

ИЗВЕСТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА «КАХАК»

Алматы, 2013 г., № 3 (42)

Журнал выходит с 1998 г.
Периодичность – 4 номера в год

Редакционная коллегия:

академик НАН РК Амербаев В.М. (Москва, РФ), д.т.н., профессор Бияшев Р.Г.;
д.с.-х.н. Кан В.М.; академик НАН РК Мукашев Б.Н.;
д.х.н., профессор Мун Г.А. (*заместитель главного редактора*),
заслуженный деятель науки и техники РК, д.т.н., профессор Пак И.Т. (*главный редактор*),
член-корреспондент РАН Сон Э.Е. (Москва, РФ), д.м.н., профессор Цой О.Г.;
д.т.н., профессор Цой С.В.; д.т.н. Хацкевич В.Х. (Нью-Йорк, США);
Ph.D. Kim Byung-Soo (Сеул, Республика Корея); к.т.н. Ким Н.Х.;
д.х.н., профессор Ю В.К. (*ответственный секретарь*),
к.х.н. Югай О.К. (*зам. ответственного секретаря*)

*Адрес редколлегии и редакции: 050010, г. Алматы, ул. Пушкина, 125, к. 108.
Телефон 8-(727)-2727902, 2916069*

Журнал зарегистрирован в Министерстве культуры, информатики и общественного согласия Республики Казахстан: Свидетельство № 1561-ж от 3 ноября 2000 г.

© Научно-Техническое Общество «КАХАК»

УДК 621.565.83

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО В КОНДИЦИОНИРОВАНИИ

Цой А.П., Грановский А.С., Цой Д. А.

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

В статье рассматриваются холодильные системы, использующие эффективное излучение. Рассмотрены известные схемы систем данного типа. Рассмотрены результаты их испытаний. Представлена схема системы, рассчитанной для применения в условиях резко континентального климата. Оценены преимущества и недостатки существующих систем.

Тепловое излучение в ночное небо (эффективное излучение или англ. «NightSkyRadiantCooling») может использоваться как дешевый способ охлаждения. Низкие затраты энергии в системах данного типа обусловлены отсутствием цикла сжатия хладагента. Вместо него необходима обычная циркуляция хладагителя через радиаторы системы, на осуществление которой требуется сравнительно небольшое количество энергии. Охлаждение происходит за счет теплового излучения, уходящего в атмосферу. Таким образом, можно достичь температуры хладагителя ниже, чем у окружающего воздуха на 5-10 °С.

На данный момент известно значительное количество конструкций холодильных систем, использующих эффективное излучение (ХСИЭИ). Каждая из таких систем разработана для применения в условиях определенного климата и режима эксплуатации. Некоторые из систем уже показали на практике свою работоспособность в условиях жаркого сухого климата. Рассматривается возможность их применения в условиях резко континентального климата.

Простейшая система работает следующим образом. Ночью, когда отсутствует солнечная радиация, насос 3 прокачивает воду через радиатор 1. Здесь вода остывает за счет эффективного излучения. После этого вода поступает в аккумулятор холода 6 и через вентиль 7 возвращается в насос, при этом вентили 4 и 8 закрыты. Таким образом, охлажденная вода за счет эффективного излучения собирается в аккумуляторе, температура которого за ночь снижается до определенной величины. Днем перекрывается

вентиль 2 и открываются вентили 4 и 8. Вода, накопленная в аккумуляторе холода, при закрытом вентиле 7 начинает циркулировать через вентиль 8, теплообменник 5, насос 3, вентиль 4 и аккумулятор холода 6. При этом она забирает тепло в теплообменнике 5, а сама нагревается.

