ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

O‘zbekistonda Suv Va Energiya Tanqisligi Sharoitida Qayta Tiklanuvchi Manbalar Asosidagi Havo Sovitish Qurilmasining Ilmiy Va Texnologik Asoslari

ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТЕНЦИАЛА НОЧНОГО РАДИАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Умарова Феруза Бахтияр кизи магистр
Каршинского государственного технического университета.
Карши. Узбекистан.
e-mail: **Pretty.92@inbox.ru**
doi:**https://doi.org/10.5281/zenodo.23376936**

Аннотация. Ночное радиационное охлаждение основывается на яв-лении эффективного излучения Земли, при котором происходит отвод тепла в атмосферу и его частичный унос в космическое пространство, что приводит к понижению температуры объектов, находящихся на поверхности Земли ниже температуры воздуха в приземном слое. Исследование основано на методах термодинамического анализа, натурного и вычислитель-ного моделирования. На основе разработанной авторами и существующей методики проведен расчетно-теоретический анализ радиационного охлаждения для Европейско-Азиатского континента. Определена закономерность изменения потенциала радиационного охлаждения в зависимости от географической широты, начиная от экватора до северной точки континента. Разработаны схемные решения и конструкции холодильных систем различного функционального назначения для различных регионов при круглогодичном использовании радиационного охлаждения. Приведены теоретические и экспериментальные исследования установок с радиационным охлаждением. На основе разработанной компьютерной модели проведен анализ энергоэффективности холодильных систем для хранения пищевых продуктов и кондиционирования воздуха, в которых охлаждение объекта осуществляется за счет радиационного охлаждения и парокомпрессионной холодильной машины с применением моделирования годового цикла работы в континентальных климатических условиях**.**
Ключевые слова: эффективное излучение, радиационное охлаждение, холодильные системы, альтернативные возобновляемые источники энергии

Введение. Холодоснабжение промышленных объектов и систем кондиционирования воздуха в настоящее время стремительно развивается, что ведет к значительному повышению энергопотребления. Важным современным направлением развития холодиль-ной техники является сокращение применения озоноопасных и парниковых газов и их замена на экологически безопасные рабочие тела.

В связи с этим поиск путей повышения энергоэффективности, разработка холодильных систем, направленных на сокращение применения экологически опасных холодильных агентов, являются актуальными и относятся к основным трендам развития холодильной техники.

Приоритетным направлением повышения энергоэффективности холодильных систем является применение альтернативных источников энергии. Альтернативные возобновляемые источники энергии в мировом рейтинге развития современной техники и технологии стоят на одном и ведущих мест, но они имеют свои ограничения по применению.

Например, солнечное излучение является одним из знаковых и известных видов возобновляемого источника энергии, однако его можно использовать только в дневное

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

время. Подобным, но малоизученным возобновляемым источником энергии является холодное космическое пространство, которое можно использовать в ночное время.

Постановка задачи. Разработка методики расчета и способов повышения энергоэффективности холодильных систем с применением радиационного охлаждения в зависимости от региона.

Методы исследования. Коэффициент эффективного излучения Земной поверх-ности. Известно, что тепловое излучение, поднимающееся с Земли, уходит в атмосферу и называется Эффективным излучением Земли. В результате этого излучения происходит охлаждение поверхности Земли ниже атмосферного приземного слоя воздуха. Это физическое явление нашло применение в технике как радиационное охлаждение.

Из теории теплообмена излучением известно, что полный поток EO, направленный на тело, равен энергии поглощения EA, пропускания через тело ED и отражения ER [1]:

$$E_O = E_A + E_D + E_R \quad (1)$$

Полный поток излучения EO равен энергии теплового излучения Земли:

$$E_O = E_З \quad (2)$$

По определению: эффективное излучение Земли – это разница между восходящим и нисходящим потоком [2]. Принимая во внимание коэффициенты поглощения A и пропускания D и отражения R можно принять, что эффективное излучение равно сумме потоков поглощения атмосферой и пропускания – уход в космическое пространство:

$$E_{Эф} = E_A + E_D \quad (3)$$

Введем новое понятие – коэффициент эффективного излучения Земной поверхно-сти Z, для которого справедливо соотношение:

$$Z = A + D, \quad (4)$$

т.е коэффициент эффективного излучения Земной поверхности Z равен сумме коэффициентов поглощения A и пропускания D.

