

ОБЗОРЫ

УДК 664.38:57.042:631.576

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ВОЗДУХА**Шатманов О.Т., Исманов Ю.Х., Айдаралиев Ж.К., Изакеева Ф.С.***Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры
им. Н. Исанова, Бишкек, e-mail: i_yusupjan@mail.ru*

Проведен анализ наиболее распространенных методов получения пресной воды из атмосферного воздуха. Все базовые технологии получения воды из воздуха сведены к трем основным типам: получение воды прямым методом, посредством конденсации воды; увеличение концентрации водяного пара посредством использования мембран или материалов, поглощающих влагу; получение пресной воды как побочного продукта работы систем вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха. В свою очередь, и метод увеличения концентрации пара с использованием мембран и осушителей, и метод конденсации водяного пара можно разделить на две подгруппы: пассивные методы без использования внешних источников энергии и активные, использующие дополнительные внешние источники энергии. Анализ показал, что за последние несколько десятилетий было проведено множество исследований, на основе которых были разработаны несколько модификаций систем сбора воды из воздуха, в которых были учтены воздействия различных климатических и погодных условий, материалов и конструктивных особенностей базовых коллекторов, были значительно улучшены такие характеристики, как продуктивность и эффективность использования воды. И, тем не менее, даже после всех этих модификаций использование традиционных устройств получения воды из атмосферного воздуха не пошло дальше мелкомасштабного производства питьевой воды и снабжения районов, пострадавших от стихийных бедствий. Это совсем далеко от того, что ожидали от технологий получения воды из воздуха – промышленное производство воды с использованием энергетически эффективных технологий.

Ключевые слова: конденсация воды, водяной пар, коллектор, атмосферный воздух, сорбция, точка росы, туман**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF METHODS FOR OBTAINING WATER FROM AIR****Shatmanov O.T., Ismanov Yu.Kh., Aydaraliev Zh.K., Izakeeva F.S.***Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov,
Bishkek, e-mail: i_yusupjan@mail.ru*

The analysis of the most common methods of obtaining fresh water from atmospheric air is carried out. All basic technologies for obtaining water from air are reduced to three main types: obtaining water by the direct method, by means of water condensation; increasing the concentration of water vapor through the use of membranes or materials that absorb moisture; obtaining fresh water as a by-product of ventilation, heating and air conditioning systems. In turn, both the method of increasing the concentration of steam using membranes and dryers, and the method of condensation of water vapor can be divided into two subgroups: passive methods without using external energy sources and active ones, using additional external energy sources. The analysis showed that over the past few decades, many studies have been carried out, on the basis of which several modifications of water collection systems from the air have been developed, which took into account the effects of various climatic and weather conditions, materials and design features of the base collectors, such characteristics have been significantly improved. as the productivity and efficiency of water use. And yet, even after all these modifications, the use of traditional devices for obtaining water from atmospheric air did not go beyond the small-scale production of drinking water and the supply of areas affected by natural disasters. This is very far from what was expected from technologies for obtaining water from air – industrial production of water using energy-efficient technologies.

Keywords: water condensation, water vapor, collector, atmospheric air, sorption, dew point, fog

Двадцать первый век столкнулся с проблемой, которая принимает глобальный характер, – нехватка пресной воды. Последние исследования [1] показывают, что, если принять во внимание климатические колебания по сезонам года и связанные с ними изменения количества пресной воды по регионам мира, выясняется неоспоримый факт – более 5 млрд чел., а это три четвертых населения Земли, страдают от частичной нехватки пресной воды. И это происходит, по крайней мере, до двух месяцев в году. Самое тяжелое – это то, что почти 800 млн чел. в мире в течение всего года страдают от серьезной нехватки пресной воды. И при этом

никто не принимает во внимание, что окружающая нас атмосфера в той или иной мере насыщена водой, которая могла бы обеспечить потребности практически каждого человека на Земле [2]. Воду, которая присутствует в атмосфере, можно условно разделить на три базовых разновидности [3]: облачный покров на различных высотах над уровнем поверхности земли; вблизи поверхности земли это туман; ну и, наконец, постоянно присутствующий в воздухе водяной пар. Облачный и туманный покровы состоят из мельчайших капель воды, размеры которых не превышают 50 мкм, в отличие от дождевых капель, размеры которых

находятся в пределах от 1 до 6 мм. Правда, концентрация таких капель в тумане и облаках значительно выше, чем в случае дождя. Важная особенность сбора воды из воздуха заключается в том, что, в отличие от процессов опреснения, в этом случае присутствует пусть незначительное, но тем не менее влияние на гидрологическое равновесие в районе сбора воды из атмосферы, вплоть до того, что в удаленных открытых источниках воды уменьшается его объем [4]. Еще одна важная особенность – вода, добываемая из атмосферы чистая и, следовательно, пригодна как для употребления в качестве питьевой, так и для различных сельскохозяйственных и бытовых нужд [5].

