

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ МЕТОДОМ КОНДЕНСАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

Один из источников пресной воды – вода в воздухе, до сих пор оказывается малоизученным. Климат Оренбургской области является резко континентальным, поэтому в теплое время года в ночное время из охлажденного воздуха конденсируется влага в виде росы. Интенсивность образования росы зависит от влажности воздуха, суточного перепада температур, скорости ветра и ориентации осаждающей поверхности. Чтобы собрать сконденсированную воду с древних времен и до наших дней конструируются системы, имеющие большую осаждаемую поверхность с искусственно созданными центрами конденсации.

По результатам сравнительного анализа средней предполагаемой производительности установок для получения воды из воздуха методом конденсации для разных населенных пунктов и районов Оренбургской области сделан вывод, что наибольшие результаты могут быть получены в районе Соль-Илецка. При анализе данных для этого населенного пункта был выявлен наиболее благоприятный период, июль 2013 года. Рассчитанное для этого месяца количество воды, составляет в среднем 0,002 литра из 1 кг воздуха в сутки или 0,00155 литров из 1 м³ воздуха. Данное значение мало и свидетельствует о низкой эффективности использования метода естественной конденсации для получения пресной воды на территории Оренбургской области. Соответственно, чтобы установка естественной конденсации воды давала более 1 литра в сутки необходимо осуществлять принудительную циркуляцию воздуха вдоль осаждающей поверхности не менее 645 м³/сутки.

Ключевые слова: вода, воздух, конденсация, точка росы, относительная влажность воздуха.

В связи с увеличением населения земного шара возникает потребность в обеспечении человечества ресурсами, которые необходимы для осуществления процессов жизнедеятельности. Одним из таких ресурсов является вода – важнейший компонент существования человека. Без воды человек может прожить всего 5–6 дней, т. к. его тело состоит из нее в среднем на 65 % [1].

В России основной источник водоснабжения – речной сток, который составляет в среднем по водности годы 4262 км³. При этом 92 % приходится на бассейны Северного Ледовитого и Тихого океана, т. е. на территорию севера России, Сибири и Дальнего Востока, где проживает менее 20 % россиян.

На бассейны Каспийского и Азовского морей приходится менее 8 % общего годового стока. Но именно на этой территории сосредоточено около 80 % всего населения России. На этой территории находится и Оренбургская область.

Аномально высокие температуры в летние месяцы и отсутствие дождей приводят к обмелению поверхностных рек и других водоемов. При этом уменьшается и количество подземных вод, которые находятся в порах, пустотах и трещинах водоносных горизонтов горных пород.

Но основная масса воды, количество которой превышает содержание во всех речных руслах – это вода в атмосфере. Ежегодно испаряется с поверхности суши и океана 577 тыс. км³ влаги и столько же потом выпадает в виде осадков. Вода в атмосфере в течение года обновляется 45 раз.

Основной источник пресной воды – вода в воздухе, оказывается неиспользуемым.

Данный ресурс пресной воды постоянно возобновляется. Количество водяных паров в атмосфере – один из важных климатических показателей, который связан прежде всего с испарением.

Испарение зависит от температуры воды и воздуха, скорости ветра, атмосферного давления, а также от ряда ландшафтных характеристик. Половина всего водяного пара в атмосфере приходится на нижние полтора километра от земной поверхности.

Во многих засушливых районах, в том числе и на некоторых территориях Оренбургской области, пресная вода имеется только в виде атмосферной влаги.

Известна природная наземная конденсация в виде росы – при интенсивном выхолаживании земной поверхности ночью или в глубоких расщелинах, пещерах, подземных пустотах, где

имеются соответствующие условия и постоянное поступление свежего воздуха.