Методика расчета потока эффективного излучения. На данный момент существует множество методик для расчета потока эффективного излученияРазработанная авторами методика расчета величины потока эффективного излучения в зависимости от климатических условий Евразии, основывается на анализе известных методик, обобщает все наиболее достоверные элементы остальных методик [2-7] и является наиболее универсальной.

$$эф = \delta_{ип}[\sigma \cdot (273{,}15 + t_в)^4 \cdot k_{вп} \cdot k_{об} + k_{ст}] \quad (5)$$

$\delta_{ип}$ – относительная излучательная способность поверхности радиатора; σ – постоянная Стефана-Больцмана, $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^2·К^4); $T_{ип}$, $T_в$, $T_{ро}$ – соответственно температуры излучающей поверхности радиатора, воздуха и точки росы воздуха, К; $k_{ст}$ – поправка на разницу между температурой излучающей поверхности и температурой воздуха, Вт/м^2,

$$ст = [^4 - ^4] \quad (6)$$

$k_{вп}$ – коэффициент, учитывающий влияние содержания водяного пара в воздухе приземного слоя атмосферы,

$$k_{вп} = (0{,}264 - 0{,}0052\,(T_{ро} - 273{,}15))/°C; \quad (7)$$

$k_{об}$ – коэффициент, учитывающий влияние общей облачности;

$$об = 1 - с^2, \quad (8)$$

$_1$ - общая степень облачности в долях единицы, $0 \leq \leq 1$.

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

Для представленной методики составлена программа для расчетов (методика 1). Расчетами определена плотность теплового потока эффективного излучения для разных городов Европейской части России, Сибири, Дальнего востока, Казахстана [8-9].

Анализ расчетных показателей показал, что при удалении от экватора к северным широтам происходит повышение теплового потока эффективного излучения.

Для определения теплового потока эффективного излучения применялась также методика расчета по условной температуре ночного неба, обычно используемая зарубежными учеными (методика 2) [10]. Расчеты количества холода по обеим методикам дают сопоставимые результаты [8-9]. Количество теплоты, передаваемое за счет конвекции с поверхности площадью 1 м^2, определяется по формуле с эмпирическим коэффициентом для систем с радиационным охлаждением [11-13]:

$$q_{конв} = \alpha \cdot (T_{ип} - T_в) \quad (9)$$

$$\alpha = 1.78(T_{ип} - T_в)3 \quad (10)$$

$$q_{рад} = q_{эф} \pm q_{конв} \quad (11)$$

$$q_{эф} = \delta_{ип}\sigma(T_4 - T_4) \quad (12)$$

$$T_н = T_в \cdot (\delta_н + CF_{al})_{0,25} \cdot CF_{0,25}(13)T_{ро} \quad (13)$$

$$_н = 0,787 + 0,764 \quad (14)273 \quad = 0,12(\overline{\ _{ат}} - 1); \quad (14)$$

$$CF_{cl} = 1 + 0,0224R_2 - 0,0035R_2 + 0,00028R_3 \quad (15)$$

Где: $_{эф}$ – тепловой поток эффективным излучением; $\delta_{ип}$ – относительная излучательная способность поверхности радиатора; σ – постоянная Стефана-Больцмана, σ = 5,67·10-8 Вт/(м2·К4); $T_{ип}$, $T_н$ $T_в$, $T_{ро}$ – соответственно температуры излучающей поверхности радиатора, ночного неба, воздуха и точки росы воздуха, К; $\delta_н$ – относительная излучательная способность безоблачного ночного неба; CF_{al} – коэффициент, учитывающий высоту расположения излучающей поверхности над уровнем моря; $р_{ат}$ – атмосферное давление, бар; CF_{cl} – коэффициент, учитывающий влияние облачности; R_2 – степень облачности ночного неба, балловДля безоблачного неба R=0, а для полностью закрытого облаками неба R=10; $q_{конв}$ – конвективный теплоприток; α – коэффициент теплоотдачи

В других работах оценено влияние климатических условий умеренного и континентального климата в различных городах России и Казахстана на процесс радиационного охлаждения [14-16]. Расчет потока эффективного излучения для различных регионов Евразии проведен авторами в работах [8-9].