Важность добычи воды из воздуха несомненна, и это в первую очередь касается засушливых районов, где других источников пресной воды просто нет [6]. Это касается как постоянного водоснабжения, так и обеспечения водой районов, пострадавших от стихийных бедствий [7–9]. Кроме упомянутых выше важных особенностей добычи воды из воздуха, можно также указать, что такой способ добычи воды по своей природе децентрализован, что делает его практически незаменимым при обеспечении питьевой водой при создании мелко-массового производства питьевой воды в бедных и слабо развитых странах [10]. Причиной более 2 млн смертей в год является низкая гигиена и отсутствие канализации – т.е. в конечном счете отсутствие чистой пресной воды [11–12]. Кроме того, наличие чистой пресной воды – это фактор экономического развития районов, которые удалены от обычных источников воды, таких как реки, озера, родники и др. Причем во многих таких районах годовое количество осадков совсем незначительно [13–15]. Последствия стихийных бедствий, частота которых, как показывает статистика, постоянно нарастает, ставят перед спасателями первоочередную задачу – обеспечение населения пострадавших районов питьевой водой [16]. Обычно доставка воды в такие районы осуществляется в таких емкостях, как бутылки и цистерны. Недостаток таких способов доставки заключается в том, что, во-первых, емкости ограничены по объему, во-вторых, всегда возникают проблемы с непрерывностью доставки воды из-за ее дороговизны. То есть технологии обеспечения пресной водой таких районов должны быть иными, более практичными и экономически целесообразными. Решить эту проблему могут позволить в основном два подхода: опреснение воды, содержащей соли, или сбор пресной воды непосредственно из атмосферы. Выбор необходимого метода

определяется в основном экономическими соображениями, наличием источника воды. К основным технологиям опреснения воды, содержащей соли, можно отнести такие, как дистилляция, выпаривание росы, обратный осмос и электродиализ [17–18]. Однако малые производства, опресняющие воду, экономически нерентабельны, так как требуют наличия вблизи источников соленой воды, необходимость использования квалифицированных кадров для обслуживания производства. Все сказанное значительно сужает возможности использования опреснительных систем для целей обеспечения пресной водой [18–20]. В этом отношении методы получения пресной воды из атмосферы являются более универсальными и, что не менее важно, легко совместимыми с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная энергия и энергия ветра [21].

Высокая ценность и насущная необходимость извлекаемой из атмосферы воды несомненна [22–24]. Однако практическое использование в промышленных масштабах систем получения воды из атмосферы до сих пор не нашло широкого применения, что является значительным тормозящим фактором в развитии таких систем. Если говорить об основных факторах, определяющих эффективность и экономическую целесообразность систем получения пресной воды из атмосферы, то к ним можно отнести следующие требования: она должна быть эффективной, дешевой, масштабируемой, широкополосной и достаточно стабильной, чтобы работать в течение всего года или, на крайний случай, сезона дождей. На сегодня пока нет ни одной системы получения воды из атмосферы, которая удовлетворяла бы все этим требованиям одновременно. Термодинамический взгляд на эту проблему дает однозначный ответ – процесс получения воды из атмосферы энергетически неэффективен.

Для понимания различных методов получения воды из атмосферы необходимо опираться на основы термодинамики и провести оценку эффективностей различных методов получения воды из атмосферы. Можно провести оценку и для одного метода получения воды из атмосферы, например метода сорбции. Упрощенно работу любой системы по добыче пресной воды из атмосферы можно разделить на два этапа: захват водяного пара из воздуха и конденсация этого пара до состояния жидкой влаги. Естественно, что и процесс захвата водяного пара из атмосферы, и дальнейшая ее конденсация требуют определенных энергетических затрат. И на этом этапе луч-

