



УДК 697.94:66.045

doi.10.70769/2181-284.ME.2(23).2026.11

АНАЛИЗ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Насруллаев Юсуф Закирович-(PhD), м.н.с.

<https://orcid.org/0000-0001-7051-5307> e-mail: nasrullayevyusuf2431@gmail.com

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье проанализированы основные типы испарительных систем охлаждения (прямые, косвенные и двухступенчатые), рассмотрены принципы их работы и эффективность.

Материалы и методы. В работе проведён анализ основных типов испарительных систем охлаждения: прямого, косвенного и двухступенчатого исполнения.

Результаты. Анализ показал, что эффективность испарительных систем зависит от их конструкции и климатических условий.

Заключение. В условиях жаркого и сухого климата системы прямого испарительного охлаждения являются наиболее эффективными. Системы косвенного испарительного охлаждения обеспечивают охлаждение воздуха без повышения его влажности. Двухступенчатые испарительные системы охлаждения сочетают преимущества обоих методов, что позволяет повысить энергетическую эффективность зданий.

Ключевые слова: испарительное охлаждение, прямое охлаждение, косвенное охлаждение, двухступенчатые системы, эффективность, промышленность, жилые здания, энергосбережение.

Дата поступления: 13.04.2026. После обработки: 10.05.2026 Принято печать: 24.06.2026

For citation: Nasrullayev Y. Analysis of Evaporative Cooling Systems and their Applications in Industrial and Residential Buildings. Alternative energy. 2026. 2(23). pp. 119-126. (In Rus)

UDC 697.94

ANALYSIS OF EVAPORATIVE COOLING SYSTEMS AND THEIR APPLICATIONS IN INDUSTRIAL AND RESIDENTIAL BUILDINGS

Nasrullayev Yusuf - junior researcher

<https://orcid.org/0000-0001-7051-5307> e-mail: nasrullayevyusuf2431@gmail.com

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. The article analyzes the main types of evaporative cooling systems (direct, indirect, and two-stage), as well as their operating principles and efficiency.

Materials and Methods. This study presents an analysis of the main types of evaporative cooling systems, including direct, indirect, and two-stage configurations.

Results. The analysis shows that the efficiency of evaporative cooling systems depends on their design and climatic conditions.

Conclusion. Under hot and dry climatic conditions, direct evaporative cooling systems are the most effective. Indirect evaporative cooling systems provide cooling without increasing indoor air humidity. Two-stage evaporative cooling systems combine the advantages of both methods, thereby improving the energy efficiency of buildings.

Keywords: Evaporative cooling, direct evaporative cooling, indirect evaporative cooling, two-stage systems, efficiency, industry, residential buildings, and energy conservation.



UO‘K 697.94

SANOAT VA TURAR-JOY BINOLARIDA QO‘LLANILADIGAN BUG‘LATIB SOVITISH TIZIMLARINI TAHLIL QILISH HAMDA ULARNING AMALIY QO‘LLANILISH SAMARADORLIGINI O‘RGANISH

Nasrullayev Yusuf Zokirovich -texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent
<https://orcid.org/0000-0001-7051-5307> e-mail: nasrullayevyusuf2431@gmail.com

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada bug‘latib sovitish tizimlarining asosiy turlari (to‘g‘ridan-to‘g‘ri, bilvosita va ikki bosqichli) tahlil qilingan, ularning ishlash prinsipi va samaradorligi o‘rganilgan.

Materiallar va usullar. Ushbu ishda bug‘latib sovitish tizimlarining asosiy turlari — to‘g‘ridan-to‘g‘ri, bilvosita va ikki bosqichli variantlari tahlil qilingan.

Natijalar. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, bug‘latib sovitish tizimlarining samaradorligi ularning konstruksiyasi va iqlim sharoitlariga bog‘liq.

Xulosa. Issiq va quruq iqlim sharoitida to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘latib sovitish tizimlari eng samarali hisoblanadi, bilvosita tizimlar esa havoning namligini oshirmasdan sovitishni ta‘minlaydi. Ikki bosqichli tizimlar esa har ikki usulning afzalliklarini birlashtirib, binolarning energiya samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: Bug‘latib sovitish tizimlari, to‘g‘ridan-to‘g‘ri sovitish, bilvosita sovitish va ikki bosqichli tizimlar, samaradorligi, sanoat va turar-joy binolarida qo‘llanilishi hamda energiya tejamkorligini oshirish yo‘nalishlari.

