

УДК 628.517.2:629.4(063)

Д. О. Ворон, А. В. Сколов, Ю. Л. Чернышев

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ¹

Аннотация. В статье представлен обзор сфер применения систем вентиляции и кондиционирования в различных отраслях и актуальность использования энергоэффективных систем в системах охлаждения производственных помещений. Рассмотрен вариант использования системы с капельно-испарительным охлаждением для машиностроительного предприятия.

Ключевые слова: системы вентиляции и кондиционирования, микроклимат, теплопритоки, капельно-испарительное охлаждение, энергосбережение, экологичность, пластины, энергопотребление.

Для цитирования: Ворон, Д. О. Оценка возможности применения испарительного охлаждения производственных помещений машиностроительного предприятия / Д. О. Ворон, А. В. Сколов, Ю. Л. Чернышев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1. – С. 66– 71.

Введение

Системы вентиляции и кондиционирования предназначены для создания и поддержания параметров искусственного климата, главным образом, температуры, влажности, чистоты и подвижности воздушной среды. В зависимости от назначения их условно можно разделить на комфортные и технологические. Первые служат для создания оптимальных условий микроклимата, предназначенных для пребывания или отдыха людей. Вторые необходимы для создания требуемых условий микроклимата при выполнении различных технологических операций. Исторически сложилось, что развитию этой отрасли в условиях жесткой конкурентной борьбы способствовали специфика требований к микроклимату для технологических процессов интенсивно развивающегося полиграфического, текстильного производства, а также в пивоварении. Эти тенденции еще более проявляются в современных областях применения – медицина и фармакология, перерабатывающая и пищевая промышленность, производство электронных компонентов, гаджетов и серверные хранилища облачных данных.

Условия комфортного кондиционирования определяются нормативными требованиями [1,2] и имеют, в большинстве случаев, достаточно стабильные стандартные параметры (температура 22-26 °С, скорость движения воздуха 0,25 м/с и относительная влажность 40-60%), но для различных отраслей промышленности они различаются самым существенным образом.

Для очистки воздуха от загрязнений, антибактерицидной обработки и регулирования влагосодержания установки кондиционирования имеют фильтры специального назначения.

С учетом общемировых тенденций потепления климата и возрастающих затрат на энергоносители, системы кондиционирования воздуха настоятельно требуют создания новых энергоэффективных, ресурсосберегающих и экологически чистых технологий.

¹Статья рекомендована к публикации оргкомитетом по результатам 15-й юбилейной Международной научно-практической конференции «Перспективы развития локомотиво-, вагоностроения и технологии обслуживания подвижного состава».

Энергопотребление систем кондиционирования воздуха составляет значительную часть в эксплуатационных затратах на содержание зданий. Многолетний опыт проектирования и эксплуатации зданий и сооружений различного назначения показывает, что сокращение потребления энергии может достигаться за счет реализации следующих технических решений и мероприятий:

- локализация зон комфортного и технологического кондиционирования, которая позволяет уменьшить площади производственных участков, требующих термостабилизации,
- использование алгоритмов оптимального автоматического регулирования системами кондиционирования, которые снижают потребление электроэнергии;
- использования систем по утилизации «бросового» тепла, выделяемого при работе теплообменных аппаратов холодильной машины.

В исторических документах имеются описания процессов использования естественного охлаждения водным льдом для охлаждения помещения и для хранения и приготовления пищи. Кроме этого упоминается и другой способ создания комфортных условий с помощью испарительного охлаждения воды. Во времена расцвета древних цивилизаций в странах с жарким климатом (Египет, Индия, Персия, Китай, а затем и Греция, Рим) строили специальные льдохранилища, которые снаружи засыпали опилками или обшивали войлоком. Испарительное охлаждение также активно использовалось древними цивилизациями (первыми были Индия, Египет) в целях охлаждения как напрямую, так и в конструкциях зданий и сооружений [3].