шими источниками энергии являются возобновляемые источники, такие как солнечная и ветровая энергии. Это обусловлено экономическими затратами и экологическими причинами. Величина эффективности работы систем по добыче пресной воды из атмосферы обычно определяется тремя факторами [19, 20]: количество воды, получаемой ежесуточно с единицы площади системы сбора; количество энергии, затрачиваемой на получение единицы массы воды; показатель рекуперации воздуха, подаваемого в систему. Показатель количества воды, получаемой ежесуточно с единицы площади коллектора системы сбора, обычно используется для измерения водоотдачи пассивных систем получения воды из атмосферного воздуха (подразумевается отсутствие энергопотребления). Показатели количества энергии, затрачиваемой на получение единицы массы воды и рекуперацию воздуха, подаваемого в систему, обычно используют для оценки энергетической эффективности и степени конденсации водяного пара в активных системах получения воды из атмосферного воздуха. Если для сбора воды используется метод ее прямого охлаждения, то показатели количества энергии, затрачиваемой на получение единицы массы воды E и рекуперации воздуха, подаваемого в систему R , могут быть определены следующим образом:

$$E = \frac{Q_{\text{конд}}}{m_{\text{вода}}} \approx C_p \left(\frac{\xi_T}{\xi_d} \right) \left(\frac{T_1 - T_{\text{конд}}}{\zeta_1 - \zeta_{\text{конд}}} \right) + h_{\text{конд}},$$

$$R = \xi_d \left(1 - \frac{\zeta_{\text{конд}}}{\zeta_1} \right).$$

Здесь T_1 и ζ_1 – значения температуры и показателя влажности воздуха на входе в конденсирующее устройство соответственно; $T_{\text{конд}}$ – значение температуры, при которой происходит конденсация водяного пара; $m_{\text{вода}}$ – количество воды, приходящейся на единицу массы воздуха (кг/кг); ξ_T и ξ_d – коэффициенты теплообмена и массового обмена конденсирующего устройства соответственно. Общее количество тепла $Q_{\text{конд}}$, удаляемого из влажного воздуха, складывается из двух составляющих: первая составляющая определяется изменением температуры влажного воздуха; вторая составляющая связана с энтальпией конденсации $h_{\text{конд}}$. Несомненно, что меньшее значение составляющей, определяемой изменением температуры влажного воздуха, может привести к меньшему E . Это предполагает, что входящий в систему добычи воды из атмосферного воздуха влажный

воздух имеет более высокую относительную влажность. В работе [25] был рассмотрен похожий коэффициент KL , определяющий степень отбора воды из воздуха. Между показателем количества энергии, затрачиваемой на получение единицы массы воды E и KL , существует простая связь: $E \times KL = h_{\text{конд}}$. Отталкиваясь от определений E и R , можно сделать вывод, что оптимальным режимом для получения воды из атмосферного воздуха являются низкое $T_{\text{конд}}$ и входящий воздух, для которого T_1 – низкое, а ζ_1 – высокое.

Целью данной статьи является анализ исторических и современных разработок технологий получения пресной воды из атмосферного воздуха с целью выбора методов, обладающих наибольшим потенциалом для их широкого внедрения.

Методы получения пресной воды из атмосферного воздуха

Форма присутствия воды в атмосферном воздухе определяет методы и технологии получения пресной воды из воздуха. Первый метод основан на технологиях создания искусственного дождя, т.е. в конечном счете на сборе дождевой воды. Второй, широко практикуемый метод основан на технологиях получения пресной воды из тумана [26–28]. И, наконец, получение воды в виде росы, т.е. сбор росы [29]. Искусственное изменение погоды посредством опрыскивания облаков соответствующими химикатами и создание искусственного дождя может вызвать обильные осадки. Правда, эти осадки происходят в основном только на уровне тропосферы, где часто присутствуют насыщенные водяными парами облака. Однако экспериментальных подтверждений возможности вызвать такие осадки известны и хорошо контролируемые методами на уровне земной поверхности на сегодняшний день нет [26–27]. В отличие от методов создания искусственных дождей, технологии сбора воды посредством обработки тумана хорошо отработаны. Эти технологии широко используются в засушливых районах и позволяют в значительной мере решать проблемы снабжения питьевой водой [6]. Получение росы и ее последующий сбор можно осуществить посредством пропускания воздуха, желателен влажного, над предварительно охлажденной поверхностью. Важным условием появления росы является то, что температура охлажденной поверхности должна быть ниже точки росы воздуха в данном месте и при данных условиях.