ВВЕДЕНИЕ

Испарительное охлаждение представляет собой процесс снижения температуры объекта или рабочего теплоносителя за счёт испарения жидкости, обычно воды, в окружающую среду. Эффект охлаждения наиболее заметен при низкой относительной влажности воздуха: чем выше скорость испарения, тем интенсивнее охлаждение [1]. В качестве рабочего вещества в системах испарительного охлаждения используется вода, которая может эффективно удовлетворять потребности в кондиционировании воздуха как в жилых, так и в коммерческих зданиях. Воздушные системы охлаждения позволяют регулировать температуру и влажность внутри помещений, обеспечивая комфортные условия для пользователей [2].

В ходе исследования были рассмотрены прямые, косвенные и комбинированные (интегрированные) системы испарительного охлаждения. Данные технологии отличаются простотой конструкции и надёжностью работы [3]. Они подходят для применения в промышленных и коммерческих объектах, включая производственные цеха, склады, офисы, школы, торговые центры, залы ожидания, а также в жилых зданиях различного масштаба.

Испарительная система охлаждения представляет собой современную технологию, основанную на использовании скрытой теплоты испарения воды, позволяющую обеспечивает снижение температуры воздуха [4]. Установлено, что коэффициент полезного действия испарительных систем охлаждения в среднем на 12–16 % выше по сравнению с традиционными механическими системами охлаждения циклического типа [5]. В процессе испарения воды увеличивается площадь взаимодействия между воздухом и водой, что приводит к интенсификации теплообменных процессов. В то время как механические компрессионные системы охлаждения одновременно снижают температуру и влажность воздуха, испарительные системы охлаждения в процессе охлаждения способствуют повышению его влажности [6].

В зависимости от принципа работы и конструктивных особенностей испарительные системы охлаждения подразделяются на три типа: системы прямого испарительного



охлаждения, системы косвенного испарительного охлаждения и многоступенчатые испарительные системы [7].

Системы прямого испарительного охлаждения характеризуются высокой эффективностью в условиях сухого и жаркого климата. В условиях повышенной влажности относительная влажность воздуха может достигать 80 %, при этом для систем прямого испарительного охлаждения эффективность по температуре мокрого термометра составляет 70–90 % и зависит от расхода воздуха, климатических условий и ряда других факторов [6–8].

По принципу работы системы прямого испарительного охлаждения подразделяются на активные и пассивные. Активные системы прямого испарительного охлаждения функционируют с использованием электрических устройств. Пассивные системы прямого испарительного охлаждения работают за счёт естественного движения воздушных потоков либо при минимальных затратах энергии.

В системах косвенного испарительного охлаждения температура воздуха снижается без изменения его влажности, что является их основным преимуществом по сравнению с системами прямого испарительного охлаждения. К основным компонентам систем косвенного испарительного охлаждения относятся вентилятор, насос, водяной резервуар, система распределения воды, а также теплообменное устройство косвенного действия [9].

Испарительная система охлаждения включает испарительные панели, теплообменное устройство косвенного типа, водяные резервуары, вентилятор и систему циркуляции воды [10]. Данная система характеризуется высоким коэффициентом полезного действия 70–95 %. Вместе с тем сложность конструкции и высокие капитальные затраты являются основными недостатками данной технологии.

В двухступенчатой испарительной системе охлаждения на первом этапе используется система косвенного испарительного охлаждения, после чего осуществляется стадия прямого испарительного охлаждения. На первой, косвенной ступени, происходит охлаждение наружного воздуха, затем воздух направляется на ступень прямого испарительного охлаждения, где он дополнительно охлаждается и увлажняется [11].

Использование данной системы позволяет приблизить температуру к температуре мокрого термометра. Несмотря на высокую эффективность, основным недостатком двухступенчатой испарительной системы охлаждения является увеличение расхода воды, которое может достигать 55 % [10].