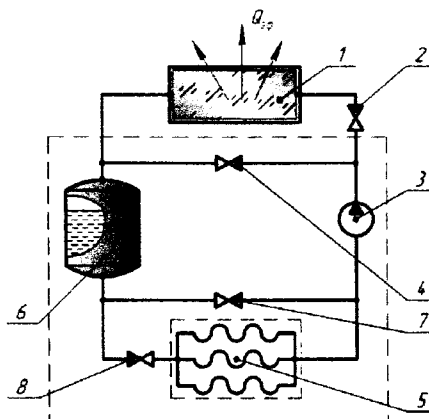


Рисунок 1 - Простейшая система охлаждения, использующая эффективное излучение:

1 – радиатор; 2, 4, 7, 8 – вентили; 3 – насос; 5 – теплообменник; 6 – аккумулятор холода

Обзор результатов испытаний холодильных систем, использующих эффективное излучение в системах кондиционирования

В мировой практике США являются лидером в исследовании ХСИЭИ. Изучением возможностей применения эффективного излучения здесь занимается как минимум десяток организаций, среди которых имеются как научно-исследовательские организации

(FloridaSolarEnergyCenter, PassiveSolar ResearchGroup при университете Небраски и др.), так и производственные предприятия, уже изготавливающие и вводящие в эксплуатацию системы данного типа (ZomeworksInc., DavisEnergyGroup, ResourceEngineeringGroup, ConservaSystemsInc. и др.).

Наибольший интерес представляют результаты испытаний подобных систем в уже реализованных проектах.

Самым простым типом ХСИЭИ являются так называемые «пассивные» системы, в которых циркуляция хладоносителя осуществляется исключительно за счет его естественной конвекции.

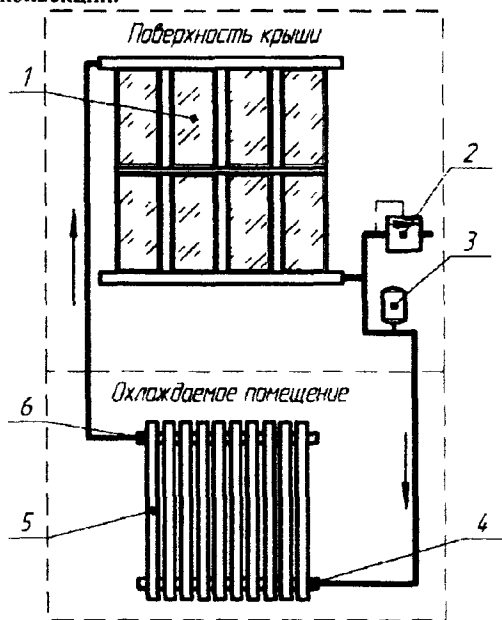


Рисунок 2 - Система пассивного охлаждения производства ZomeworksInc.: 1 – радиаторы; 2 – предохранительный клапан; 3 – расширительный бак; 4 – питающий трубопровод; 5 – трубы охлаждающей батареи; 6 – отводящий трубопровод

Системы такого типа не требуют каких-либо энергозатрат для создания охлаждения. Их конструкция очень проста. В ней не требуется использовать какую-либо автоматику. Ручное управление также отсутствует. Система работает следующим образом (рисунок 2). Ночью происходит охлаждение воды в радиаторах, и она опускается вниз в аккумулятор холода. Более теплая вода из радиатора при этом поднимается вверх из аккумулятора холода в радиатор. В результате, за ночь вода в аккумуляторе остывает и способна в течение последующего дня

охлаждать воздух в помещении. В приведенном примере аккумулятор холода совмещен с воздухоохладителем и располагается непосредственно в охлаждаемом помещении.

Такие системы, в отличие от более сложных систем, можно использовать только для охлаждения. Они работают исключительно летом, а в холодное время года простаивают. В последние годы такие системы уже производятся в нескольких вариантах для частных жилых домов.