Компенсирование нехватки пресной воды посредством получения ее из водяно-

го пара, присутствующего в тумане, легче всего реализовать, и для этого существуют отработанные технологии в прибрежных районах с недостатком влаги. Наиболее широко распространенный метод сбора водяного пара, присутствующего в тумане, это использование полотна в виде сетки. Поверхность сетки обычно располагают нормально направлению ветров, которые дуют в данном районе, что приводит к тому, что капли воды из тумана прижимаются к сетке и в конечном счете застревают в ней. При достаточно длительном воздействии ветра и тумана капли разрастаются до тех пор, пока под действием силы тяжести не стекают по желобам в расположенные снизу резервуары для воды. В 1957 г. на севере Чили были проведены первые масштабные и убедительные эксперименты по использованию подобных сеток для сбора воды из тумана [30]. В работе [27] представлены результаты, которые развили идеи, предложенные в работе [30], но масштаб экспериментов оказался значительно большим. Эксперименты были проведены в районах, которые выбирались по принципу – районы должны быть засушливыми и прибрежными. Были выбраны пустыни Западной Африки, Южной Америки и Ближнего Востока вблизи побережий морей и океанов.

Успешность рассмотренных выше экспериментов по сбору воды из водяного пара, присутствующего в тумане, подтолкнула многих исследователей по всему миру провести подобные работы практически в промышленных масштабах [31]. Были выяснены наиболее оптимальные условия, при которых возможен выход воды на уровне экономической рентабельности: наличие водяных паров в тумане в диапазоне от 0,2 до 0,6 г/м³, коэффициент улавливания капель воды не меньше 60% при скорости ветра не меньше 4 м/с [32]. Результаты всех этих экспериментов позволили создать системы, позволяющие получать в засушливых районах воды не менее 4–8 г/сутки с одного квадратного метра сетки [31, 32]. Важным моментом при получении воды является место расположения систем получения воды из тумана. Все вышерассмотренные проекты располагали свои системы добычи воды вдали от жилых поселений. Это приводило к необходимости проводить трубопроводы от места сбора воды к жилым поселениям. В экономической составляющей систем получения воды стоимость проведения трубопровода от места сбора воды к жителям оказалась основной, причем это также усложняло всю систему из-за необходимости преодолевать гидротехнические проблемы. В работе [33] проведено исследова-

ние возможности расположения систем сбора воды из тумана в непосредственной близости от жилых построек. В работе [34] показано, что система сбора воды из тумана может быть достаточно эффективной и экономически целесообразной, если ее разместить в районах, где туман является достаточно частым и регулярным явлением, причем длительность его наличия должна быть относительно большой. Хорошо удовлетворяют этим критериям, применительно к засушливым районам, высокогорные туманы, которые содержат большое количество водяных паров. Важным фактором эффективности сбора воды является наличие ветра в местах расположения систем сбора воды из тумана.

Если ввести коэффициент эффективности сбора воды из тумана как отношение количества воды, стекающего по сетке в желоба, к общему количеству воды переносимого ветром через поверхность сетки в виде капель воды, то выясняется, что этот коэффициент довольно низкий во всех современных системах сбора воды [31]. На снижение рассмотренного коэффициента сильно влияют два фактора, которые зависят от площади сетки, через которую переносятся капли воды тумана под действием ветра: это возможный унос ветром уже осевших на сетке капель и, если капли не уносятся, то происходит забивание ячеек сетки этими каплями. При проектировании систем сбора воды из тумана проектировщики сталкиваются с дилеммой. Если взять грубую сетку с крупными ячейками, то такая сетка пропускает мелкие капли, что резко понижает эффективность системы сбора воды. Если же взять мелкоячеистую сетку, то возникает проблема засорения сетки каплями воды. Решить проблему засорения можно используя методы супергидрофобной обработки. Правда, такая обработка не обладает достаточной долговечностью. В работе [35] предложен довольно эффективный метод решения указанной проблемы. Авторы использовали в своем проекте вместо крестообразной сетки вертикально расположенные, натянутые, как струны гитары, проволоки. В работе [36] предложен оригинальный формат сетки в виде паутины. Причем паутина соткана таким образом, что вода по ней стекает в заданном направлении. Для этих сеток использовалась не металлическая проволока, а дешевые полые волокна, что значительно снизило их стоимость. Предложенные схемы, несомненно, обладают достаточно высокой эффективностью, в них заложен хороший потенциал, однако пока все результаты по ним получены в строго контролируемых лабора-

торных условиях, а необходимы результаты, полученные в полевых условиях. Полевые условия могут значительно отличаться от условий лаборатории.

Хорошей и достаточно эффективной заменой метода получения воды из тумана может быть сбор воды в виде росы [37–39]. Главное преимущество этого метода получения воды – это отсутствие его зависимости от климата и географии места расположения системы, в отличие от метода получения воды из тумана. С экономической точки зрения этот метод также оказывается более рентабельным, чем создание искусственных дождей в малооблачных и засушливых районах. Сбор росы до последних лет был в основном сосредоточен на излучающих конденсирующих устройствах пассивного типа [40]. Такие устройства не требуют дополнительных затрат энергии. Однако такие устройства способны работать только в ночное время, что обусловлено тем фактором, что в дневное время поверхность нагревается до более высоких температур, чем окружающая среда.