В настоящее время охлаждение воздуха в жилых и производственных помещениях осуществляется в основном кондиционерами, использующими традиционную паровую компрессионную машину. Несмотря на распространение и универсальность этих устройств они имеют и недостатки. К ним следует отнести высокие энергозатраты, ограниченную экологическую безопасность используемых в настоящее время хладагентов, а также необходимость квалифицированного обслуживания и ремонт компрессорного и теплообменного оборудования.

В последнее время в качестве альтернативных источников охлаждения стали использоваться промышленные охладители воздуха испарительного типа. Их основными преимуществами являются экологическая чистота и значительно меньшее энергопотребление. Такие аппараты работают на обычной очищенной водопроводной воде и основаны на принципе косвенно-испарительного охлаждения воздуха, основанное на использовании теплоты испарения воды [3]. Такие устройства охлаждения воздуха характеризуются низкими энергозатратами (в 4...5 раз меньше, чем у фреоновых кондиционеров), экологической безопасностью, безопасностью охлажденного воздуха, простотой технического обслуживания и ремонта. Сравнительные характеристики испарительных систем охлаждения парокомпрессионными мультисплитными системами представлены в таблице [4,5].

В рамках модернизации пассажирских вагонов при проведении капитального ремонта был использован блок регенеративно-косвенного испарительного охлаждения БИО, работающих в составе системы кондиционирования пассажирского вагона [6, 7]. Он предназначен для предварительного охлаждения наружного воздуха в режиме охлаждения воздуха. Конструктивно блок БИО состоит из металлического каркаса 630 x 530 x 460мм. Внутри каркаса размещены два картриджа пластин плотно прилегающих между собой. Каждая пластина внутри имеет каналы для протекания воды. С боковой стороны каркаса размещены ванночки и форсунки с установленными в них датчиками уровня воды. При помощи насоса вода через ванночки и форсунки подается в каналы пластин.

Блок регенеративно-косвенного испарительного охлаждения БИО входит в состав гибридной установки вентиляционно-климатической УВК ЖТ – 26. Она имеет контур воздушного охлаждения с паровой компрессионной машиной, дополненный блоком БИО. Установка выполнена в виде моноблочной конструкции с односторонним подводом

наружного воздуха и двухсторонним подводом рециркуляционного воздуха. Установка имеет один канал выхода приточного воздуха.

Таблица

**Сравнительные характеристики испарительных систем охлаждения
парокомпрессионными мультисплитными системами**

Модель	Максимальная холодопроизводительность, кВт	Объём охлаждаемого воздуха, м ³ /ч	Максимальное энергопотребление, кВт	Расход воды, л/ч	Энергопотребление УКВ при той же холодопроизводительности, кВт
ВЮ-К 12	50	6000	3,3	До 60	16-17
ВЮ-К 24	100	12000	6,5	До 125	32-33
ВЮ-К 36	165	20000	11	До 190	53-54
ВЮ-К 48	210	25000	15	До 250	67-68
ВЮ-К 72	300	38000	22	До 350	96-97

УВК ЖТ – 26 может работать в 3-х режимах: в режиме охлаждения воздуха, в режиме подогрева воздуха (теплонасосный режим) и режиме вентиляции. Холодильный цикл реализован в виде классического замкнутого герметичного контура паровой компрессионной машины, работающей на хладагенте R-22.