Испарительный (работающий на основе испарения) воздушный охладитель является эффективным устройством, основанным на принципе работы систем испарительного охлаждения. Он использует скрытую теплоту испарения воды для эффективного охлаждения воздуха, что способствует снижению энергопотребления по сравнению с традиционными кондиционерами. Простая конструкция устройства, низкий расход воды, удобство технического обслуживания и ремонта делают его экономически выгодным и экологически безопасным решением [12].

Кроме того, высокая надёжность работы и длительный срок службы системы обеспечивают эффективное улучшение микроклимата в закрытых и полужакрытых помещениях.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Испарительный кондиционер (охладитель воздуха) — это устройство, в котором охлаждение воздуха осуществляется за счёт испарения воды. Принцип его работы основан на охлаждении наружного воздуха за счёт испарения воды: при прохождении воздушного потока через увлажнённую поверхность происходит испарение влаги, в результате чего температура воздуха понижается. Охлаждённый и увлажнённый воздух затем подаётся в помещение, обеспечивая улучшение микроклиматических условий. Принцип работы устройства заключается в том, что поступающий тёплый воздух проходит через увлажнённый испарительный элемент (cooling pad), в результате чего температура воздуха понижается. Охлаждённый воздух распределяется по помещению с помощью вентилятора, что улучшает внутренний микроклимат. Данная установка представляет собой



экспериментальную систему, позволяющую в автономном режиме исследовать показатели температуры и относительной влажности воздуха для определённой местности. Установка предназначена для изучения и анализа рабочих параметров различных типов испарительных кондиционеров-охладителей воздуха, функционирование которых основано на процессе испарения воды. С её помощью возможно проведение экспериментальных исследований, направленных на оценку эффективности работы таких систем, а также на определение оптимальных режимов их эксплуатации в различных климатических условиях. На рис. 1 представлены фотографии разработанной установки и её принципиальная схема. Основные элементы установки: 1 — патрубок подачи воды; 2 — указатель уровня воды; 3 — насос; 4 — панель ГКПМ, 5 - опорный элемент двигателя, 6 - электродвигатель, 7 - угловой патрубок, 8 - вентиляционный канал, 9 - клапан слива воды, 10 - блок управления.

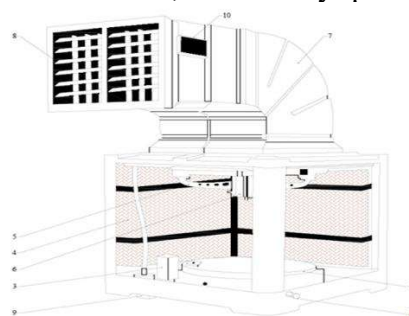


Рис. 1. Промышленный испарительный охладитель воздуха

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данное исследование направлено на экспериментальную оценку энергетической эффективности различных типов испарительных охладительных панелей в условиях жаркого и сухого климата Узбекистана в период экстремально высоких летних температур.

Количество тепла, которое извлекается из воздуха за счёт испарения воды в испарительном охладителе, может быть количественно определено с помощью следующей формулы. Эта зависимость позволяет оценить вклад процесса испарительного охлаждения в общую тепловую нагрузку системы и определить эффективность работы испарительных кондиционеров и охладителей воздуха.

$$Q_{evap} = \dot{m}_v \cdot L_v \quad (1)$$

Энергия, переносимая воздухом за счёт его массового расхода, может быть количественно определена с помощью следующей зависимости. Эта формула позволяет рассчитать количество тепла, которое воздух переносит при движении через систему, и использовать эти данные для оценки тепловой нагрузки и эффективности работы различных элементов испарительных охлаждающих установок [10].

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\text{вход}} - T_{\text{выход}}) \quad (2)$$

Выходная относительная влажность воздуха после прохождения через испарительную панель может быть количественно оценена с учётом эффективности испарительного охлаждения. Этот показатель позволяет определить, насколько близко воздух подходит к насыщению водой в результате испарения, и является важным параметром для анализа работы испарительных охладителей [13].

$$\phi_{\text{выход}} = \phi_{\text{вход}} + \epsilon \cdot (\phi_{\text{насыщ}} - \phi_{\text{выход}}) \quad (3)$$

Мощность вентилятора, обеспечивающего воздушный поток, рассчитывается с учётом сопротивления воздуха в системе, объёмного расхода воздуха и коэффициента эффективности вентилятора, и выражается следующей формулой. Точный расчёт необходим для оптимизации энергопотребления системы и повышения её общей эффективности, что особенно важно при проектировании и эксплуатации современных испарительных охладительных установок [14].