Обобщенную и экспериментально обоснованную теорию эффективных излучающих конденсирующих устройств предложили исследователи в работах [3, 4]. Полученные по всему миру экспериментальные результаты и их теоретическое обобщение позволили выработать международные стандарты по основным параметрам сбора росы – это и методология, и приборы, используемые при сборе росы. В качестве одного из этих стандартов предлагается использовать для сбора росы специальную белую пленку, изготовленную из полиэтилена низкой плотности. Указанная полиэтиленовая пленка обладает высокой гидрофильностью, что резко снижает размеры капель воды, при которых начинается процесс конденсации. Кроме того, материал обладает высоким коэффициентом излучения в ближней инфракрасной области, т.е. обеспечивает достаточно быстрое охлаждение под пленкой. Данные параметры являются важнейшими при формировании росы. Теоретический предел образования росы только за счет охлаждения посредством излучения достигает 0,9 кг/сутки с одного квадратного метра. Практические значения выхода росы в районах, характеризующихся сильной засушливостью, не превышают для лучших систем сбора воды 0,35–0,65 кг/сутки с одного квадратного метра площади поверхности. Если обобщить полученные экспериментальные результаты, то можно сделать вывод, что процесс получения воды через формирование росы ограничен скоростью потери тепла посредством из-

лучения, погодными условиями на момент сбора росы и в какой-то мере особенностями поверхности в точке сбора. Погодные условия достаточно сильно определяют уровень теплообмена между поверхностью и воздухом.

При разработке эффективных промышленных методов кондиционирования воздуха были предложены во множестве различные активные методы формирования росы и сбора воды [38]. Все эти методы требуют дополнительных затрат энергии. Хотя первые активные методы формирования росы были предложены еще в 1930-х гг., начали развиваться они только после 1980-х гг., с широким внедрением эффективных промышленных методов механического охлаждения воздуха. В настоящее время именно активные методы конденсации воды получают самое широкое применение в районах не только с недостатком питьевой воды, но и в районах, где качество такой воды низкое. Работа активных систем конденсации воды аналогична работе обычных осушителей воздуха. Среди работ, исследующих возможности использования активных методов конденсации воды встречаются работы, сообщающие о слишком высоком потреблении энергии систем конденсации воды [41]. Однако, как показывает анализ этих работ, это связано со слабым процессом теплообмена и малым количеством воды, получаемой небольшими установками. В работах [42] рассмотрены конструкции систем кондиционирования воды активного типа. Рассмотрены модели переносного вида производительностью до 5 л/сутки и стационарные промышленного типа, используемые для сельскохозяйственных целей, производительностью до 250000 л/сутки. Конструкционные особенности систем кондиционирования воздуха активного типа определяют потребление ими энергии. На сегодняшний день промышленные системы получения воды из воздуха используют в основном обычные, хорошо отработанные технологии кондиционирования воздуха, причем среднее потребление электрической энергии находится в пределах от 0,6 до 0,8 кВт·ч/кг. Наилучшая на сегодняшний день эффективность систем получения воды из воздуха достигает 0,25 кВт·ч/кг [43]. Добиться улучшения одной из важнейших характеристик, влияющих на повышение эффективности систем получения воды из воздуха, понижения температуры влажного воздуха можно посредством прямого расширения воздуха в детандере. Данный подход является более простым и во многих случаях более эффективным. Теоретический анализ возможности использования расширителя

был проведен в работе [44]. Результатом проведенного анализа стали разработки нескольких прототипов экспериментального характера.