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

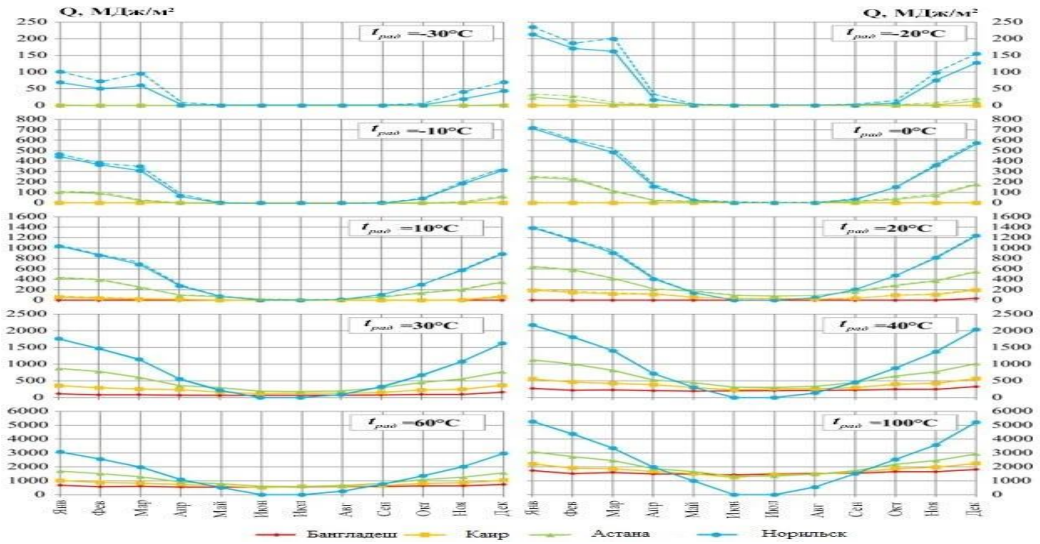


Рис. 1. Суммарное количество холода месяц 1 мизлучающей поверхности:

пунктирными линиями обозначен – результат расчета по методике 1.Сплошными линиями по методике

Суммарное количество теплоты, отводимое радиационным охлаждением, в зависимости от географической широты от экватора (Бангкок, 13° северной широты) и до крайней северной точки материка (Норильск, 69° северной широты) с использованием двух методик расчета потока эффективного излучения показано на рис.1.

С увеличением географической широты с юга на север происходит последовательное

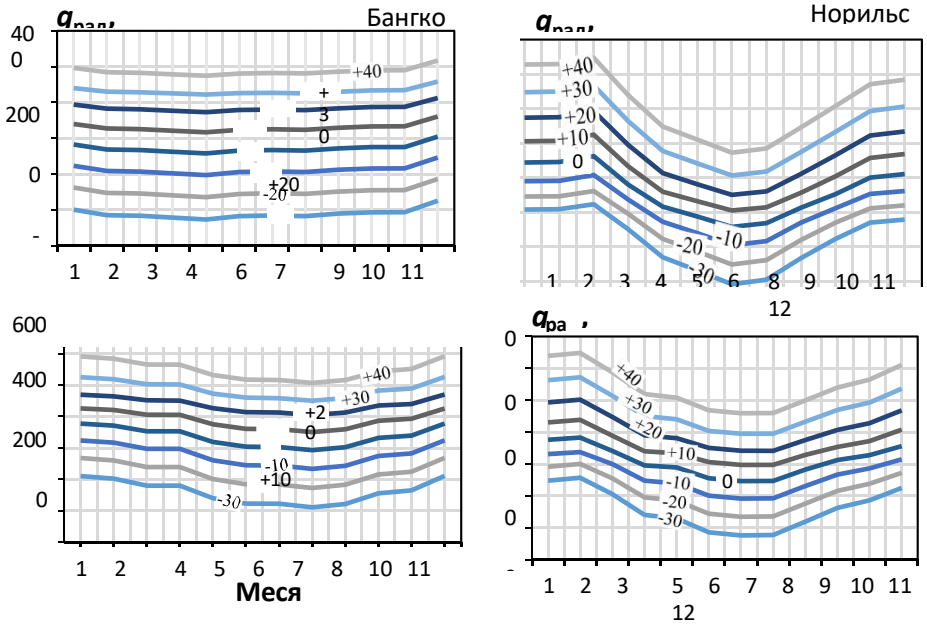


Рис. 2. Среднемесячная плотность теплового потока радиационного

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

Как видно по рис. 2, в г. Бангкок тепловой поток возможен с поверхности с температурой только выше 25°C, по мере увеличения широты температура поверхности, с которой происходит охлаждение, понижается: в Каире с +10°C в г. Астана с −10°C и в г. Норильск с -20°C . В зимний период величина плотности теплового потока при температуре поверхности 0°C увеличивается с 50 Вт/м^2 в Бангкоке до 250 Вт/м2 в Норильске.