$$P_{fan} = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}}{\eta_{fan}} \quad (4)$$



Эффективность испарительного охлаждения характеризует величину снижения температуры воздуха, обусловленную процессом испарения воды, и определяется с помощью следующей формулы [15-16].

$$\epsilon = \frac{T_{\text{вход}} - T_{\text{выход}}}{T_{\text{вход}} - T_{\text{тока_росы}}} \quad (5)$$

Рабочие параметры установки, включая температуру воздуха, относительную влажность и энергетическую эффективность, были точно рассчитаны с использованием приведённых ниже уравнений. Взаимосвязь между воздушным потоком и мощностью вентилятора имеет важное значение для обеспечения эффективной работы системы. Кроме того, эффективность испарительного охлаждения применяется для определения относительной влажности выходящего воздуха, что позволяет оценить общую производительность работы системы.

Для анализа выходных параметров сделана выборка данных, исходя из параметров окружающей среды, показанных на рис.2. Таким образом, были выбраны температуры при начальном, конечном и максимальном значениях плотности солнечного излучения (G); кроме того, параметры системы испарительного охлаждения воздуха измерялись при максимальной, средней и минимальной скорости ветра (W).

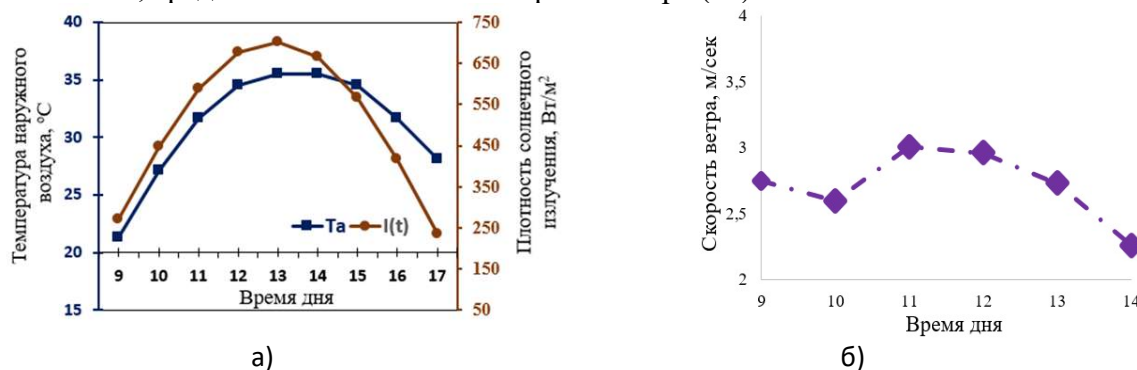


Рис. 2. Динамика плотности солнечного излучения (а) и скорости ветра (б) в течение дня

Как видно из рис. 2, в течение дня плотность солнечного излучения изменялась по определённой закономерности, тогда как скорость ветра носила неустойчивый характер. Изменение скорости ветра оказывает влияние на тепловое состояние испарительных систем охлаждения, что, в свою очередь, может приводить к изменению их выходных параметров. Анализ данных, представленных на рис. 3, показывает, что в течение дня эффективность насыщения материалы с капиллярно-пористой волокнистой и гофрированной структурой изменялась сходным образом: температура по обычному термометру на входе постепенно снижалась, при этом динамика изменений была практически одинаковой.

Результаты эксперимента показали, что температура воздуха на выходе из установки на протяжении всего периода наблюдений оставалась ниже температуры на входе, что подтверждает эффективность процесса испарительного охлаждения и способность системы обеспечивать стабильное снижение температуры воздуха. На начальном этапе эксперимента капиллярно-пористый волокнистый материал (КПВМ) демонстрировал несколько более высокую эффективность охлаждения по сравнению с альтернативным материалом, что, вероятно, связано с особенностями его структуры, способствующими более равномерному распределению влаги и увеличению площади испарительной поверхности. В дальнейшем показатели эффективности обоих материалов постепенно выравнивались, и к концу эксперимента их эксплуатационные характеристики стали практически сопоставимыми. Это свидетельствует о том, что при продолжительной работе оба материала способны обеспечивать близкие показатели эффективности в системе испарительного охлаждения.