Энергетические затраты при получении воды из воздуха активными методами довольно высокие при использовании энергии, полученной из ископаемого топлива. Поэтому было предложено множество разработок, использующих в качестве источника энергии возобновляемые источники, такие как солнце или ветер [45]. Различными исследователями было предложено два основных метода получения воды из воздуха, которые получили высокую оценку: один – это метод, использующий сорбцию, регенерацию и конденсацию [38], второй метод – это метод сбора росы сорбционным охлаждающим устройством, использующим солнечную энергию [38]. Метод, использующий сорбцию, регенерацию и конденсацию – это один из самых старых методов. В этом методе используются поглотители влаги для сбора влаги из воздуха в тени. Следующий шаг – это вытяжка воды из поглотителя влаги на солнце. В результате вытяжки образуется водяной пар, который конденсируют и собирают в виде жидкости. Поглотитель влаги, из которого удалена вода, повторно охлаждается в тени и используется для дальнейших циклов улавливания воды. В указанном цикле предпочтительней всего было бы использовать жидкий осушитель. Однако охлаждение реактивированного раствора задача достаточно сложная, требующая более низких температур и больших охлаждающих поверхностей. В работе [41] предлагается модификация рассмотренной выше системы получения воды из воздуха. Материалы, поглощающие влагу, используются для улавливания влаги из воздуха только в ночное время, а процесс отбора влаги из этих материалов происходит в дневное время с использованием солнечной энергии. В данном случае материал, поглощающий влагу, на этапе поглощения воды может охлаждаться непосредственно прохладным ночным воздухом в течение всей ночи. На сегодняшний день представлены три базовых типа систем получения воды, использующих сорбцию, регенерацию и конденсацию. Первый тип – это обычная застекленная теплица, которую иногда называют солнечной батареей [32–33]. В ночное время створки стеклянного покрытия теплицы раскрываются, внутрь теплицы подается внешний влажный воздух (подача осуществляется за счет естественной либо принудительной конвекции). Материал, поглощающий влагу, отбирает ее у влажного воздуха. В дневное

время створки закрываются, солнечное тепло проникает внутрь теплицы, поглотитель влаги нагревается, вода испаряется и конденсируется на стеклянных стенах теплицы или специальном конденсирующем устройстве, который работает только от внешнего охлаждения.

Получение воды с помощью росы с использованием промышленных систем охлаждения на основе сорбции можно проводить круглые сутки, при условии, что они состыкованы с системами накопления тепла. В системах, использующих метод прямого охлаждения при сборе росы, данная технология является преобладающей.

Конденсаторы, использующие в качестве источников энергии фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии в электрическую [30–31], в основном используются в портативных устройствах получения воды из воздуха в специальных случаях в производствах с низким уровнем потребности воды, так как имеют небольшой объем и низкую стоимость. Так, например, в работе [34] рассмотрен генератор пресной воды, работающий от фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии, индивидуального пользования, который можно использовать при перемещении в засушливых и пустынных районах.

Неожиданный и интересный метод получения воды из воздуха связан с системами вентиляции, кондиционирования и в какой-то мере даже с отоплением. Если рассматривать системы кондиционирования воздуха в летнее время, то видно, что воздух в такой системе охлаждается обычно ниже точки росы. То есть в системах кондиционирования образуется много конденсированной воды, которая обычно выбрасывается. Иными словами, такая конденсированная вода просто оказывается в системе городской канализации. Если же состыковать систему кондиционирования и систему сбора воды, то решаются сразу две проблемы – охлаждение воздуха и получение пресной воды, причем энергетические затраты остаются в тех же пределах. Такое рассмотрение систем вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха позволяет получать пресную воду из воздуха бесплатно, как побочный продукт работы этих систем.

Заключение

Технологии получения воды из воздуха можно свести к трем основным типам: получение воды прямым методом, посредством конденсации воды; увеличение концентрации водяного пара посредством использования мембран или материалов,

поглощающих влагу; получение пресной воды, как побочного продукта работы систем вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха. В свою очередь, и метод увеличения концентрации пара с использованием мембран и осушителей, и метод конденсации водяного пара можно разделить на две подгруппы: пассивные методы, без использования внешних источников энергии, и активные, использующие дополнительные внешние источники энергии. В каждом отдельном случае выбор необходимого метода получения воды из воздуха зависит от таких факторов, как региональные климатические условия и экономическая необходимость – капитальные, эксплуатационные и энергетические затраты.

За последние несколько десятилетий было проведено множество исследований, на основе которых были разработаны несколько модификаций систем сбора воды из воздуха, в которых были учтены воздействия различных климатических и погодных условий, материалов и конструктивных особенностей базовых коллекторов, были значительно улучшены такие характеристики, как продуктивность и эффективность использования воды. И тем не менее, даже после всех этих модификаций использование традиционных устройств получения воды из атмосферного воздуха не пошло дальше мелкомасштабного производства питьевой воды и снабжения районов, пострадавших от стихийных бедствий. Это совсем далеко от того, что ожидали от технологий получения воды из воздуха – промышленное производство воды с использованием энергетически эффективных технологий. Получение воды из тумана – достаточно эффективный способ добычи воды, однако его существенный недостаток – сильное ограничение по месту использования. Устройства сбора воды, в котором происходит конденсация водяных паров за счет охлаждения при излучении энергии в окружающую среду, при отсутствии внешних источников энергии имеют низкое значение удельного выхода воды, получаемого в сутки с единицы площади коллектора. Системы сбора воды на базе сорбции пассивного типа также имеют низкое значение удельного выхода воды, получаемого в сутки с единицы площади коллектора, из-за невысокого значения коэффициента рекуперации подаваемого воздуха. Устройства получения воды из воздуха, использующие промышленные системы кондиционирования воздуха для охлаждения, потребляют большое количество энергии на единицу массы продукции, что напрямую связано с низким значением КПД промышленных систем