По данным первичных наблюдений, образование росы происходит главным образом в ночное время и зависит от интенсивности выхолаживания подстилающей поверхности ночью и от метеорологических условий конкретной ночи. При охлаждении открытых поверхностей в темное время суток, когда их температура опускается ниже точки росы, водяной пар в прилегающем слое воздуха достигает состояния насыщения и начинает конденсироваться на поверхности в виде мелких капель. Неодинаковая интенсивность излучения различных тел приводит к большим расхождениям в количестве осаждающейся на их поверхности влаги. Этим можно объяснить и значительное уменьшение количества росы на затененных частях наземных предметов и растений.

Интенсивность образования росы зависит не только от разности температур, но и от влажности воздуха, скорости ветра и ориентации поверхности. Обычно процесс появления росы сопровождается приземной инверсией температуры. Инверсионный слой является задерживающим слоем в атмосфере, он препятствует движению воздуха по вертикали, вследствие чего под ним накапливаются водяной пар, а это способствует образованию тумана [2].

Атмосферный воздух всегда содержит некоторое количество влаги в виде ненасыщенного перегретого или насыщенного водяного пара, которая меняет термодинамические свойства воздуха тем сильнее, чем ее больше.

Влажность воздуха (абсолютная) характеризуется количеством пара в 1 м^3 , т. е. удельным содержанием пара в смеси. Влажность воздуха максимальна, если пар, содержащийся в воздухе, сухой, так как он обладает наибольшей плотностью.

Отношение абсолютной влажности воздуха к его максимальной влажности при данной температуре – относительная влажность

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{п}}$ – абсолютная влажность воздуха (плотность пара в смеси);

$\rho_{\text{с}}$ – плотность сухого насыщенного пара при температуре смеси.

Относительная влажность воздуха может изменяться от 0 до 1. При $\varphi = 1$ воздух насыщен влагой. Температура, при которой $\varphi = 1$, называется точкой росы. При понижении температуры насыщенного воздуха начинается конденсация водяного пара, воздух теряет прозрачность вследствие возникновения в нем мельчайших капель воды (тумана). Такой воздух перенасыщен влагой.

При перепадах температуры и относительном постоянстве атмосферного давления воздуха в течение суток рассматриваемый процесс сопровождается конденсацией части пара. Количество воды, выпавшей в виде конденсата, можно определить, используя ID-диаграмму состояния влажного воздуха и формулу

$$d_k = d_{\text{п1}} - d_{\text{п2}}, \quad (2)$$

где $d_{\text{п1}}$ и $d_{\text{п2}}$ – количество водяного пара, содержащегося в воздухе в начале и конце процесса, кг.

Чтобы собрать сконденсированную воду на пути движения воздуха устанавливают так называемые «преграды», представляющие собой центры конденсации, на которых капли задерживаются и осаждаются. Эксперименты по получению воды таким способом уже проводились в разных странах, при этом количество получаемой воды изменялось в зависимости от времени года и характера климатических условий от 3 до 50 л/сут/км² [4].

При использовании естественных процессов конденсации влаги не наносится ущерб окружающей среде. Данный ресурс пресной воды постоянно возобновляется. Физико-химические характеристики конденсата, который может быть получен в большинстве регионов России высокие, так как конденсат содержит на порядок меньше вредных веществ и микроорганизмов по сравнению с требованиями санитарных служб.

По архивным документам по изучению древнего Крыма выяснено, что неоднократно вставал вопрос о водоснабжении населения. Археологической экспедицией на Эски-Керменской скале найдена водосборная галерея, вода в которую поступала за счет конденсации [5, 7]. В городе Феодосия соорудили специальные щебневые насыпи высотой до 5 метров для сбора дождевой воды и конденсации атмос-

ферной влаги. Форма этих насыпей напоминала конус и нагрев в них в разные моменты времени был неравномерным.

В 40-х годах во Франции была сконструирована аналогичная система, которая представляла собой башню высотой около 14 метров, позволяющую получать 0,24 л/м³ воды в сутки [5].

Под руководством В.В. Алексева в лаборатории возобновляемых источников энергии Географического факультета МГУ им. Ломоносова была построена опытная установка «Роса» [6]. Основание установки представляет собой бетонную площадку размером 9х9 м, огороженную бордюром. В нижней части площадки располагаются поддоны для сбора воды, на них установлены 156 цилиндрических модулей или габионов.

