

УДК 62.21.474  
ГРНТИ 44.29.39  
DOI 10.56525/RINL8328

## ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ПАРОВОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, РАБОТАЮЩЕЙ НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Бижанов А.К., Есемуратова Ш.М.

Каракалпакский государственный университет, Нукус, Узбекистан

e-mail: b\_alibi@karsu.uz, e\_shiyarin@karsu.uz

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты прикладного научного проекта, направленного на разработку системы испарительного охлаждения, функционирующей на основе солнечной энергии с использованием соленой воды и без применения насоса. В ходе исследования были подробно изучены теоретические основы технологий испарительного охлаждения, а также проведен анализ современных систем испарительного охлаждения, применяемых в различных странах мира. В традиционных системах испарительного охлаждения обычно используются насосы для циркуляции воды и вентиляторы для создания воздушного потока, что приводит к увеличению энергопотребления и повышению эксплуатационных затрат.

В рамках данного проекта была предложена новая концепция беспомповой холодильной установки, основанной на естественном процессе испарения воды и использовании энергии солнечного излучения. Основной целью разработки является снижение общего энергопотребления системы и повышение ее экологической эффективности. Кроме того, в ходе исследования были проанализированы физические свойства соленой воды в процессе испарения, включая влияние концентрации соли, температуры и интенсивности испарения на эффективность охлаждения. Полученные результаты исследования могут служить важной научной и практической основой для дальнейшего развития энергосберегающих и экологически чистых технологий охлаждения.

**Ключевые слова:** Солнечная энергия, испарительное охлаждение, система испарительного охлаждения, соленая вода, бессорбционное охлаждение, энергосберегающие технологии, экологические системы охлаждения.

### Введение

В последние годы спрос на системы охлаждения растет из-за глобального изменения климата и повышения температуры. Особенно в регионах с жарким климатом широко используются системы кондиционирования воздуха с высоким энергопотреблением. Однако такие устройства требуют большого количества электроэнергии, что создает дополнительную нагрузку на энергосистемы. Поэтому разработка энергосберегающих и экологически чистых технологий охлаждения является одной из актуальных задач. Системы испарительного охлаждения относятся к таким перспективным технологиям. Эта технология основана на свойстве воды поглощать тепло в процессе испарения.

В процессе испарительного охлаждения в результате испарения воды из окружающей среды поглощается тепловая энергия, в результате чего температура воздуха или окружающей среды понижается. Этот процесс может происходить естественным образом и требует меньше дополнительных источников энергии. В данной исследовательской работе изучены возможности создания паровой холодильной установки, работающей на солнечной энергии, работающей на основе соленой воды и не использующей насосы.

### Материалы и методы исследования

В процессе изучения теоретических основ технологий испарительного охлаждения путем сравнения рассмотрен ряд возможностей данной системы. Процесс испарительного

охлаждения основан на поглощении тепловой энергии молекулами воды в процессе перехода из жидкого состояния в газообразное. В ходе этого процесса энергия, необходимая для испарения воды, получается из окружающей среды, в результате чего температура понижается [1].

Системы испарительного охлаждения подразделяются на следующие основные типы:

1. Системы прямого испарительного охлаждения.
2. Системы косвенного испарительного охлаждения.
3. Двухступенчатые системы испарительного охлаждения.

Охлаждение путем испарения - процесс естественного и энергосберегающего охлаждения воздуха путем испарения воды. Эта технология сочетает в себе увлажнение воздуха, очистку от пыли и охлаждение, снижая температуру окружающей среды, затрачивая 0,68 кВт энергии на испарение 1 литра воды. Обычно используется в промышленных кондиционерах и домашних воздухоохладителях (air cooler) [6].

В системах прямого испарительного охлаждения воздух пропускается через увлажненный материал, и в результате испарения воды температура воздуха понижается. Эти системы часто используются в качестве устройств «воздушного охлаждения» (рис. 1).

В системах косвенного испарительного охлаждения охлаждаемый воздух не имеет прямого контакта с водой. Теплообмен осуществляется посредством специальных теплообменников.

Двухступенчатые системы испарительного охлаждения обладают высокой эффективностью и используют несколько процессов испарения одновременно.