Обсуждение результатов. На основе разработанных методик расчетов эффектив-ного излучения и радиационного охлаждения, сделаны выводы о том, что по мере удале-ния с юга на север происходит последовательное возрастание радиационного охлаждения. Холодильные системы с радиационным охлаждением. Во многих странах, имеющих различные климатические условия, проводились исследования для определения возможностей использования радиационного охлаждения. Большинство исследований по изучению возможностей применения эффективного излучения выполнено применительно к регионам северного полушария: Северной Америки, Северной Африки, Юго-Восточной Азии [18-24]. В представленных работах основное внимание уделялось изучению возможностей применения эффективного излучения в системах кондиционирования воздуха в жилых и офисных зданиях в летнее время. Однако, возможности применения этой технологии охлаждения на территории умеренного и континентального пояса Европейско-Азиатской части северного полушария остались неизученными. Ученые университета ATU, университета ИТМО и ТОО «Тениз» на протяжении более 10 лет проводят исследования установок с радиационным охлаждением (УРО) в условиях умеренного и континентального климата Евразии [25-29]. Разработан ряд схемных решений с учетом температурного режима в холодильной камере для северного (температура воздуха в среднем ниже -15°C) и южного (температура воздуха в среднем выше -15 °C) регионов

Для северной зоны:

Температурный режим $t_{воз}$=−20°C за счет радиационного охлаждения поддерживается в году 520 часов (14%). За это время может быть аккумулировано холода около 400 МДж/м^2.

Температурный режим $t_{воз}$ = 0°C поддерживается радиационным охлаждением в течение 2316 часов в году (61%). За это время происходит аккумулирование холода в количестве 575 МДж/м2.

Температурный режим $t_{воз}$= 20°C обеспечивается в течение всего года, количество аккумулируемого холода может составить около 1930 МДж/м2.

Для южной зоны:

Температурный режим $t_{воз}$= 0°C поддерживается в году в течении 1436 часов (38%), что обеспечит запас холода около 300 МДж/ м2.

Температурный режим $t_{воз}$=20°C поддерживается в течение 3663 часов в году (97%), что обеспечит запас холода около 1450 МДж/ м2.

Существует достаточно много вариантов схемных решений систем охлаждения с использованием потенциала НРО. Разработаны схемы для круглогодичного использования радиационного охлаждения в холодное время для непосредственного охлаждения камер и в летнее время для понижения давления конденсации.

Выполненный анализ схемных решений показал, что независимо от региона расположения и режима работы охлаждаемого объекта для снижения энергопотребления целесообразно применять комбинированные холодильные системы, состоящие из холодильной машины и установки с РО с круглогодичным использовнием радиационного охлаждения в соответствии с рис. 3.

лаждения в соответствии с рис. 3.

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

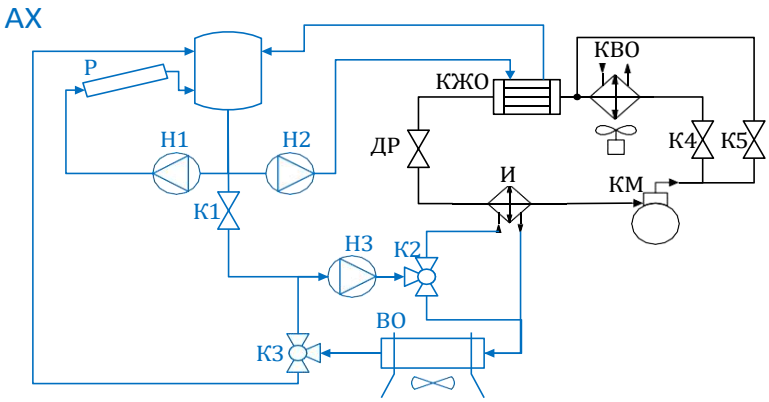


Рис. 3. Принципиальная схема комбинированной холодильной системы: Р – радиатор; АХ – аккумулятор холода; Н1 … Н3 – насосы; ВО – воздухоохладитель; К1 … К5 – краны; КМ – компрессор; КВО – конденсатор воздушного охлаждения; КЖО – конденсатор жидкостного охлаждения; ДР – дросселирующее устройство; И – испаритель.

Данная принципиальная схема показывает лишь основные элементы системы, необходимые для понимания её принципа действия. Комбинированная холодильная система будет работать в следующих режимах работы:

Непосредственное охлаждение холодильной камеры УРО при температуре атмосферного воздуха ниже чем в камере.

Отвод теплоты конденсации УРО парокомпрессионной холодильной машины при температуре атмосферного воздуха выше, чем в холодильной камере.