Размер габиона: диаметр – 0,46 м, высота – 2,8 м. Габионы заполнены известняковым щебнем, размером 10 15 см в диаметре, образующим сложную поверхность конденсации.

На данной установке был проведен большой объем исследований по изучению изменения производительности в зависимости от погодных условий, разности температур и скорости ветра.

В дальнейшем при конструировании аналогичных устройств тоже использовался принцип разности температур. Для ориентировочных расчетов производительности устройства для извлечения воды из атмосферного воздуха (Q , л/м³), может быть использовано следующее соотношение [7]

$$Q=0,07 \cdot \Delta T, \quad (3)$$

где ΔT – перепад дневной и ночной температур.

Климат Оренбургской области является резко континентальным. Осадки распределяются неравномерно, поэтому характерной чертой климата области является его засушливость [8]. Однако летом в ночное время относительная влажность воздуха достигает 100 %, т. е. выпадает роса. Роса выпадает в теплое время года, преимущественно в течение трех летних месяцев.

Был проведен сравнительный анализ погодных условий Оренбурга и некоторых населенных пунктов южнее в течение лета по данным дневников погоды [9], при этом учитывалась разница между ночными и дневными температурами за последние 3 года. По формуле (3) были рассчитаны предполагаемые производи-

Таблица 1. Средняя предполагаемая производительность естественных конденсаторов влаги для разных населенных пунктов и районов по данным сравнительного анализа

Период	Месяц	Q , л/м ³
Оренбург		
с 2012 по 2014	июнь	0,65
	июль	0,64
	август	0,68
Орск		
с 2012 по 2014	июнь	0,63
	июль	0,60
	август	0,68
Соль-Илецк		
с 2012 по 2014	июнь	0,75
	июль	0,68
	август	0,69
Первомайский район		
с 2012 по 2014	июнь	0,61
	июль	0,64
	август	0,65
Ясненский район		
с 2012 по 2014	июнь	0,62
	июль	0,61
	август	0,61

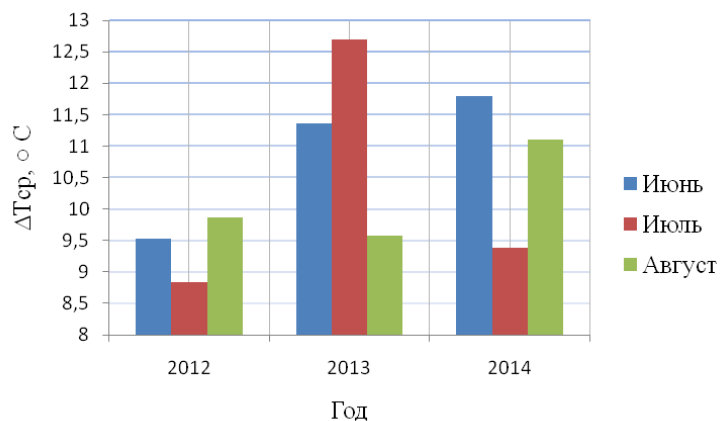
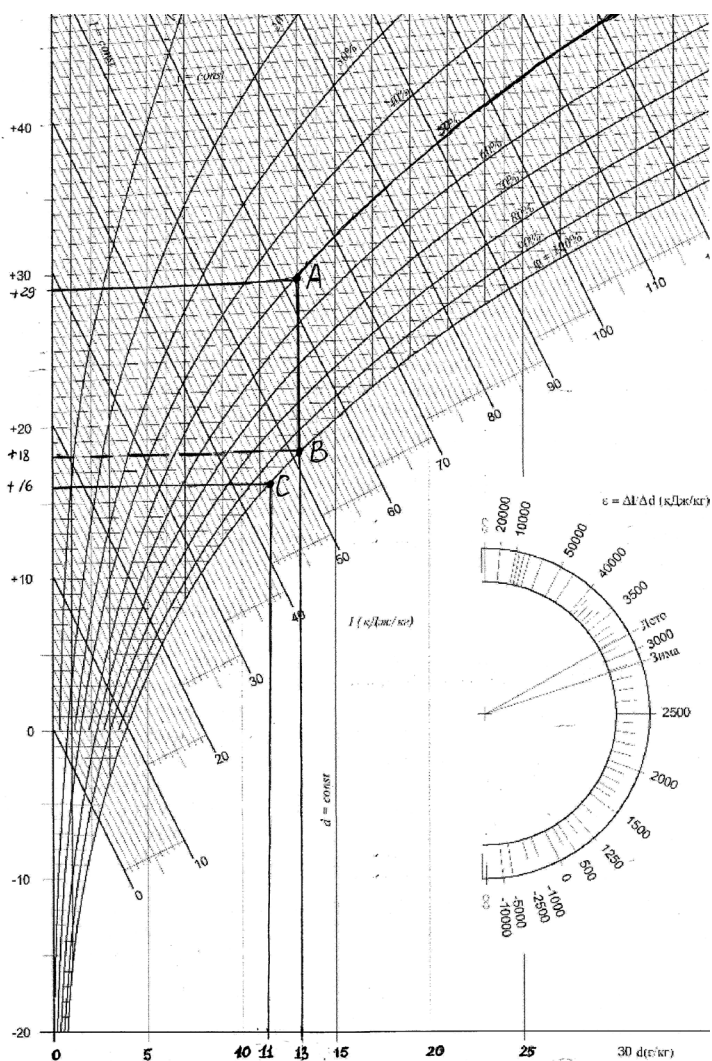


