелем¹¹.

Система исследована в теоретическом и экспериментальном аспекте для оценки производительности песчаного основания, пропитанного 30%-ной концентрацией CaCl_2 , для получения воды из влажного воздуха. Сообщается, что система может обеспечить до 1,2 л пресной воды на квадратный метр стеклянной крышки в день.

Результаты их лабораторных испытаний показали, что целесообразность производства пресной воды существует при выходе 3-5 тонн воды на 10 тонн сухого сорбента в сутки. Кроме того, селективный композитный адсорбент для солнечных двигателей производство пресной воды из атмосферного воздуха представлено в работе. Он синтезирован запатентованным ультра-большим пористым кристаллическим материалом МКМ-41 в качестве матрицы-хозяина и хлорид кальция как гигроскопичная соль.

¹⁰ Хамед, А.М. Нетрадиционный метод сбора воды из воздуха с использованием солнечной энергии OD: диссертация. ... кандидата технических наук: 05.14.08 Ахмед Мохамед Хамид, Российская академия наук. – Краснодар: ил. – 1993. – 165 с.

¹¹ Kabeel A.E. Применение солнечной коллекторной системы песчаного слоя для извлечения воды из воздуха // International Journal of Energy Research –2006. – № 30. – С. 381-394.

Устройство 3. Устройства для осушения воздуха. Аналогичное исследование было проведено аналитически¹² для климатических условий ближнего востока, и сообщалось, что количество пресной воды, полученное зависит от свойств влажного воздуха, скорости воздуха, площади поверхности охлаждающей катушки и устройство теплообмена. Следует отметить, что эта система использует хлорированные фторуглеродные соединения (ХФУ), идентифицированные как факторы, способствующие истощению озона основание (рис. 3).

- 1 - сборник плоской плиты
- 2 - стеклянная крышка
- 3 - отверстия вентиляторов.
- 4 - собранный водный канал
- 5 - пено изоляция
- 6 - алюминиевый лист
- 7 - стальной лист
- 8 - металлический каркас
- 9 - собранная труба воды сконденсированный
- 10 - собранная труба воды у сборников
- 11 - мерная колба
- 12 - конденсатор плоской плиты
- 13 - канал связи
- 14 - поддержка конденсатора
- 15 - отверстия конденсатора
- 16 - поддержка коллектора
- 17 - поддержка стеклянной крышки

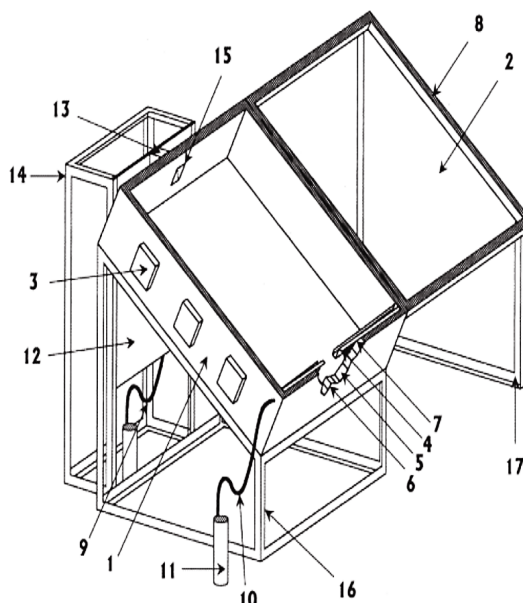


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментального поглотительного коллектора для воды [12]

Для типичной жаркой влажной погоды (Саудовская Аравия или другие стран в ближнем востоке), Хабибулла сообщил, что суточный диапазон выработка воды относительной влажности с минимумом в полдень. На основе фактических климатических данных, среднемесячная средняя выработка воды в течение августа и февраля составлял, соответственно, 509 и 401 кг/м² ¹³.