кондиционирования воздуха. Тем не менее устройства получения воды из воздуха сорбционного типа, использующие в качестве внешнего источника солнечную энергию, т.е. конденсирующие устройства активного типа, обладают значительным потенциалом из-за их компактности, эффективности и широкой приспособляемости.

Список литературы

1. William G.E., Mokhamed M.Kh., Fatouh M. Desiccant system for water production from humid air using solar energy. *Energy*. 2015. No. 90. P. 1707–1720.
2. Kumar M., Yadav A. Experimental investigation of solar powered water production from atmospheric air by using composite desiccant material. *Desalination*. 2015. No. 367. P. 216–222.
3. Kim Kh., Yang S., Rao S.R. Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight. *Science*. 2017. No. 356. P. 430–434.
4. Bergmair D. Design of a System for Humidity Harvesting Using Water Vapor Selective Membranes. *Energy*. 2015. No. 92. P. 2021–2030.
5. Bergmair D., Metz S.J., de Lange Kh.C. A low pressure recirculated sweep stream for energy efficient membrane facilitated humidity harvesting. *Sep. Purif. Technol.* 2015. No. 150. P. 112–118.
6. Woods J. Membrane processes for heating, ventilation, and air conditioning. *Renew Sustain Energy Rev.* 2014. No. 33. P. 290–304.
7. Bergmair D., Metz S.J., de Lange Kh.C. System analysis of membrane facilitated water generation from air humidity. *Desalination*. 2014. No. 339. P. 26–33.
8. Yin Y., Qian J., Zhang X. Recent advancements in liquid desiccant dehumidification technology. *Renew Sustain Energy Rev.* 2014. No. 31. P. 38–52.
9. Bui D.T., Nida A., Ng K.C. Water vapor permeation and dehumidification performance of poly(vinyl alcohol)/lithium chloride composite membranes. *J. Membr. Sci.* 2016. No. 498. P. 254–262.
10. Bui T.D., Wong Y., Thu K. Effect of hygroscopic materials on water vapor permeation and dehumidification performance of poly(vinyl alcohol) membranes. *J. Appl. Polym. Sci.* 2017. No. 134. P. 640–643.
11. Magrini A., Cattani L., Cartesegna M. Production of water from the air: the environmental sustainability of air-conditioning systems through a more intelligent use of resources. The advantages of an integrated system. *Energy Procedia*. 2015. No. 78. P. 1153–1158.
12. Dalai P., Nanda P., Mund C. An experimental study on water harvesting from a modified window air-conditioner. *Energy Procedia*. 2017. No. 109. P. 253–260.
13. Joshi V.P., Joshi V.S., Kothari Kh.A. Experimental investigations on a portable fresh water generator using a thermoelectric cooler. *Energy Procedia*. 2017. No. 109. P. 161–166.
14. Liu S., He W., Hu D. Experimental analysis of a portable atmospheric water generator by thermoelectric cooling method. *Energy Procedia*. 2017. No. 142. P. 1609–1614.
15. Zhang S., Huang J., Chen Z. Bioinspired special wettability surfaces: from fundamental research to water harvesting applications. *Small*. 2017. No. 13. P. 1602992.
16. Cao M., Ju J., Li K. Facile and large-scale fabrication of a cactus-inspired continuous fog collector. *Adv. Funct. Mater.* 2014. No. 24. P. 3235–3240.
17. Gürsoy M., Harris M.T., Carletto A. Bioinspired asymmetric an isotropic (directional) fog harvesting based on the arid climate plant *Eremopyrum orientale*. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 2017. No. 529. P. 959–965.