Наружный воздух подается с помощью вентилятора (предварительно пройдя фильтрацию в воздушном фильтре) в блок косвенного испарительного охлаждения БИО, где разделяется на два потока – прямой и обратный. Посредством работы водяного насоса небольшой мощности непосредственно через форсунки и ванночки, установленные на блоке косвенного испарительного охлаждения БИО, вода под давлением подается в пластины блока. Пластины пропитываются водой. Обратный поток за счет сильного увлажнения при прохождении через пластины блока БИО снижает свою температуру и охлаждает прямой поток наружного воздуха. Обратный поток после охлаждения прямого потока наружного воздуха в БИО подается на вентиляторы конденсаторов. Прямой поток после охлаждения в БИО подается в смесительную камеру, где смешивается с потоком рециркуляционного воздуха (подаваемым от вентиляторов). После смешения поток наружного и рециркуляционного воздуха подается в испаритель, где он проходит окончательное охлаждение. Несмотря на меньшее энергопотребление эта система в эксплуатации оказалась неработоспособной из-за быстрого выхода из строя пластин блока - скорее всего по причине недостаточного ресурса материала пластин [7].

Современные высокотехнологичные машиностроительные предприятия, которые используют значительное число тепловыделяющего технологического оборудования, которое должно работать в заданном диапазоне температур. Правильный выбор и регулирование заданных параметров воздуха оказывает огромное влияние на функционирование технологического оборудования.

Обеспечение нужных температурных параметров требует наличия сложной системы термостатирования, функционирующей круглогодично. Эта система должны быстро воспринимать изменения температуры окружающей среды, солнечного излучения и реагировать на колебания внутренних тепловыделений от работающего технологического оборудования. При этом важнейшим параметром ее функционирования является обеспечение максимальной энергоэффективности [8].

Рассматриваемый объект представляет производственный корпус, внутри которого расположено сложное технологическое оборудование, выделяющее при работе 66 кВт теплоты. Ограждающие конструкции объекта состоят из кирпичных стен толщиной 500 мм, с остеклением и бетонное перекрытие. Объект находится на открытом воздухе в городе

Новочеркасск. Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца составляет 43%. Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца – 59%. Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца составляет 29,6 °С. Абсолютная максимальная температура воздуха 42 °С [2].

Допустимые параметры внутри помещения для нормального функционирования оборудования: температура воздуха +20...25 °С, относительная влажность не более 70 %, полное отсутствие капельной влаги. Работа системы термостатирования сводится к охлаждению или нагреву воздуха в зависимости от параметров окружающей среды и режима работы оборудования. Нагрев воздуха осуществляется в жидкостных нагревателях, охлаждение организовано в испарительных охладителях. Принципиальная схема и общий вид рассматриваемого объекта приведены на рисунке.