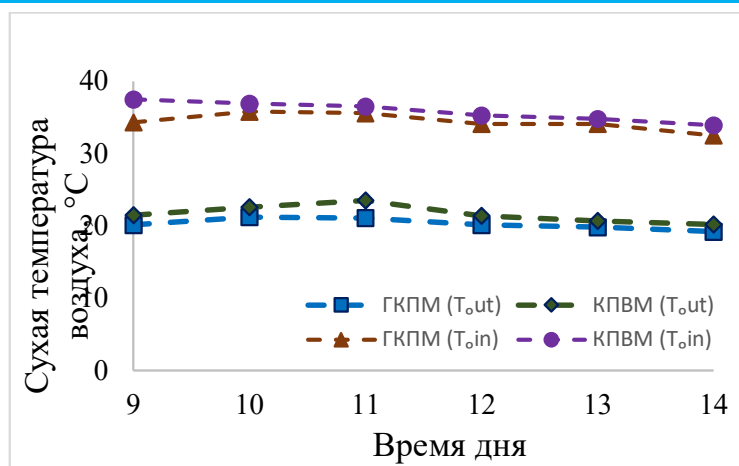


Рис. 3. При низкой фронтальной скорости воздуха установлена зависимость между сухой температурой воздуха и температурой воды в волокнистых (КПВМ) и гофрированных (ГКПМ) материалах.

В связи с этим, на рисунках 4 и 5 показаны изменения эффективности насыщения во времени. В ходе эксперимента (9–14 часов) в испарительной установке с КПВМ температура воздуха на входе снизилась с 26 °С до 22 °С, а на выходе повысилась с 17 °С до 19 °С, оставаясь при этом значительно ниже входной.

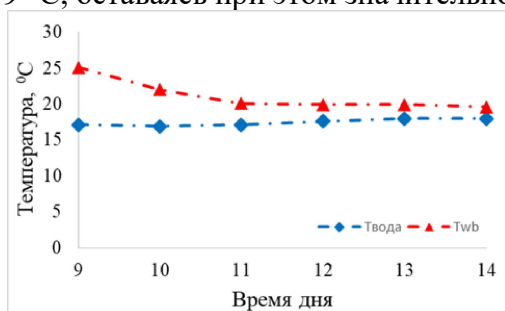


Рис. 4. Разность влажности и температуры воды в волокнистом капиллярном слое при высокой скорости

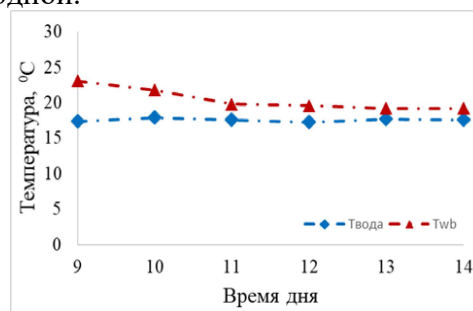


Рис. 5. Разность влажности и температуры воды в гофрированном капиллярном слое при высокой скорости

На рисунке 5 представлена динамика изменения температуры воды и воздуха в исследуемой системе в интервале времени с 9 до 14 часов. Как видно из графика, температура воды в гофрированном капиллярно-пористом материале (ГКПМ) постепенно снизилась с 25 °С до 19 °С, тогда как температура окружающего воздуха оставалась относительно стабильной и находилась в пределах 17–18 °С. Наблюдаемое снижение температуры воды объясняется интенсивным процессом испарения, происходящим на поверхности капиллярно-пористого материала. Полученные результаты подтверждают возможность эффективного применения исследуемых материалов в системах испарительного охлаждения и подтверждают, что ГКПМ обеспечивает стабильное и эффективное функционирование системы охлаждения за счёт улучшенных процессов тепло- и массопереноса.

Согласно результатам экспериментов, представленным на рисунке 6, установлено, что при высокой скорости воздушного потока эффективность насыщения системы с ГКПМ выше, чем с КПВМ. На начальном этапе показатели эффективности оставались относительно стабильными и находились в пределах 70–80 %, тогда как в последующих точках наблюдалось их увеличение до 85–92 %. Несмотря на незначительные колебания значений, в целом полученные результаты свидетельствуют об интенсификации процессов тепло- и массопереноса при повышенных скоростях.