18. Gürsoy M., Harris M.T., Downing J.O. Bioinspired fog capture and channel mechanism based on the arid climate plant *Salsola crassa*. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 2017. No. 529. P. 195–202.
19. Park K.-C., Kim P., Grinthal A. Condensation on slippery asymmetric bumps. *Nature*. 2016. No. 531. P. 78–82.
20. Shang L., Fu F., Cheng Y. Bioinspired multifunctional spindle-knotted microfibers from microfluidics. *Small*. 2017. No. 13. P. 1600286.
21. Gido B., Friedler E., Broday D.M. Liquid-desiccant vapor separation reduces the energy requirements of atmospheric moisture harvesting. *Environ. Sci. Technol.* 2016. No. 50. P. 8362–8367.
22. Beysens D., Clus O., Mileta M. Collecting dew as a water source on small islands: the dew equipment for water project in Bis'evo (Croatia). *Energy*. 2012. No. 32. P. 1032–1037.
23. Alnaser W.E., Barakat A. Use of condensed water vapour from the atmosphere for irrigation in Bahrain. *Appl. Energy*. 2011. No. 65. P. 13–18.
24. Sharan G. Harvesting dew with radiation cooled condensers to supplement drinking water supply in semi-arid. *IJSLE*. 2011. No. 6. P. 130–150.
25. Sharma D.C. How Indian scientists have started harvesting potable drinking water from dew. *Appl. Energy*. 2017. P. 34–41.
26. Jacobs A.F.G., Heusinkveld B.G., Berkowicz S.M. Passive dew collection in a grassland area, The Netherlands. *Atmos. Res.* 2011. No. 87. P. 377–385.
27. Clus O., Ouazzani J., Muselli M. Comparison of various radiation cooled dew condensers using computational fluid dynamics. *Desalination*. 2012. No. 249. P. 707–712.
28. Sharan G., Clus O., Singh S. A very large dew and rain ridge collector in the Kutch area (Gujarat, India). *J. Hydrol.* 2011. No. 405. P. 171–181.
29. Mokhamed M. Kh., William G.E., Fatouh M. Solar energy utilization in water production from humid air. *Sol Energy*. 2017. No. 148. P. 98–109.
30. Davtala R., Salamat A., Oji R. Water harvesting from fog and air humidity in the warm and coastal regions in the south of Iran. *Irrig. Drain.* 2013. No. 62. P. 281–288.
31. Schemenauer R.S., Joe P.I. The collection efficiency of a massive fog collector. *Atmos. Res.* 2011. No. 124. P. 53–69.
32. Regalado C.M., Ritter A. The design of an optimal fog water collector: a theoretical analysis. *Atmos. Res.* 2016. No. 178. P. 45–54.
33. Seo D., Lee J., Lee C. The effects of surface wettability on the fog and dew moisture harvesting performance on tubular surfaces. *Sci. Rep.* 2016. No. 6. P. 24276.
34. Azad M.A.K., Ellerbrok D., Barthlott W. Fog collecting biomimetic surfaces: influence of microstructure and wettability. *Bioinspir. Biomim.* 2015. No. 10. P. 016004.
35. Rajaram M., Heng X., Oza M. Enhancement of fog-collection efficiency of a Raschel mesh using surface coatings and local geometric changes. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 2016. No. 508. P. 218–229.
36. Domen J.K., Stringfellow W.T., Camarillo M.K. Fog water as an alternative and sustainable water resource. *Clean. Technol. Envir.* 2014. No. 16. P. 235–249.
37. Brown P.S., Bhushan B. Bioinspired materials for water supply and management: water collection, water purification and separation of water from oil. *Philos. Trans. Royal Soc. A.* 2016. No. 374. P. 1–15.
38. Zheng Y., Bai H., Huang Z. Directional water collection on wetted spider silk. *Nature*. 2011. No. 463. P. 640–643.
39. Исманов Ю.Х., Джаманкызов Н.К., Тынышова Т.Д., Алымкулов С.А. Восстановление бесчелевой радужной голограммы когерентной волной // Материалы VII Международной конференции по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2018. С. 596–597.
40. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесчелевой радужной голографии // Вестник КГУСТА. 2015. № 4 (40). С. 194–198.
41. Исманов Ю.Х., Исмаилов Д.А., Жумалиев К.М., Алымкулов С.А. Эффект саморепродуцирования в голографии // Материалы VI Международной конференции по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2017. С. 646–647.
42. Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Алымкулов С.А. Использование приближения Френеля для расчета распределения светового поля, прошедшего сквозь решетку // Вестник КГУСТА. 2017. № 3 (57). С. 171–178.
43. Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Абдулаев А.А. Моделирование оптической системы, работающей при некогерентном освещении // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 3. С. 98–102.
44. Исманов Ю.Х. Восстановление изображения волнами различной длины // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. 2015. № 4. С. 30–33.
45. Ismanov Y.Kh., Tynysheva T.D., Aidaraliev Z.K. Wide-range holographic interferometer. *Optical Engineering*. 2018. Vol. 57. No. 12. 124106. DOI: 10.1117/1.OE.57.12.124106.