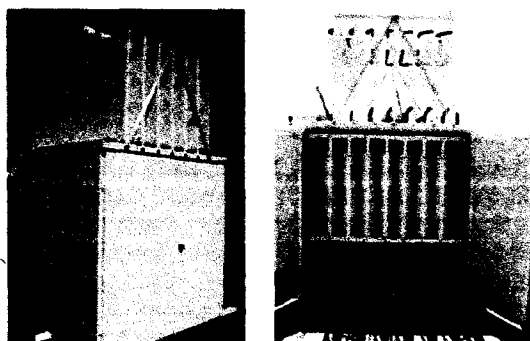
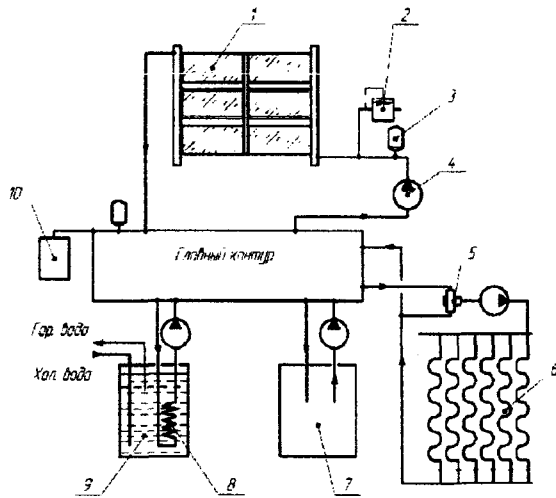


Рисунок 3 - Холодильный шкаф "CoolCell"

Подобным образом работает и устройство под названием "CoolCell", которое представляет собой специальный металлический шкаф, на крыше которого установлен радиатор особой конструкции. Радиатор сообщается с емкостью с хладоносителем, помещенной внутри шкафа. Охлажденная радиатором за ночь жидкость обеспечивает постоянную температуру внутри шкафа. Такое устройство используется для защиты чувствительной электроники от высоких температур и отличается полной автономностью. Существующие конструкции рассчитаны на охлаждения электронных схем с собственным тепловыделением 100-200 Вт [1].

Холодильные системы, в которых циркуляция хладоносителя осуществляется за счет работы насоса, более сложны по конструкции, но имеют некоторые преимущества. Во-первых, такие системы способны транспортировать хладоноситель до охлаждаемого помещения, расположенного на некотором удалении от радиатора. Во-вторых, в таких системах можно использовать различные виды воздухоохладителей и радиаторов со значительным гидравлическим сопротивлением.

На рисунке 4 представлена одноконтурная холодильная система с принудительной циркуляцией хладоносителя [2].



1 – радиаторы; 2 – предохранительный клапан; 3 – расширительный бак; 4 – насосы; 5 – термостатический смесительный вентиль; 6 – трубопроводы в полах охлаждаемого помещения; 7 – газовый бойлер; 8 – теплообменник; 9 – бак-аккумулятор горячей воды; 10 – дренажный ресивер

Рисунок 4 - Схема холодильной системы с принудительной циркуляцией хладоносителя

В системе один и тот же хладоноситель циркулирует через радиаторы 1, теплообменник 8 и трубопроводы 6. В качестве теплообменника, охлаждающего воздух в помещениях, используется система трубопроводов, подобная той, что применяется для отопления полов. Обычные кондиционеры и специальные аккумуляторы холода в этом проекте не использовались. Весь холод накапливался исключительно в гидравлической системе трубопроводов в полу помещения. Система трубопроводов в помещении занимала 24 м². На крыше были установлены две панели пластмассового радиатора, произведенного фирмой «SealedAir». Общая площадь радиаторов составила 5,83 м². При использовании обычных солнечных коллекторов в качестве радиаторов, для обеспечения надежной работоспособности их площадь должна составлять не менее 1/3 или даже 1/2 от площади охлаждаемых помещений [3].

По данным испытания в штате Нью-Мексико при использовании предлагаемой системы, возможно сократить расходы электроэнергии на охлаждение воздуха на 30-90 %. Ниже приведен график, отображающий результаты работы системы в одном из жилых зданий.