**Рисунок 1.** Системы испарительного охлаждения

На сегодняшний день во многих странах мира широко применяются технологии испарительного охлаждения. Такие системы особенно широко развиты в США, Австралии, Индии и странах Ближнего Востока.

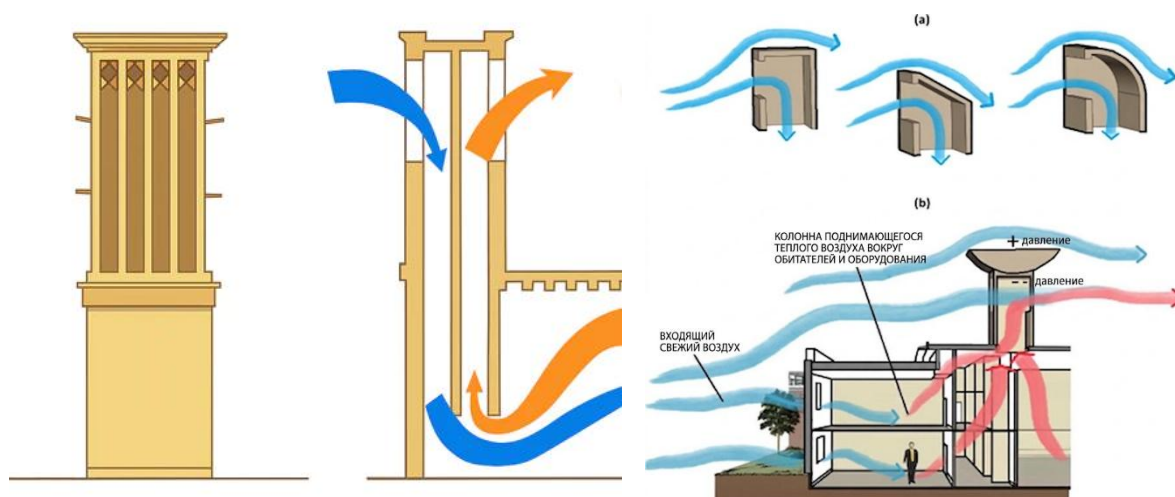
Например, в США широко распространены аппараты испарительного охлаждения, называемые «swamp cooler». Эти устройства циркулируют воду с помощью насоса и создают поток воздуха через вентилятор [2].

В Австралии разработаны энергоэффективные системы испарительного кондиционирования воздуха, которые потребляют на 60–70% меньше энергии по сравнению с традиционными кондиционерами.

В странах Ближнего Востока исторически применялись технологии испарительного охлаждения. Например, в Иране и арабских странах издавна использовались ветряные башни, называемые «бадгир» (рис. 2). Эти башни создавали эффект охлаждения с помощью естественного потока воздуха [3].

Также в Индии методы охлаждения пищевых продуктов с помощью глиняных сосудов также основаны на принципе испарительного охлаждения [4].

Анализ показывает, что основным недостатком современных систем испарительного охлаждения является их зависимость от электроэнергии. Использование насосов и вентиляторов увеличивает энергопотребление.



**Рисунок 2.** Естественная вентиляция ветроловителем Бадгир:  
а) геометрия, б) влияние микроклимата и макроклимата

В процессе использования традиционных холодильных установок мы часто сталкиваемся с возражениями пользователей по поводу высокого энергопотребления, такое большое энергопотребление требует более глубокого изучения систем охлаждения. Например, для холодильника (холодильной установки) с холодильной мощностью 1 кВт обычные технические характеристики можно представить в табличной форме следующим образом. Эти значения являются типичными (средними) показателями, используемыми для учебной и расчетной работы (Таблица 1) [5,6].