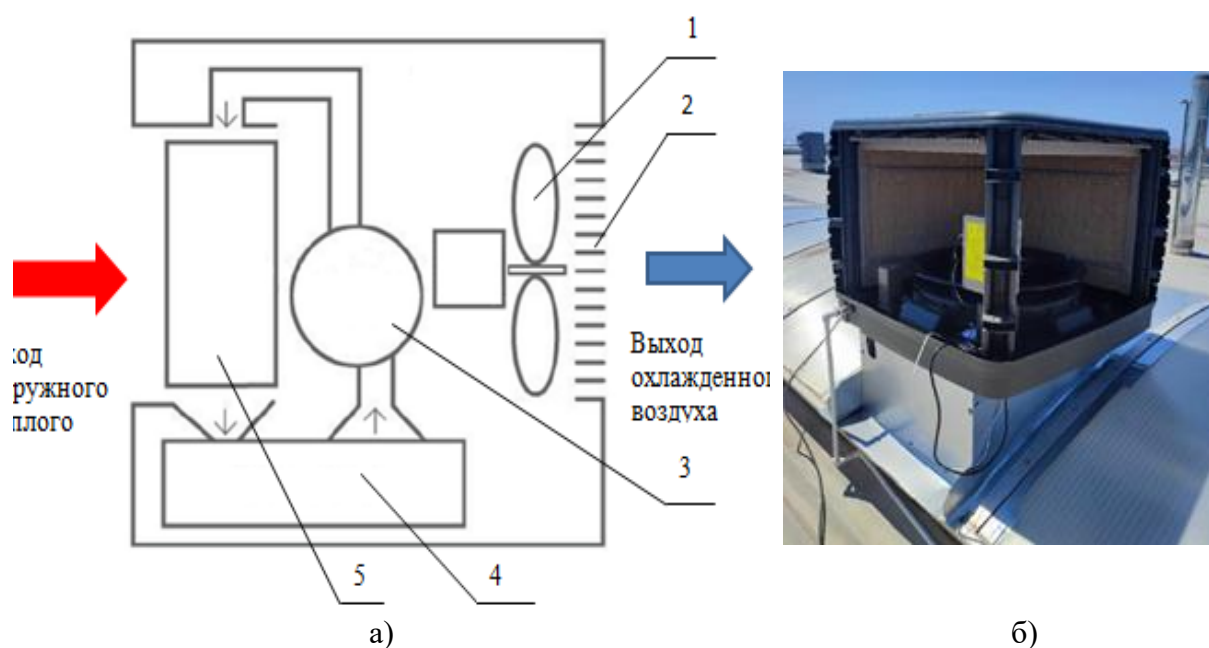


Рис. 1. Блок капельно-испарительного охлаждения:

а) схема работы капельно-испарительного охлаждения:

1 – вентилятор с регулируемой скоростью вращения, 2 – жалюзи, 3 – водяной бак с водосборником, 4 – водосборный бак, 5 – пластинчатый теплообменник;

б) общий вид блока.

Традиционные методики расчета потребного количества тепла и холода для системы термостатирования рассматриваемого объекта базируются на учете максимально возможной величины теплопритоков, воздействующих на объект. Величина теплопритоков находится суммированием тепловых нагрузок от климатических и технологических факторов. Основными тепловыми нагрузками являются:

- поступления и потери теплоты конвекцией через наружные ограждения составляет 41 кВт;

- поступления теплоты от оборудования принимаем 66 кВт;

- расчетные общие теплопоступления от обслуживающего персонала 4 кВт;

- теплопоступления от солнечной радиации принимаем 15 кВт.

Для расчета поступлений и потерь теплоты через наружные ограждения необходимо в первую очередь задать расчетную температуру окружающей среды. Основным документом, устанавливающим нормы и правила проектирования систем отопления вентиляции и кондиционирования в помещениях зданий и сооружений, является СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [9]. С учетом общей

величины всех теплопритоков и 10 % коэффициента запаса общая потребная холодопроизводительность составит 139 кВт. Один адиабатический испаритель при температуре воды сможет отобрать для испарения 65 л воды 4,33 кВт.

Установка блоков охладителей воздуха, как альтернативного источника охлаждения выполняется на кровле (аэрационный фонарь), с прямой подачей охлажденного воздуха в рабочую зону через имеющиеся фонари. Вес охладителя без воды – 70 кг, с заправленной водой в режиме работы охлаждения около 100 кг. Монтаж выполнен на специальных металлоконструкциях. Подача охлажденного воздуха осуществляется через фонарь, с вводом или опуском небольшого воздуховода с рассекателем воздуха на выходе.

Установленное оборудование способно не только охладить, но и очистить воздух в рабочих зонах для людей и технологических процессов. Установка охладителей на высоте 4,5 метров от уровня пола обеспечит избыточное давление, за счет чего все газы, пыль и теплопритоки будут вытесняться в открытые ворота, окна или принудительную вытяжную вентиляцию. Вытесняя избыточным давлением, тяжелым и охлажденным воздухом всю пыль, грязь и теплопритоки в открытые ворота, окна, и вытяжную вентиляцию в летнее время и в межсезонье. Охладитель воздуха испарительного типа с осевым вентилятором установленный на кровле снаружи имеет уровень шума не более 75 дБ.

Выводы

Для решения задач охлаждения воздуха предлагается использовать энергоэффективное оборудование, работающее на принципе испарительного охлаждения. Его основными преимуществами являются.

1. Создание комфортных условий для работников и технологического оборудования.