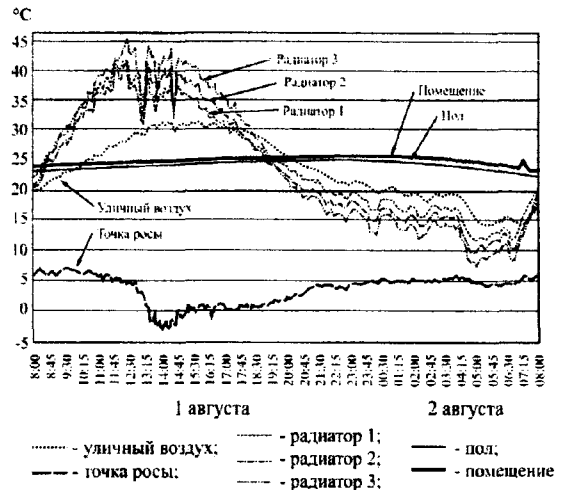


Рисунок 5 - Работа бытовой системы кондиционирования воздуха 1-2 августа

Примером более крупного проекта может быть система, разработанная в DavisEnergyGroup и установленная в здании «AllWeatherManufacturingCo.» в г. Вакавилл (США, Калифорния) [4]. В этом проекте (см. рис. 6) офисные помещения площадью 600 м² обслуживаются системой ночного охлаждения, которая подготавливает воду для системы отапливаемых полов и фанкойлов.

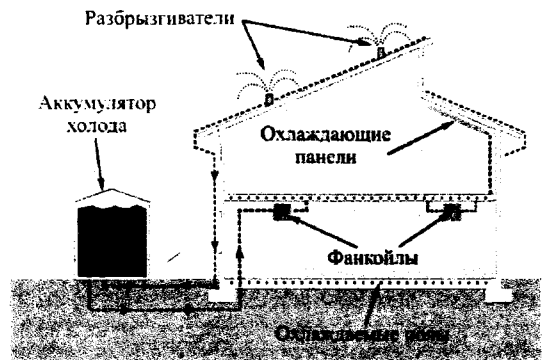


Рисунок 6 - Система с разбрызгиванием воды на поверхность крыши

Особенностью данной системы является то, что вода разбрызгивается на поверхность крыши, которая выполняет функции радиатора. Вода охлаждается за счет совместного действия испарения и теплового излучения (эффективного излучения). Отсутствие специальных солнечных коллекторов сокращает общую стоимость системы, а использование

теплого излучения улучшает условия охлаждения жидкости. Вода, возвращающаяся с крыши, обычно охлаждается до температуры 10-16 °С. Охлажденная вода фильтруется и сливается в бак-аккумулятор холода. По некоторым оценкам потери жидкости на испарение в таких условиях в 2 раза ниже, чем в обычных системах, где вода охлаждается исключительно за счет испарения [5]. Если температура воды, поступившей с крыши, оказывается выше требуемой, включается холодильная машина.

Как видно из графика (рисунок 7) температура внутри помещений за время наблюдения не поднималась выше 27 °С при уличной температуре 38 °С.

В системе был установлен аккумулятор холода емкостью 36 м³. Т.е. для поддержания требуемых условий в помещении площадью 100 м² нужен аккумулятор, заполненный 6 м³ воды. Оценочные расчеты емкости аккумулятора холода, проведенные для условий летнего климата г. Алматы показали сопоставимый объем (8 м³).