Предлагаемая холодильная система содержит контур парокомпрессионной холодильной машины (чиллер), состоящий из компрессора КМ, конденсатора воздушного охлаждения КВО, конденсатора жидкостного охлаждения КЖО, дросселирующего устройства ДР и испарителя И. Также холодильная система содержит контуры для теплоносителя, включающие в себя аккумулятор холода АХ, радиаторы Р, насосы Н1, Н2, Н3,воздухоохладитель ВО, краны К1, К2 и К3. Холодильная система работает следующим образом. В летнее время включен компрессор КМ. Парокомпрессионная холодильная машина производит охлаждение теплоносителя, поступающего в испаритель И. При этом включен насос Н3. Он подает теплоноситель через трехходовой кран К2 в испаритель И. Далее охлажденный теплоноситель поступает в воздухоохладитель ВО, где забирает тепло от охлаждаемого объекта. Далее теплоноситель возвращается через трёхходовой кран К3 во всасывающий патрубок насоса Н3. При этом кран К1 закрыт.

В ночное время включается насос Н1. Он забирает теплоноситель из аккумулятора холода АХ и подает его в радиатор Р. Здесь теплоноситель охлаждается, после чего возвращается в аккумулятор холода АХ. Ожидается, что за ночь теплоноситель в аккумуляторе холода будет охлаждаться примерно до минимальной температуры атмосферного воздуха за ночь (например, +20°С).

В дневное время, если температура конденсации становится больше заданного значения (например, +40°С), включается насос Н2. Он забирает охлажденный теплоноситель из аккумулятора холода АХ и подает его в конденсатор жидкостного охлаждения КЖО. В результате температура конденсации хладагента снижается. Далее теплоноситель возвращается в аккумулятор холода.

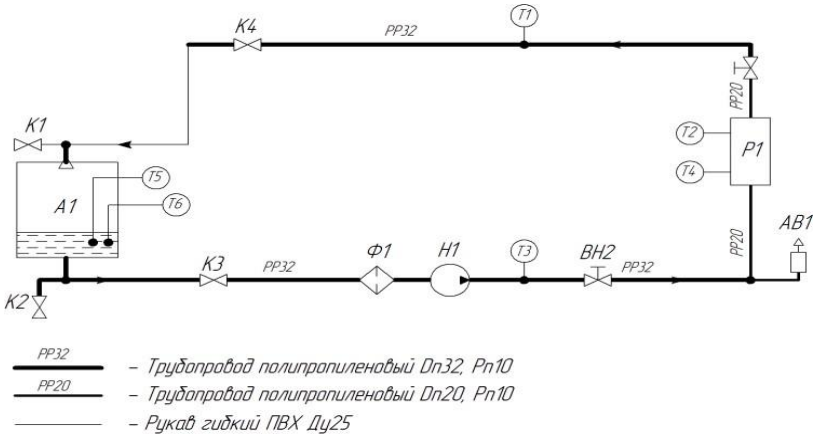
ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

В зимнее время отвод тепла от КЖО не требуется, так как температура конденсации весь день поддерживается достаточно низкой за счет температуры атмосферного воздуха. Однако, если температура атмосферного воздуха станет достаточно низкой (например -10°С) относительно температуры в камере хранения продуктов, теплоноситель будет охлаждаться до требуемой температуры в радиаторах и собираться в аккумуляторе холода АХ без включения парокомпрессионной холодильной машины. В таких условиях кран К1 открывается. Насос Н3 забирает охлажденный теплоноситель из аккумулятора холода АХ и подает его через трехходовой кран К2 непосредственно в воздухоохладитель ВО. Здесь теплоноситель забирает тепло от охлаждаемого объекта, а сам нагревается. Далее теплоноситель через трехходовой кран К3 возвращается в аккумулятор холода АХ.

Экспериментальное исследование установки с РО с радиатором пластинчато-трубной конструкции из меди. Для экспериментального исследования установки с радиационным охлаждением (УРО) в климатических условиях г. Алматы была разработана и изготовлена экспериментальная установка. Принципиальная гидравлическая схема УРО представлена на рис. 4.

Рис. 4. Принципиальная гидравлическая схема установки с радиационным охлажде-нием: Р1 – радиатор; А1 – аккумулятор холода; Н1 – насос; АВ1 – автоматический воздушный



клапан; Ф1– фильтр; К1…К4 – кран шаровой; Т1…Т6 – датчики температуры.

Основными элементами экспериментальной установки с радиационным охлажде-нием являются охлаждающее устройство - радиатор Р1, аккумулятор холода А1 и насос Н1 для циркуляции теплоносителя. Установка с РО оборудована контроллером АСУНРО-1.К, позволяющим записывать данные с датчиков температуры, а также управлять насосом Н1 холодильной системы.