Сферы применения таких осушителей адсорбционные осушители воздуха с успехом применяются в различных сферах промышленности, машиностроения и для устранения избыточной влаги в бытовых помещениях. Кроме того, эти устройства наиболее эффективны: В медицине и пищевой промышленности для непрерывной работы на складах и в холодильных камерах в подвалах, музеях, архивах и т.д. при хранении удобрений в условиях контролируемой влажности при морских перевозках сыпучих грузов на предприятиях по производству микроэлектроники для космического и военно-промышленного комплекса для трубопроводов, транспортирующих сжатый воздух в районах с низкими температурными показателями¹⁴.

Установка 4. Сопла Лавая: Сверхзвуковая сепарация в сопле Лавая для извлечения одного компонента из массы потока является новым методом в сфере сепарации с высоким

¹² Халил А. Осушение атмосферного воздуха как потенциальный источник пресной воды в ОАЭ // Опреснение. – 1993. – № 93. – С. 587-596.

¹³ Хабибулла В.А., Потенциальное использование змеевиков испарителя для извлечения воды в жарких и влажных районах // Опреснение. – 2009. – № 237. – С. 330-345.

¹⁴ Назаренко А.В., Ермолаев В.А., Осушение сжатого влажного воздуха адсорбционной схемой осушки // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2015. – № 8. – С. 146–150. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2015/65030.htm>.

уровнем эффективности, который недавно стал объектом исследования в нефтегазовой отрасли. В данной статье предлагается методом извлечения воды из атмосферы, который позволяет получать не только значительно больший объем воды, но еще и вырабатывать электроэнергию для региона, в котором установка будет использоваться. Данная установка может быть использована в населённых пунктах, находящихся в засушливых регионах с высоким процентом влажности, а также при чрезвычайных ситуациях для обеспечения воды (рис. 4).

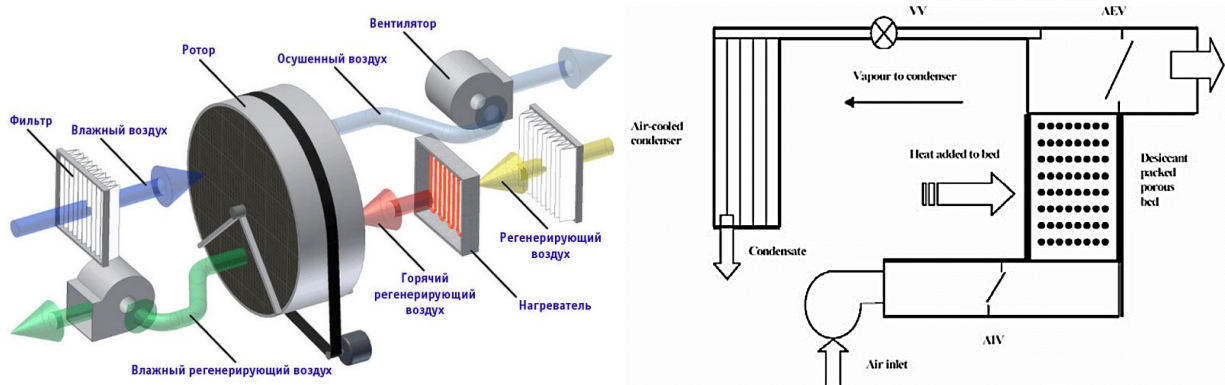


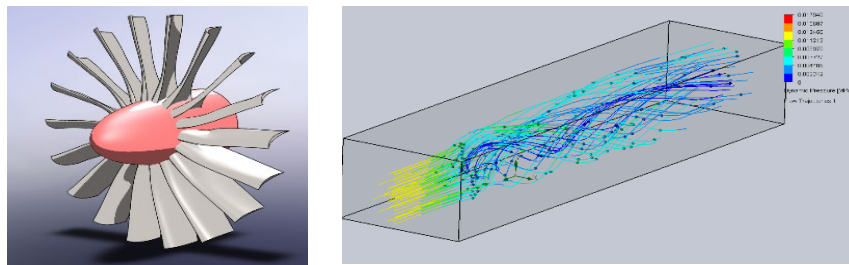
Рис. 4. Типовая схема абсорбционно-десорбционной системы получения воды из воздуха [14]