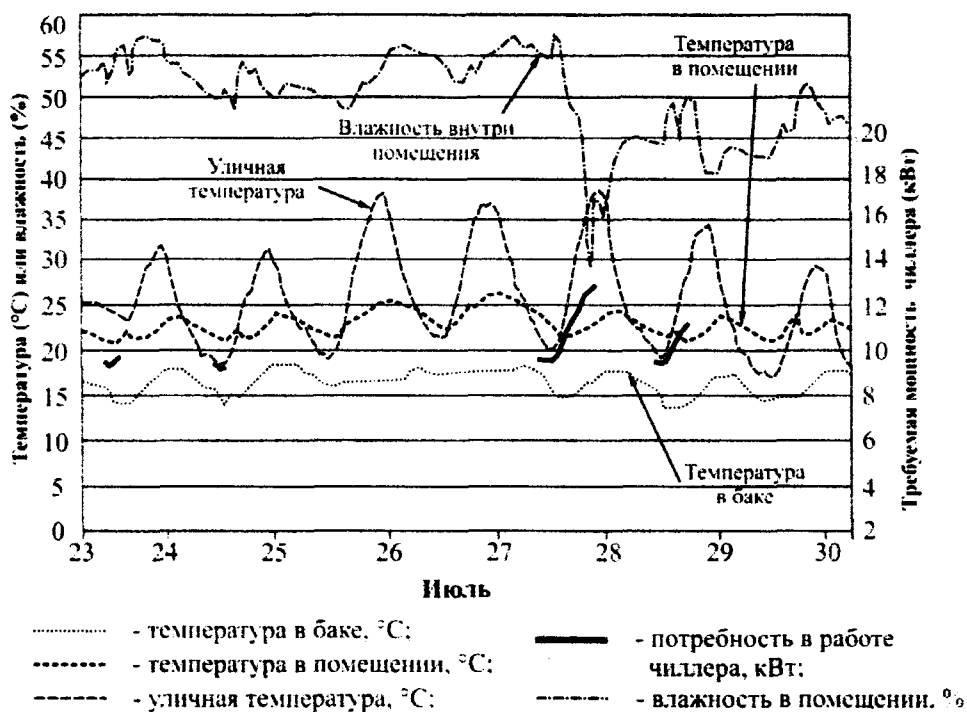


Рисунок 7 - Данные о работе системы в «AllWeatherManufacturingCo.»

При определенных погодных условиях возможны ситуации, когда ХСИЭИ не способна обеспечить требуемую холодопроизводительность. В таких условиях в работу включается обычная фреоновая холодильная машина малой мощности. Двухлетние наблюдения за работой этой системы показали, что фреоновая холодильная машина может работать не более 350 часов в год.

Применение ХСИЭИ в условиях резко континентального климата

В странах с резко континентальным климатом (Казахстан, Россия), система кондиционирования практически не требуется на протяжении большей части года. В холодную

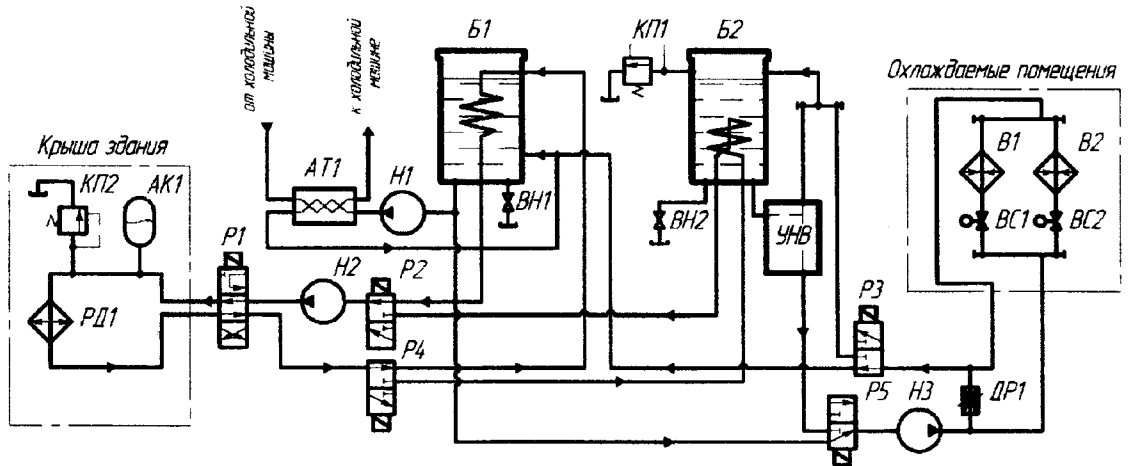
половину года возможно применение той же системы для производства тепла, используемого в системе отопления.

Если система будет работать в зимнее время, использовать воду для подачи в радиаторы нельзя из-за возможности её замерзания. В таком случае нужно будет использовать раствор пропиленгликоля. Теплоемкость раствора пропиленгликоля ниже теплоемкости воды. Следовательно, аккумуляторы холода с пропиленгликолем увеличатся. Как было показано, объем аккумулятора холода может оказаться довольно большим (около 6-8 м³ воды или 7-9 м³ раствора пропиленгликоля на 100 м² помещения). Учитывая себестоимость пропиленгликоля, рациональнее разделить

систему на два контура. Первый контур будет проходить через радиаторы, и в нем следует использовать пропиленгликоль. Во втором контуре, проходящем через систему кондиционирования воздуха и аккумулятор

холода, будет использоваться вода.