Рисунок 1. Динамика изменения среднего в течение каждого месяца перепада дневной и ночной температур летом за последние три года в Соль-Илецке



А – пересечение изотермы 29 °С и относительной влажности воздуха 50 %;
 В – состояние влагонасыщения при температуре 29 °С и относительной влажности воздуха 50 %;
 С – пересечение изотермы 16 °С и относительной влажности воздуха 100 %

Рисунок 2. Пример определения содержания водяных паров по ID-диаграмме состояния влажного воздуха

Таблица 2. Средние значения температур и возможной производительности установок для Соль-Илецка на 2013 год

Соль-Илецк, 2013 г.								
июнь			июль			август		
$T_{1cp}, ^\circ\text{C}$	$T_{2cp}, ^\circ\text{C}$	$Q_{cp}, \text{л/м}^3$	$T_{1cp}, ^\circ\text{C}$	$T_{2cp}, ^\circ\text{C}$	$Q_{cp}, \text{л/м}^3$	$T_{1cp}, ^\circ\text{C}$	$T_{2cp}, ^\circ\text{C}$	$Q_{cp}, \text{л/м}^3$
день	ночь		день	ночь		день	ночь	
28,56	17,20	0,72	29,06	16,37	0,77	25,75	16,81	0,62

тельности естественных конденсаторов влаги на каждый из дней лета для разных населенных пунктов (перепад температур между днем и ночью в сторону увеличения в расчет не принимался). Результаты анализа представлены в таблице 1 (время года – лето).

По результатам анализа можно сделать вывод, что наибольшая производительность установок для получения воды из воздуха методом конденсации будет в районе Соль-Илецка. Выявляя изменения температур для данного населенного пункта за несколько смежных периодов, можно дать оценку динамике изменения активности аналогичных установок. На рисунке 1 представлен результат изменения среднего в течение каждого месяца перепада дневной и ночной температур (ΔT_{cp}) летом за последние три года в Соль-Илецке.

Из рисунка 1 видно, что в рассматриваемом периоде в 2013 году наблюдаются максимальные показатели. Для более подробного анализа по 2013 году выведены средние значения температур и возможной производительности установок для каждого месяца лета, представленные в таблице 2.