Как известно, из-за засушливого климата и гористого рельефа Иран не обладает достаточным количеством водных ресурсов. Объектом исследования является набережная персидского залива с достаточно большим количеством населения. Мы будем изучать эффективность производства воды, а именно фракцию конденсации, и постараемся найти техническое решение проблем, связанных с безопасностью. Это новая технология удаления одного или нескольких компонентов внутри циркуляционного потока в силу их специфических характеристик. В основе метода использования сопла Лаваля лежит эффект Дж. Томсона¹⁵. При движении потока газа вдоль сопла давление постепенно снижается. Достигнув критического сечения сопла, давление значительно уменьшается по сравнению с начальным, а скорость потока достигает числа Маха. Из-за расширения происходит достаточное падение температуры, что позволяет достичь точки росы водяного пара в воздушном потоке. После критического сечения в сопле образуются капли, которые находятся в состоянии перенасыщения. Чтобы увеличить размер капель, следует использовать метод, который называется «расширение капли Гингленом»¹⁶.

Когда воздушный поток попадает на вход, скорость перемещения составляет менее 1 Маха. По этой причине имеет смысл установить турбовентилятор в начале сопла. Потом газ проходит через горло. Диаметр в этой части сечения минимальны, а скорость газа достигает скорости звука $M=1$ после критической области диаметр начинает постепенно увеличиваться и приводит к расширению газового потока, а скорость постепенно становится больше 1 Маха ($M>1$).

¹⁵ Yang Y, Wen C, Wang S, Feng Y. Влияние условий входного и выходного потока на параметры природного газа в процессе сверхзвуковой сепарации // journal.pone.PlosOne. – 2014. – №10. DOI: 10.1371/journal.pone.0110313.

¹⁶ Qingfen M., Dapeng H. et al. Представление прибора разъединения газа внутреннего сердечника сверхзвукового метода расширения капель // Китайский журнал химической инженерии, кафедра инженерной механики, Хайнаньский Университет, Хайкоу, Китай. – 2009. – С. 925-933. DOI: 10.1016/S1004-9541(08)60298-0.



**Рис. 5. а) Турбовентилятор на входе сопла-Лавалья;
б) закрученный вихрь газовых потоков из турбовентилятора**

Для эксперимента необходимый диаметр должен составлять не менее 2,5 мкм. При установке турбовентилятора в начале сопла создаётся центробежная сила, позволяющая собирать частицы воды вдоль стенки сопла, увеличивая диаметр капель¹⁷.

Смесь газ-жидкость поступает в разделительное сопло (на значительном объёме) Который может быть разделен концентрическим делителем и выходит из устройства в виде разделенного потока¹⁸. Наконец, для того, чтобы уменьшить давление потока, ударная волна происходит, и температура увеличивается в этой области сразу после этого момента постоянно разброс снижается до звукового, но не ниже скорости на входе турбо струйного компрессора.

Заключение

Кроме последнего способа, для которого были проведены компьютерные расчеты в данной статье (рисунок 5), остальные решения не имеют достаточно высокой результативности и поэтому в реальном мире до сих пор не нашли экономического обоснования для массового внедрения. В устройстве на основе сопла Лавалья на основе характеристики для авиадвигателя ($n = 750$ об/мин)¹⁹, который рекомендуется для эксперимента, можно соединить электродвигатель с редуктором и получить электрическую мощность 2×5500 кВт и производительностью 85 %. Конечными продуктами данного устройства являются электроэнергия и вода, которые при данном методе будут намного дешевле в южных странах, таких, как Иран, чем ресурсы, полученные другими методами, названными в начале статьи. Эффективность данного устройства состоит в том, что оно может быть использовано в прибрежной регионе, например, в городе Бендёр-Аббас (Порт Аббаса), где средняя влажность составляет 66 %²⁰. Использование этого устройства намного выгоднее для городов и даже островов, находящихся в персидском заливе, чем строительство водоснабжений или привозка из далеких пунктов до точки потребления.