Таблица 1. Технические характеристики холодильника мощностью 1 кВт

| №  | Название указателя                       | Обозначение        | Ценность<br>(за 1 кВт) | Единица<br>измерения |
|----|------------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| 1  | Мощность охлаждения                      | $Q_0$              | 1                      | кВт                  |
| 2  | Расход электроэнергии                    | N                  | 0,35 – 0,45            | кВт                  |
| 3  | Коэффициент энергетической эффективности | COP ( $\epsilon$ ) | 2,5 – 3,0              | -                    |
| 4  | Температура испарения                    | $t_0$              | -18 ... -25            | °C                   |
| 5  | Температура конденсации                  | $t_k$              | +35 ... +45            | °C                   |
| 6  | Рабочее вещество (холодильник)           | -                  | R134a / R600a          | -                    |
| 7  | Тип компрессора                          | -                  | Герметичный поршень    | -                    |
| 8  | Напряжение электропитания                | U                  | 220                    | В                    |
| 9  | Частота тока                             | f                  | 50                     | Гц                   |
| 10 | Масса устройства (в среднем)             | m                  | 25 – 40                | кг                   |

Примечание:

- COP (Coefficient of Performance) - показывает эффективность холодильника.

Для получения 1 кВт холодильной мощности обычно расходуется 0,35-0,45 кВт электроэнергии.

В современных холодильниках часто используются хладагенты R600a или R134a.

### Вывод:

Использование соленой воды, предусмотренное в рамках проекта, имеет ряд преимуществ. В некоторой степени влияет на скорость испарения солёной воды и может стабилизировать процесс охлаждения. Кроме того, можно экономить чистую питьевую воду, используя морскую воду или источники соленой воды.

В безнасосной системе движение воды осуществляется с помощью капиллярного эффекта или гравитации. Это значительно снижает потребность в электроэнергии.

- В рамках данного проекта была разработана концепция холодильной установки, работающей без насоса, с целью снижения энергопотребления.

- Основной принцип работы этого устройства заключается в следующем:
- Солёная вода поднимается вверх через капиллярные материалы.
- Происходит процесс испарения с поверхности воды.
- В результате испарения из окружающей среды поглощается тепло и создается эффект охлаждения.

В ходе эксперимента были организованы практические расчеты на основе теоретических взглядов и определены следующие приблизительные особенности технологии испарительного охлаждения:

1. Низкие инвестиции и высокая эффективность.
2. Низкое энергопотребление, всего 1 кВт·ч на 100 квадратных метров в час.
3. Объем охлаждающего воздуха составляет 18000 кубических метров в час, обеспечивается высоким давлением ветра и бесперебойной подачей воздуха.
4. Полностью автоматическое интеллектуальное управление и функция автоматической очистки.
5. Низкий уровень шума и высокая эффективность.
6. Вентиляция, предотвращение пыли, дезодорация и охлаждение объединены.

Проведенный анализ показал, что системы испарительного охлаждения особенно эффективно работают в условиях жаркого и сухого климата. В таких условиях скорость испарения воды высокая.

Использование солнечной энергии обеспечивает экологическую чистоту системы. Принцип работы без насоса минимизирует энергопотребление.

Предлагаемое устройство имеет следующие преимущества:

- потребность в электроэнергии очень низкая;
- экологически чистая технология;
- простая конструкция;
- низкие затраты на обслуживание;
- возможность эффективного использования водных ресурсов.

По результатам данного исследования установлено, что технологии охлаждения на основе испарения являются одним из энергосберегающих и экологически эффективных решений. Большинство существующих в мире систем испарительного охлаждения зависят от электроэнергии, так как используют насосы и вентиляторы.

Предложенная безнасосная испарительная холодильная установка отличается от традиционных систем использованием солнечной энергии и работой на основе соленой воды. Такие устройства могут быть эффективно использованы, особенно в районах с ограниченным электроснабжением.

В будущем дальнейшее совершенствование этой технологии, проведение опытных испытаний и внедрение в промышленных масштабах имеет важное научно-практическое значение.

## ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А. Гухман. Испарительное охлаждение и его применение в теплообменных системах // журнал «Холодильная техника». - Москва, 2014. - №5. - с. 12-15.
2. С. Р. Arora. Refrigeration and Air Conditioning / New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2009. - p. 52-55.
3. В.П. Исаченко, В. А. Осипова. Теплообмен при испарении жидкостей // журнал «Журнал технической физики». - Санкт-Петербург. - с. 87–90.

4. Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. Thermodynamics: An Engineering Approach / New York: McGraw-Hill, 2015. - p. 604-606.

5. Dossat R. J. *Principles of Refrigeration*. - New York: Pearson, 2002. - p. 36. [srcyrl.cppmy.com](http://srcyrl.cppmy.com).