Методика проведения экспериментов следующая. В ночное время, определяемое по часам реального времени в интервале между закатом и рассветом, контроллер холодильной

установки включает насос. В радиаторе теплоноситель охлаждается за счет совместного действия конвективного и радиационного теплообмена и возвращается в аккумулятор холода. Датчики температуры Dallas DS18B20 имеют абсолютную погреш-ность ±0,5°С Данные с термодатчиков в цифровом виде передаются по протоколу OneWire (трехпроводная схема) к контроллеру АСУТИВКП-1.К, изготовленному на базе аппаратной платформы ArduinoMega 2560 с микроконтроллером ATmega 2560.

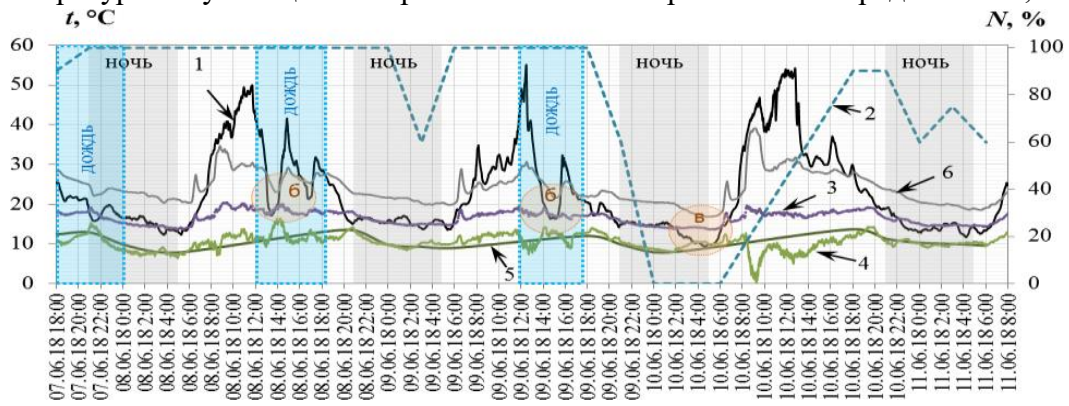
ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

Результаты эксперимента показаны на рис. 5.

Рис. 5. Сравнение температуры излучающей поверхности с температурой воздуха: 1 – температура излучающей поверхности; 2 – общий уровень облачности по данным с метеостанции; 3 – расчетная температура воздуха по мокрому термометру; 4 – расчетная температура точки росы воздуха; 5 – температура точки росы воздуха по данным с метеостанции; 6 – температура атмосферного воздуха.

Температура излучающей поверхности в ночное время была в среднем на 6,5 K ниже



температуры атмосферного воздуха, несмотря на дождь и высокий уровень облачно-сти. Удельный тепловой поток радиатора имеет значение 43,8±15 Вт/м^2.

Компьютерное моделирование холодильной системы с радиационным охлаждением. Система хладоснабжения с радиационным охлаждением обладает множеством физических параметров. Процессы, протекающие в системе, динамически изменяются во времени и зависят как от параметров окружающей среды, так и от внутреннего состояния системы. Получить точные аналитические уравнения, позволяющие рассчитать обобщенные характеристики системы в заданный момент времени (холодопроизводительность, энергопотребление и т.п.) не представляется возможным. Поэтому для исследования переходных процессов, происходящих в системе хладоснабжения, используется метод явного численного решения. Компьютерная модель была разработана в среде Scilab 6.0 [26,27,29], в которой интервал времени между расчетами составлял 5 минут.

При моделировании работы установки РО использованы данные о климатических условиях полученные с архива метеостанции [30].

На основе проведенного анализа было установлено, что для обеспечения круглого-дичного холодоснабжения необходимо использовать комбинированную холодильную систему, состоящую из УРО и холодильной машины. В более теплые периоды года, когда УРО не обеспечивает требуемую температуру, охлаждение камеры для хранения продуктов следует производить за счёт работы обычной парокомпрессионной холодиль-ной машины. Анализ энергоэффективности комбинированной холодильной системы проведен для городов: Алматы, Костанай, Санкт-Петербург при её круглогодичной эксплуатации и поддержании температуры на уровне 0±1 °C в холодильной камере с низким значением эксплуатационных теплопритоков, в которой хранятся яблоки с выделением теплоты. Такая комбинированная холодильная система в зимний период должна обеспечить охлаждение с низким потреблением электроэнергии без использова-ния холодильного компрессора, а в годовом цикле работы сократить износ более дорого-стоящей в данной системе холодильной машины, что повысит ее долговечность [28]. Рассматриваемая система хладоснабжения представлена на

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

рис. 6. В ней имеются аккуму-лятор холода и три замкнутых гидравлических контура для циркуляции теплоносителя.