Следует отметить, что издержки на использование турбореактивного двигателя намного меньше, так как он не используется для летательных аппаратов. Кроме этого, выходной поток воздуха из сопла к двигателю будет содержать намного меньший процент влажности, что улучшит работоспособность и производительность ГТД.

Срок эксплуатации для установок 1-3 имеют средний срок службы 5 лет, а для установки №4 этот срок составляет 10 лет. В перспективе можно использовать газовую турбину с учётом

¹⁷ Торрес Г., Майкл Д. Обезвоживание сырого газа на сверхзвуковом вихревом сепараторе // Техническая механика трансакций, Чешский технический университет Праге. – 2012. – № 109. – С. 75-85.

¹⁸ Там же.

¹⁹ Созонов А. И. Авиационные двигатели: альбом схем // Ульяновск: УВАУ ГА. – 2008. – С. 52.

²⁰ Статистические данные о погоде в Иране. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://weatherspark.com/y/105552/AverageWeather-in-Bandar-Abbas-Iran-Year-Round>.

того, что газ намного дешевле, чем керасин, тогда и производительность увеличивается, а расходы на эксплуатацию уменьшаются.

Сводные технико-экономические характеристики, полученные в результате проведенного анализа, отображены в таблице 1.

Таблица 1

Технико-экономические характеристики установок получения воды

Установ-ка		Входной поток влажного воздуха (м³/ч)	Мощность, кВт	Производи- тельность, кг/ч	Вес, кг	Себестоимость литра воды, руб
1		----	0.01	1.5 ~ 2.5	<50	3.6~4
2		----	0.01	0.01 ~ 0.02	<50	1.0
3	a	500~600	16	3	16	0.6 ~0.8
	б	6000 ~ 12000	70 ~ 75	40 ~ 55	550 ~ 950	
	с	30 000 ~ 36 000	< 500	230 ~ 330	1700 ~ 3000	
4		118736.84	11 000	88 920	3600 ~4000	< 0.6

Выводы

Выполненные в данном исследовании позволили авторам получить предварительные теоретические и практические результаты, а также сформулировать выводы, основное содержание которых заключается в следующем:

1. Авторы считают важным понимание того, что обеспечение водой во многом определяет социально-экономическое и промышленное развитие страны, вследствие чего государства в разных регионах мира стремятся расширить свое участие в добыче, переработке и хранении воды любыми возможными путями.

2. Выявлено, что в настоящее время в странах Ближнего Востока в регионах нефтегазовой и нефтехимической промышленности сложилась сложная ситуация, при которой эти страны, обеспечиваются водой очень дорогостоящим путем, через опреснение морской воды. Эта технология может приносить вред в долгосрочной перспективе и требуются альтернативные экономически-обоснованные способы ее получения.

3. Наблюдается повышенная заинтересованность многих мировых государств к различным путям получения воды из воздуха особенно страны из лидеров нефтедобычи, нефтепереработки и нефтехимии в Ближневосточном регионе, что доказывает, что наше предложение имеет наибольшие перспективы для инвестиций. Получение электроэнергии и воды с помощью устройства на основании принципа сопла Лаваля представляется более экономически целесообразным в странах, таких, как Иран, чем при использовании других рассмотренных методов и требует дальнейшего изучения возможностей технической реализации.