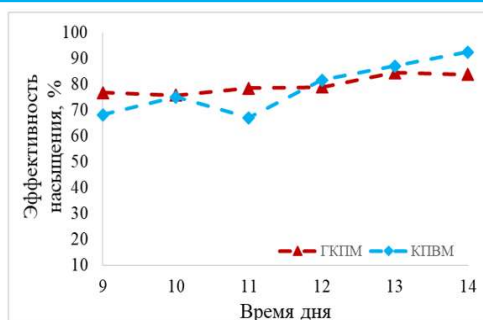


Рис. 6. Эффективность насыщения испарительных насадок из КПВМ и ГКПМ.

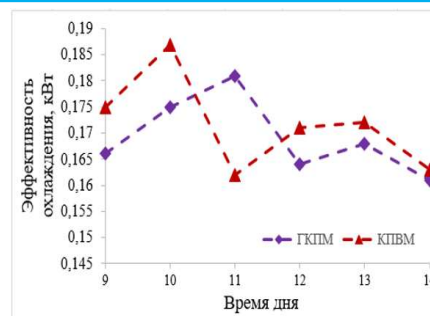


Рис. 7. Холодопроизводительность насадок из КПВМ и ГКПМ

На графике представлено изменение холодопроизводительности (кВт) КПВМ и ГКПМ в интервале времени 9–14 часов. Результаты показывают, что у обоих материалов холодопроизводительность в течение рассматриваемого периода изменялась в определённых пределах, однако значения сохранялись в диапазоне 0,16–0,18 кВт. На 2-м часу КПВМ достиг максимального значения, тогда как на 3-м часу максимальный показатель был зафиксирован у ГКПМ. На этапах 4–6 часов эксперимента холодопроизводительность обоих материалов практически сравнялась, и к конечной точке их значения приблизились к одному уровню.

Анализ полученных результатов показывает, что существенных различий по общей эффективности исследуемых капиллярных материалов не выявлено. Однако в отдельные временные интервалы КПВМ демонстрирует несколько более высокие значения холодопроизводительности. Это может быть связано с особенностями структуры материала и его способностью обеспечивать более интенсивный процесс испарения и теплообмена при определённых режимах работы системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлено экспериментальное исследование эффективности систем испарительного охлаждения воздуха с использованием различных типов капиллярно-пористых охлаждающих насадок в условиях жаркого и сухого климата Узбекистана. Основное внимание было уделено анализу тепловых и энергетических характеристик двух типов испарительных материалов: капиллярно-пористый волокнистого материала (КПВМ) и гофрированного капиллярно-пористый материала (ГКПМ).

Результаты проведённых экспериментов показали, что системы испарительного охлаждения способны обеспечивать эффективное снижение температуры воздуха при относительно низком потреблении энергии. В ходе экспериментов оба исследуемых материала обеспечивали стабильную работу системы охлаждения, при этом холодопроизводительность находилась в диапазоне 0,16–0,18 кВт в течение всего периода наблюдений. Полученные результаты подтверждают, что процесс испарительного охлаждения способствует интенсификации тепло- и массопереноса благодаря испарению воды с увлажнённых капиллярных поверхностей.

Сравнительный анализ исследуемых материалов показал, что КПВМ в отдельные временные интервалы демонстрировал несколько более высокие значения холодопроизводительности. Это может быть связано с особенностями материалы с капиллярно-пористой волокнистой структурой, которая способствует более интенсивному процессу испарения. В то же время при увеличении скорости воздушного потока более высокая эффективность насыщения наблюдалась у ГКПМ, значения которой достигали 85–92 %. Это свидетельствует о том, что материалы с гофрированной структурой обеспечивает более равномерное распределение воздушного потока и способствует более эффективному взаимодействию воздуха и воды.