Для дальнейших расчетов был выбран июль 2013 года, как наиболее благоприятный период, характеризующийся резким перепадом температур и высокой средней возможной производительностью установок естественной конденсации. Количество воды, которое можно получить из воздуха методом естественной конденсации на искусственно созданных поверхностях в июле, рассчитано по формуле (2) при следующих условиях: температура воздуха днем $T_{1cp}=29^\circ\text{C}$; температура ночного воздуха

$T_{2cp}=16^\circ\text{C}$; относительная влажность воздуха днем $\varphi_1=0,5$. При этом, используя ID-диаграмму состояния влажного воздуха, определили влагосодержание $d_{п1}$ в 1 кг воздуха, имеющего состояние T_{1cp} и φ_1 (рис. 2). При выбранных условиях в воздухе содержится 13 г/кг водяного пара, а температура точки росы $t_p=18^\circ\text{C}$. Как видно из таблицы 2, средние значения ночных температур меньше этого значения, что подтверждает положительную динамику процесса конденсации влаги. Для ночного воздуха, имеющего состояние T_{2cp} и относительную влажность $\varphi_2=1$, влагосодержание изменяется и $d_{п2}=11$ г/кг. Таким образом, возможное количество конденсата, полученное в установке естественной конденсации влаги на 1 кг воздуха при выбранных условиях, равняется 2 граммам, а на 1 м³ воздуха, с учетом его плотности при нормальных условиях, равняется 1,55 граммам.

Проведенные исследования показывают, что количество воды, которое можно было извлечь из атмосферного воздуха на территории Оренбургской области в наиболее благоприятном периоде (июле 2013 г. в районе Соль-Илецка), составляет в среднем 0,002 литра из 1 кг воздуха в сутки или 0,00155 литров из 1 м³ воздуха. Данное значение мало и свидетельствует о низкой эффективности использования метода естественной конденсации для получения пресной воды на территории Оренбургской области.

Соответственно, чтобы установка естественной конденсации воды давала более 1 литра в сутки необходимо осуществлять принудительную циркуляцию воздуха вдоль осаждающей поверхности не менее 645 м³/сутки.

20.11.2014

Список литературы:

1. Прохоров Б.Б. Экология человека. Понятийно-терминологический словарь. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2000. – 364 с.
2. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность). – М.: Юрайт, 2013. – 680 с.

3. Алексеев В.В., Рустамов Н.А. Конденсация – источник влаги // Энергия: экономика, техника, экология. — 2005. — № 1. — С. 54–56.
4. Вода из воздуха // «ЭКОС-информ : Устойчивое развитие». — 2004. — № 7. — С. 29-36.
5. Соловьев А.А. Инновации в возобновляемой энергетике // Вестник Российской Академии Естественных Наук. — 2009. — № 1. — С. 23–29.
6. Алексеев В.В., Рустамов Н.А., Иванов В.Н., Дубовская В.А. Экспериментальное изучение процесса наземной конденсации влаги // Доклады академии наук. — 2003, том 393. — № 1. — С. 97–100.
7. Аль Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед Геоэкологическое обоснование совершенствования водообеспечения в странах Аравийского полуострова : дис... канд. геогр. наук / Аль Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед. — СПб: РГГУ, 2009. — 157 с.
8. Чибилев А.А. Климатические особенности и агроклиматические условия Оренбургской области // Садоводство на Южном Урале. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 2004. — С. 20-30.
9. Календарь погоды [Электронный ресурс]. — (дата обращения: 11.11.2014). — Режим доступа: <https://pogoda.mail.ru/prognoz/sol-iletsk/1-august/#2012>.
10. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник – Мн.: Современная школа, 2005. — 608 с.

Сведения об авторах:

Солопова Валентина Александровна, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук 05.13.06, доцент

Ефремов Игорь Владимирович, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного университета, доктор биологических наук 03.02.08;03.01.02, доцент

Янбулатов Игорь Илдусович, магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного университета

460018, г. Оренбург, пр-т Победы 13, ауд. 3409, тел. (3532) 372541, bgd@mail.osu.ru