Литература

1. Абуалхамайель Х.И., Гандхидасан П. Способ получения пресной воды из влажной атмосферы // Desali-nation, –1997. – № 113. – С. 51-63.
2. Алексеев В.В. и др. Установка для получения пресной воды из атмосферного воздуха. Патент РФ № 2131000. МПК E03B 3/28.
3. Ахмед М. Хамед, А.Э. Кабил, Э-Шафей Б. Зейдан, Айман А. Али Технический обзор по извлечению воды из атмосферного воздуха в аридных зонах. // JP Journal of Heat and Massopro Transfer. – Издательство Пушпа ЦНХ 213-228. – Vol. 4. – 2010. – №. 3. – С. 213-228. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pphmj.com/jphmt.htm>.
4. Данилов-Данильян В.И. Дефицит пресной воды и мировой рынок // Водные ресурсы. –2005. – № 5. – С.47-56

5. Кобаяси М. Способ получения воды в засушливых землях // Солнечная энергия, – 1963. – №7. – С. 93-99.
6. Лихачева А.Б. Проблема пресной воды как структурный фактор мировой экономики // Экономический журнал ВШЭ. –2013. – С. 19-50.
7. Львович М.И. Мировые ресурсы пресных вод // Научные обзоры и сообщения. –2003. – С. 70-76.
8. Назаренко А.В., Ермолаев В.А., Осушение сжатого влажного воздуха адсорбционной схемой осушки // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2015. – № 8. – С. 146–150. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2015/65030.htm>.
9. Созонов А. И. Авиационные двигатели: альбом схем // Ульяновск: УВАУ ГА. – 2008. –С. 52.
10. Софрата Х. Нетрадиционные системы для сбора воды // труды Солнечной опреснительной мастерской. – Сери, Денвер, Колорадо. –1981. – С. 71-87.
11. Статистические данные о погоде в Иране. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://weatherspark.com/y/105552/AverageWeather-in-Bandar-Abbas-Iran-Year-Round>.
12. Торрес Г., Майкл Д. Обезвоживание сырого газа на сверхзвуковом вихревом сепараторе // Техническая механика транзакций, Чешский технический университет Праге. – 2012. – № 109. – С. 75-85.
13. Хабибулла В.А., Потенциальное использование змеевиков испарителя для извлечения воды в жарких и влажных районах // Опреснение. – 2009. – № 237. – С. 330-345.
14. Халил А. Осушение атмосферного воздуха как потенциальный источник пресной воды в ОАЭ // Опреснение. –1993. – № 93. – С. 587-596.
15. Хамед А.М. Цикл абсорбции-регенерации для получения воды из воздуха-теоретический подход // Возобновляемая энергия. – 2000. – №19. – С. 625-635.
16. Хамед, А.М. Нетрадиционный метод сбора воды из воздуха с использованием солнечной энергии OD: диссертация. ... кандидата технических наук: 05.14.08 Ахмед Мохамед Хамид, Российская академия наук. – Краснодар: ил. – 1993. –165 с.
17. Холл Р.С. Производство воды из атмосферы путем поглощения с последующим восстановлением в солнечном неподвижном состоянии // Солнечная энергия –1966. – №10. – С. 42-45.
18. Alayli Y., Hadji N.E., Leblond J. Новый процесс извлечения воды из воздуха // Опреснение. –1987. – №67. – С. 227-229.
19. Kabeel A.E. Применение солнечной коллекторной системы песчаного слоя для извлечения воды из воздуха // International Journal of Energy Research. – 2006. – № 30. – С. 381-394.
20. Qingfen M., Dapeng H. et al. Представление прибора разъединения газа внутренн-сердечника сверхзвукового с метод расширения капель // Китайский журнал химической инженерии, кафедра инженерной механики, Хайнаньский Университет, Хайкоу, Китай. – 2009. –С. 925-933. DOI: 10.1016/S1004-9541(08)60298-0.
21. Yang Y, Wen C, Wang S, Feng Y. Влияние условий входного и выходного потока на параметры природного газа в процессе сверхзвуковой сепарации // journal.pone.PlosOne. – 2014. – №10. DOI: 10.1371/journal.pone.0110313.