В целом оба исследованные капиллярно-пористые материалы продемонстрировали сопоставимые показатели эффективности охлаждения и энергетической эффективности. Полученные результаты подтверждают возможность эффективного применения испарительных систем охлаждения с использованием как волокнистых, так и гофрированных



панелей для охлаждения воздуха в регионах с жарким и сухим климатом. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшей оптимизации технологий испарительного охлаждения и расширения их применения в качестве энергоэффективной и экологически безопасной альтернативы традиционным механическим системам кондиционирования воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Mehrabi M., Goudarzi K., Davoodabadi Farahani S. Experimental study of the influence of pad angle on the thermal performance of a direct evaporative cooling system // *Air-Conditioning and Refrigeration*. – 2023. – Vol. 4, No. 1. – P. 88–100.
- [2]. Jakubowski T., Boyacı S., Kocięcka J., Atılğan A. Determination of performance of different pad materials and energy consumption values of direct evaporative cooler // *Energies*. – 2024. – DOI: 10.3390/en17122811.
- [3]. Velasco-Gómez E., Tejero-González A., Rey-Martínez F. J. Experimental investigation of the potential of a new fabric-based evaporative cooling pad // *Sustainability*. – 2021. – DOI: 10.3390/su12177070.
- [4]. Aziz R., Zamrud N., Rosli N. Comparison on cooling efficiency of cooling pad materials for evaporative cooling system // *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*. – 2018. – Vol. 1. – P. 61–68. – DOI: 10.15282/jmmst.v1i1.199.
- [5]. Niyomvas B., Potakarat B. Performance study of cooling pads // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 664. – P. 931–935. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.664.931.
- [6]. Djibrilla M. A. S., Abdoukader H. A., Karimoun M., Illyassou, Aissetou Y., Adamou R. Performance of evaporative cooling pads made from different plant materials of Sub-Saharan Area (Niger) // *LC International Journal of STEM*. – 2021. – Vol. 2, No. 4. – DOI: 10.5281/zenodo.6412452.
- [7]. Qiu G. Q., Riffat S. B. Novel design and modelling of an evaporative cooling system for buildings // *Energy Research*. – 2006. – Vol. 16, No. 2. – P. 38–56. – DOI: 10.1002/er.1199.
- [8]. Al-Badri A. R., Farhan Z. M. A study on thermal effectiveness of multi-stage evaporative air cooling // *Wasit Journal of Engineering Sciences*. – 2021. – Vol. 8. – DOI: 10.31185/ejuow.Vol8.Iss2.163.
- [9]. Velasco-Gómez E., Tejero-González A., Rey-Martínez F. J. Experimental characterization of a direct evaporative cooling system for air conditioning applications // *Energy and Buildings*. – 2012. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.012.
- [10]. Zhang P., Guo B., Wang L. An experimental study on the heat and mass transfer characteristics of an evaporative cooler // *Energies*. – 2023. – DOI: 10.3390/en16217330.
- [11]. Gaeini M., Zondag H., Rindt C. Effect of kinetics on the thermal performance of a sorption heat storage reactor // *Applied Thermal Engineering*. – 2016. – Vol. 102. – P. 520–531. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.03.055.
- [12]. Xie X., He C., Xu T., Zhang B., Pan M., Chen Q. Deciphering the thermal and hydraulic performances of closed wet cooling towers with plain, oval, and longitudinal fin tubes // *Applied Thermal Engineering*. – 2017. – Vol. 120. – P. 203–218.
- [13]. Zhou Y., Zhang P., Zhao J., Yang H., Bai Y. Experimental study on performance of a closed wet cooling tower for air wet-bulb temperature near 0 °C // *Journal of Thermal Science*. – 2019. – Vol. 28, No. 5. – P. 1015–1023. – DOI: 10.1007/s11630-018-1159-8.
- [14]. Zhou Y., Zhu X., Ding X. Theoretical investigation on thermal performance of new structure closed wet cooling tower // *Heat Transfer Engineering*. – 2018. – Vol. 39. – P. 460–472.
- [15]. Deng W., Sun F., Chen K., Zhang X. Numerical study on performance of hybrid mechanical draft wet cooling tower // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2023. – Vol. 201. – Art. 123574.
- [16]. Komilov A. G., Reymov K. M., Nasrullayev Yu. Z. Bug‘lanishli sovitish tizimlari va an‘anaviy maromlagichlarning Nukus iqlim sharoiti uchun solishtirma tahlili // *Muqobil energetika*. – 2025. – Vol. 23, No. 12. – P. 80–87.