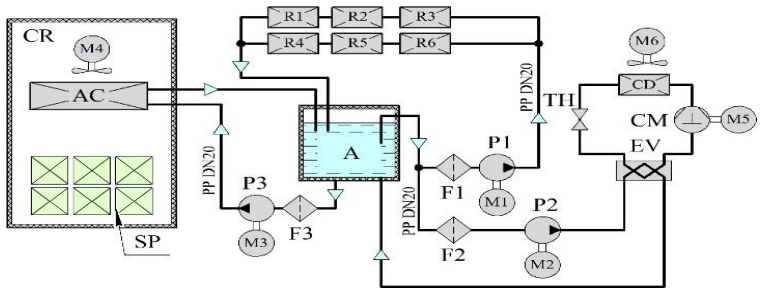


Рис. 6. Принципиальная схема комбинированной холодильной системы хладоснабжения камеры

По первому контуру с насосом Р1 теплоноситель подается к радиаторам, разме-щенным на крыше холодильной камеры. По второму контуру с насосом Р2 теплоноситель подается к испарителю EV парокомпрессионной холодильной машины. По третьему контуру с насосом Р3 теплоноситель поступает в воздухоохладитель АС, охлаждающий воздух в холодильной камере CR. Принципиальная схема комбинированной холодиль-ной системы хладоснабжения камеры состоит из: А – аккумулятора холода; CD – конден-сатора воздушного охлаждения; СМ – компрессора; F1…F3 – фильтров; М1…М3 – электродвигателей насосов; М4, М6 – электродвигателей вентиляторов; М5 – электродвигателя компрессора; R1…R6 – радиаторов; SP – хранимого продукта; ТН – дросселирующего устройства. Результаты расчета энергопотребления представленной комбинированной

системы системы в сравнении со стандартной холодильной машиной дает следующую экономию электроэнергии:

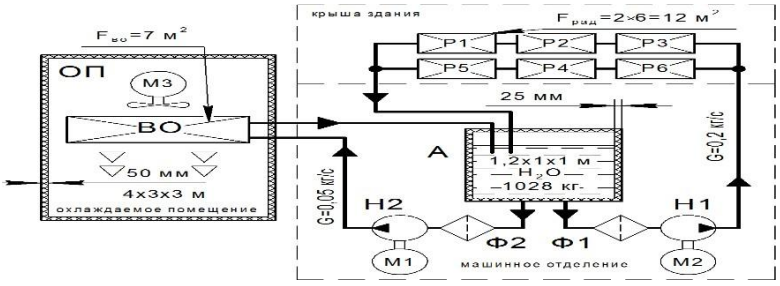
- в Алматы – 340,4 кВт·ч за год, что составляет 7,8%;
- в Костанай – 242 кВт·ч за год, что составляет 7,6%;
- в Санкт-Петербурге – 657 кВт·ч за год, что составляет 15,9%.

Экономия электроэнергии в Алматы и Костанае сопоставима. При этом, в городе Костанай с наиболее холодным климатом экономия электроэнергии оказалась минимальной, так как в зимнее время здесь очень часто включение системы хладоснабжения вообще не требуется.

Таким образом, наибольшей экономии электроэнергии за счёт совместного исполь-зования УРО и ХМ, удалось достигнуть в городе Санкт-Петербург – 15,9 %. Это объясняется тем, что здесь дольше всего наблюдаются температуры атмосферного воздуха, близкие к 0°С, когда требуется охлаждение камеры и УРО может производить охлаждение. Сравнение энергопотребления комбинированной системы в различных го-родах показывает, что наименьшее количество электроэнергии потребляла установка, расположенная в г. Костанай, где в зимнее время наблюдается наиболее низкая температура.

Анализ результатов моделирования установки с радиационным охлаждением системы кондиционирования воздуха. Анализ энергоэффективности установки

с РО системы кондиционирования воздуха проведен на основе компьютерного моделиро-вания в соответствии с рис.7.



ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

Рис. 7. Принципиальная гидравлическая схема моделируемой установки РО: А – аккумулятор холода; ВО – воздухоохладитель; Н1, Н2 – насосы; М1, М2, М3 – электродвигатели, ОП – охлаждаемое помещение; Р1…Р6 – радиаторы; Ф1, Ф2 – фильтры.

В качестве теплоносителя в установке используется подготовленная вода [35].

В результате компьютерного моделирования установки радиационного охлаждения на основе данных о погоде за лето 2018 года в городе Алматы установлено, что в охлаждаемом помещении комфортная температура в диапазоне до +25°С может поддерживаться до 86,8 % времени от общей продолжительности сезона (79 из 91 дней). При этом установка с радиационным охлаждением потребляет 69,5 кВт·ч электроэнергии, что показывает её энергоэффективность по сравнению с кондиционером, имеющим парокомпрессионную холодильную машину. Для условий эксперимента сокращение потребления электроэнергии составило 56 %.