References

1. Abualhamayel H.I., Gandhidasan P., Method for obtaining fresh water from a humid atmosphere // Desali-nation. – 1997. – V. 113. – P. 51-63.
2. Alekseev V.V. et al. Installation for obtaining fresh water from atmospheric air. Russian patent N 2131000. IPC E03B 3/28.

3. Ahmed M. Hamed, A.E. Kabil, E-Shafei B. Zeidan and Ayman A. Ali. Technical review of water extraction from atmospheric air in arid zones. // JP Journal of Heat and Massoppro Transfer. – Pushpa publishing house TSNH 213-228. – Vol. 4. – 2010. – V. 3. – P. 213-228. – URL: Access mode: <http://pphmj.com/journals/jphmt.htm>.
4. Danilov-Danilyan V.I. Shortage of fresh water and the world market // Water resources management. – 2005. – V 5. – P. 47-56.
5. Kobayashi M. Method of obtaining water in arid lands // Solar energy, – 1963. – V 7. – P. 93-99.
6. Likhacheva A.B. The problem of freshwater as a structural factor in the world economy // Economic Journal of the higher school of economics. – 2013. – P. 19-50.
7. Lvovich M.I. World freshwater resources // Scientific reviews and reports. – 2003. – P. 70-76.
8. Nazarenko A.V., Ermolaev V.A. Desiccation of compressed humid air by adsorption drying scheme // Scientific and methodological electronic journal "Concept". – 2015. – V. 8. – P. 146-150. –URL: <http://e-koncept.ru/2015/65030.htm>.
9. Sofrata H. Unconventional systems for collecting water, in: proceedings of the Solar desalination workshop // Seri, Denver, Colorado. – 1981. – P. 71-87.
10. Sozonov A. I. Aviation engines: album of schemes// Ulyanovsk: UVAU GA. 2008. P. 52.
11. Statistical weather data in Iran. URL: <https://weatherspark.com/y/105552/AverageWeather-in-Bandar-Abbas-Iran-Year-Round>.
12. Torres G., Michael D. Dewatering of raw gas on a supersonic vortex separator // Technical mechanics of transactions, Czech technical University Prague. 2012. V. 109. P. 75-85
13. Habibullah B.A. Potential use of evaporator coils to extract water in hot and humid areas // Desalination. – 2009. – V. 237. – P. 330-345.
14. Khalil A. Atmospheric air Drainage as a potential source of fresh water in the UAE // Desalination. – 1993. – V. 93. – P. 587-596.
15. Hamed A.M. absorption-regeneration Cycle for obtaining water from air-theoretical approach // Renewable energy. – 2000. – V. 19. – P. 625-635.
16. Hamed, A. M. non-traditional method of collecting water from air using solar energy OD: dissertation. ... candidate of technical Sciences: 05.14.08 Ahmed Mohamed Hamid, Russian Academy of Sciences. – Krasnodar: Il. – 1993. – 165 p.
17. Hall R.S. Production of water from the atmosphere by absorption followed by recovery in the solar stationary state // Solar energy. – 1966. –V. 10. – P. 42-45.
18. Alayli Y., Hadji N.E., Leblond J. A new process for extracting water from the air // Desalination. – 1987. – V. 67. – P. 227-229.
19. Qingfen M., Dapeng H. et al. Performance of internal-core supersonic gas separation device with droplet expansion method // Chinese journal of chemical engineering, Department of mechanical engineering, Hainan University, Haikou, China. – 2009. – P. 925-933. DOI: 10.1016/S1004-9541(08)60298-0.
20. Kabeel A.E. Application of the solar collector system of the sand layer for extracting water from the air // International Journal of Energy Research. – 2006. – V. 30. – P. 381-394.
21. Yang Y, Wen C, Wang S, Feng Y. Influence of input and output flow conditions on natural gas parameters during supersonic separation // journal.pone.PlosOne. – 2014. – V. 10. DOI: 10.1371/journal.pone.0110313.