2. Меньшие, по сравнению с традиционными УКВ капитальные вложения, низкие эксплуатационные расходы, простота и дешевизна сервисного обслуживания, с возможностью его выполнения персоналом самого предприятия.

3. Малая потребляемая мощность энергопотребления позволяет сократить капитальные затраты на электрооборудование объекта, а также значительно снизить расходы на обслуживание и эксплуатацию объекта:

- энергопотребление в 10 раз,
- стоимость энергооснащения в 10 раз,
- затраты на эксплуатацию и обслуживание в 4 раза.

Библиографический список

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений / 1996 г. N 21.: <http://base.garant.ru/4173106/#ixzz4Saqzql00>.

2. Свод правил СП 131.13330.2020 "СНиП 23-01-99* Строительная климатология" (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 декабря 2020 г. N 859/пр).

3. Цимерман, А. Б. Косвенно-испарительный воздухоохладитель нового типа / А. Б. Цимерман, В. С. Майсоценко, И. М. Печерская // Холодильная техника. –1976. –№3. – С. 12-17.

4. <https://syscool.ru/upload/iblock/37d/n70i0t3p288vvb192k2negusd8zlzrxr/Bytovye-i-polupromyshlennyye-konditsionery.-Multizonalnye-sistemy.2023-rev1.pdf>.

5. sale@tesso.world.

6. Емельянов, А. Л. Испарительно-рекуперативные системы кондиционирования / А. Л. Емельянов, Е. С. Платунов, А. В. Козин // Вестник Международной академии холода. – 2010. – № 1. – С. 5-8. – EDN LAGWUF.

7. Емельянов, А. Л. Гибридная испарительно-компрессионная установка кондиционирования воздуха / А. Л. Емельянов, К. М. Горбатов, С. А. Гаранов // Вестник Международной академии холода. – 2013. – № 4. – С. 34–37. – EDN RNHUZH.

8. Марченко, А. С. Анализ энергетической эффективности систем охлаждения с учетом динамики тепловых нагрузок: специальность 05.04.03 "Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марченко Андрей Сергеевич. – 2019. – 134 с. – EDN WVSLU.

9. СП 60.13330.2016 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

O. D. Voron, A. V. Skolov, Yu. L. Chernyshev

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF APPLYING EVAPORATIVE COOLING IN PRODUCTION PREMISES OF A MACHINERY ENTERPRISE

Abstract. The article provides an overview of the areas of application of ventilation and air conditioning systems in various industries and the relevance of using energy-efficient systems in cooling systems of industrial premises. The option of using a system with drip-evaporative cooling for a machine-building enterprise is considered.

Keywords: ventilation and air conditioning systems, microclimate, heat flow, drip-evaporative cooling, energy saving, environmental friendliness, plates, energy consumption.

For citation: Voron, D. O. Assessment of the possibility of applying evaporative cooling in production premises of a machinery enterprise / O. D. Voron, A. V. Skolov, Yu. L. Chernyshev // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2024. – № 1. – P. 66–71.

Сведения об авторах

Ворон Дмитрий Олегович

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Экономика, учет и анализ»,
аспирант,
e-mail: voron_dima@mail.ru

Сколов Андрей Викторович

ООО «Лекма Холод»,
исполнительный директор,
e-mail: skolov@lekmaholod.ru

Чернышев Юрий Леонидович

ООО «Лекма Холод»,
руководитель коммерческого отдела,
e-mail: yrchern@mail.ru

Information about the authors

Voron Dmitry Olegovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Economics, Accounting and Analysis»,
Graduate Student,
e-mail: voron_dima@mail.ru

Skolov Andrey Viktorovich

LLC «Lekma Holod»,
Executive Director,
e-mail: skolov@lekmaholod.ru

Chernyshev Yuriy Leonidovich

LLC «Lekma Holod»,
Head of Commercial Department,
e-mail: yrchern@mail.ru