Вывод.

1. Комплекс выполненных теоретических и экспериментальных исследова-ний показал эффективность холодильных систем различного назначения с использованием потенциала ночного радиационного охлаждения и доказал целесообраз-ность их применения в регионах с достаточными величинами плотностей излучаемого теплового потока и продолжительности действия.

Разработаны методики для расчетов эффективного излучения Земли и радиаци-онного охлаждения, проведен их теоретический анализ. Получены новые данные о потен-циале эффективного излучения и ночного радиационного охлаждения в различных регионах Евразийского материка.

Разработаны методики, алгоритмы и компьютерные модели расчета и проекти-рования установок радиационного охлаждения и комбинированных холодильных систем различного функционального назначения в зависимости от метеорологических условий с применением моделирования годового цикла работы.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований для Европейско-Азиатского региона показали наличие достаточного потенциала радиационного охлаждения для его применения в системах кондиционирования воздуха и промышленного холодоснабжения. Наибольший эффект обеспечивает использование комбинированных холодильных систем, включающих в себя холодильные машины и установки радиационного охлаждения.

Экспериментальные исследования установки радиационного охлаждения в г. Алматы (43° с. ш.) показали, что температура излучающей поверхности радиатора в ночное время в среднем на 6,5K ниже температуры атмосферного воздуха и выше температуры точки росы воздуха на (5-8) K при плотности излучаемого теплового потока 43,8±15 Вт/м^2.

Выполненными исследованиями установлено, что минимальная плотность теплового потока ночного радиационного охлаждения, при которой целесообразно разрабатывать и применять комбинированные холодильные системы, составляет 40-50 Вт/м^2, при продолжительности работы не менее трех месяцев в течение года.

В результате компьютерного моделирования различных систем хладоснабжения установлено, что в г. Алматы в летний период применение установки с радиационным охлаждением по сравнению с кондиционером с компрессорной холодильной машиной обеспечивает сокращение потребления электроэнергии на 56%, при поддержании в помещении температуры до +25°С в течение 87% времени от общей продолжительности сезона.

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

Применение комбинированных холодильных систем для обеспечения темпера-туры в камере 0±1°С показало возможность сокращения энергопотребления в г. Алматы 7.8%, Костанае на 7.6% и в Санкт-Петербурге на 15.9% по сравнению с компрессорной холодильной машиной. При этом плотность излучаемого теплового потока составляет 90-115 Вт/м^2 .

Библиографический список:

1. Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы. Справочник/Под общей редакцией В.А. Григорьева и В.М. Зорина. –М.: Энергия, 1980. –528 с., ил. – (Теплоэнергетика и теплотехника)
2. Кондратьев К.Я. Актинометрия. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1965. – 693 с.
3. Determination of the clear sky emissivity for use in cool storage roof [Электронный ресурс] / Bing Chen. – Omaha: University of Nebraska, 1991. – Режим доступа: http://www.ceen.unomaha.edu/solar/.
4. Measurement of night sky emissivity in determining radiant cooling. [Электронный ресурс] / Bing Chen. – Omaha: University of Nebraska, 1991. – Режим доступа: http://www.ceen.unomaha.edu/solar/
5. Night radiative cooling. The effect of clouds and relative humidity. [Электронный ресурс] / Luciuk M. – Cranford: William Miller Sperry Observatory, 2001 – Режим доступа: http://www.asterism.org/.
6. Parker D.S. Theoretical evaluation of the nightcool nocturnal radiation cooling concept: report : FSEC-CR-1502-05 / Florida Solar Energy Center, – Clearlake Rd., 2005. – 44 p.
7. Parker D.S., Sherwin J.R., Hermelink A.H., Moyer N., NightCool : Nocturnal Radiation Cooling Efficiency Concept, Cocoa, 2009.
8. Цой А.П., Грановский А.С., Цой Д.А., Бараненко А.В. Влияние климата на работу холодильной системы, использующей эффективное излучение в космическое пространство (часть ½) // Холодильная техника. – 2014. – № 12. – С. 36–41.
9. Цой А.П., Грановский А.С., Цой Д.А., Бараненко А.В. Влияние климата на работу холодильной системы, использующей эффективное излучение в космическое пространство (часть 2/2) // Холодильная техника. – 2015. – № 1. – С. 43–46.
10. Samuel D.G.L., Nagendra S.M.S., Maiya M.P. Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: A review // Build. Environ. Elsevier Ltd, 2013. Vol. 66. P. 54–64. DOI: 10.1016/j.buildenv. 2013.04.016.