6. Гайибов Т.Ш., Реймов К.М., Умаров Б.С., Садуақасов Д.С. Электр тұтынушылардың жүктемесін басқару арқылы энергожүйелердің қысқа мерзімді жұмыс режимдерін оңтайлы жоспарлауда желілік факторды ескеру // *Yessenov Science Journal*. – 2024. – №5. – 52–59 б. – URL: <https://journal.yu.edu.kz/index.php/ysj/article/view/124>

## КҮН ЭНЕРГИЯСЫ НЕГІЗІНДЕ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ПАССИВТІ БУЛАНДЫРМАЛЫ САЛҚЫНДАТУ ЖҮЙЕСІНІҢ МҮМКІНДІКТЕРІ

**Бижанов А.К., Есемуратова Ш.М.**

Қарақалпақ мемлекеттік университеті, Қарақалпақстан, Өзбекстан

e-mail: b\_alibi@karsu.uz, e\_shiyin@karsu.uz

**Аннотация:** Бұл мақалада күн энергиясын пайдалану арқылы жұмыс істейтін, тұзды суды қолданатын және сорғысыз жұмыс істейтін буландырмалы салқындату жүйесін жасауға арналған қолданбалы ғылыми жобаның нәтижелері сипатталады. Зерттеу барысында буландырмалы салқындату технологияларының теориялық негіздері жан-жақты қарастырылып, әлемде қолданылып жүрген заманауи буландырмалы салқындату жүйелеріне талдау жүргізілді. Дәстүрлі буландырмалы салқындату жүйелерінде әдетте судың айналымын қамтамасыз ету үшін сорғылар, ал ауа ағынын қалыптастыру үшін желдеткіштер қолданылады. Мұндай құрылғылар жүйенің жалпы энергия тұтынуын арттырады және қосымша электр энергиясын қажет етеді.

Осы зерттеу аясында энергия шығынын азайту мақсатында табиғи булану процесіне және күн энергиясын тиімді пайдалануға негізделген сорғысыз салқындату құрылғысының жаңа тұжырымдамасы ұсынылды. Сонымен қатар булану процесі кезінде тұзды судың физикалық қасиеттері, оның ішінде температура, тұздылық деңгейі және булану жылдамдығы зерттеліп, олардың салқындату тиімділігіне әсері талданды. Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері энергия үнемдейтін әрі экологиялық тұрғыдан қауіпсіз салқындату технологияларын дамыту үшін маңызды ғылыми негіз болып табылады.

**Түйін сөздер:** Күн энергиясы, буландырмалы салқындату, буландырмалы салқындату жүйесі, тұзды су, сорғысыз салқындату, энергия үнемдейтін технологиялар, экологиялық салқындату жүйелері.

## POSSIBILITIES OF A PASSIVE STEAM (EVAPORATIVE) COOLING SYSTEM POWERED BY SOLAR ENERGY

**A. Bizhanov, S. Esemuratova**

Karakalpak State University, Karakalpakstan, Uzbekistan

e-mail: b\_alibi@karsu.uz, e\_shiyin@karsu.uz

**Abstract:** This article presents the results of an applied research project aimed at developing an evaporative cooling system powered by solar energy, using saline water and operating without a pump. During the research process, the theoretical foundations of evaporative cooling technologies were carefully studied, and an analysis of modern evaporative cooling systems used around the world was conducted. In conventional evaporative cooling systems, pumps are typically used to circulate

water while fans are employed to create airflow, which significantly increases overall energy consumption and operational costs.

Within the framework of this project, a new concept of a pump-free cooling system was developed. The proposed system is based on the natural evaporation process and the effective utilization of solar energy in order to reduce energy consumption and improve system sustainability. In addition, the study analyzed the physical properties of saline water during the evaporation process, including the influence of salt concentration, temperature conditions, and evaporation rate on the overall cooling efficiency. The results obtained in this study provide an important scientific and practical basis for the development of energy-efficient and environmentally friendly cooling technologies that can be applied in various climatic and technological conditions.

**Keywords:** solar energy, evaporative cooling, evaporative cooling system, saline water, pump-free cooling, energy-efficient technologies, environmentally friendly cooling systems.