Пример схемы с двумя контурами, совмещенной с системой отопления, можно увидеть на следующем рисунке.



АК1 – расширительный бак; АТ1 – теплообменник; Б1 – аккумулятор холодной воды; Б2 – аккумулятор горячей воды; В1, В2 – воздухоохладители; ВН1, ВН2 – вентили; ДР1 – дроссель; Н1, Н2, Н3 – насосы; КП1, КП2 – предохранительные клапаны; ВС1, ВС2 – соленоидные вентили; УНВ – устройство нагрева воды; Р1, Р2, Р3, Р4, Р5 – гидрораспределители; РД1 – радиаторы.

Рисунок 8 - Двухконтурная ХСИЭИ

В системе используются два бака-аккумулятора. В ночное время идет охлаждение жидкости в баке Б1. Днем нагревается вода в баке Б2.

Ночью система работает следующим образом. Включается насос Н2 и начинает прокачивать хладоноситель последовательно через узлы Р1, РД1, Р1, Р4 в теплообменник, расположенный в баке Б1. Если охлаждения, создаваемого радиатором РД1 недостаточно, включается насос Н1 и начинает прокачивать жидкость из аккумулятора Б1 в теплообменник АТ1, где происходит её охлаждение за счет работы обычной холодильной машины (на рисунке не показана).

В дневное время, когда имеется необходимость в охлаждении воздуха, нагрев воды циркулирующей в теплообменнике бака Б2 и по контуру Р2, Н2, Р1, РД1, Р1, Р4.

В холодное время года система используется исключительно для отопления помещений. При этом, если вода в дневное время в баке Б2 нагрелась недостаточно, включается устройство нагрева воды УНВ.

Другие варианты применение ХСИЭИ

ХСИЭИ способны создавать охлаждение на 5-10 °С ниже средней ночной температуры наружного воздуха. При этом возможно их применение в качестве основного источника холода в системах кондиционирования.

При использовании в системах кондиционирования жилых помещений такие системы способны обеспечивать летнее охлаждение воздуха, а также производить теплую воду для бытовых нужд. Зимой такая система может использоваться для отопления здания.

Ранее была рассмотрена возможность использования ХСИЭИ для хладоснабжения открытых катков [6, 7]. В этом случае роль радиатора для ночного охлаждения выполняет поверхность катка. Необходимость в установке дополнительных радиаторов полностью отсутствует.

Рассматривается возможность применения таких систем в фрукто-, овощехранилищах и камерах хранения некоторых продуктов. В таком варианте система способна самостоятельно поддерживать требуемую

температуру (от 0 до +4 °С) в осенне-весенний период времени, когда средняя ночная температура не превышает 10 °С. В зимний период времени, система будет обеспечивать отопление, а также производить теплую воду для бытовых нужд. Летом для достижения требуемых параметров в камерах потребуется использование обычной холодильной установки, а ХСИЭИ может использоваться для предварительного охлаждения воздуха, поступающего в камеры.

Выводы

Характеристики современных ХСИЭИ для кондиционирования воздуха в жилых помещениях:

- Удельная холодопроизводительность радиаторов: 50-100 Вт/м² в зависимости от температурного режима;
- Расход жидкости: 18-60 л/мин на 1 м² радиатора в зависимости от его конструкции;
- Отношение площади радиаторов к площади охлаждаемых помещений: от ¼ до ½;
- Емкость аккумулятора холода: 6-8 м³ на 100 м² помещения;
- Холодильный коэффициент: 10-18.

Основываясь на анализе данных, полученных при испытании перечисленных выше систем, можно выделить следующие особенности ХСИЭИ.

Преимущества ХСИЭИ:

1. При их использовании значительно сокращается потребление электроэнергии (по различным данным от 30 до 90 % в зависимости от климата), необходимой для системы кондиционирования помещений;
2. Экологическая безопасность подобных систем (не используют вредных, опасных или озоноразрушающих веществ, не выделяют парниковые газы);
3. Если сравнивать системы, использующие эффективное излучение, с испарительными охладительными установками (градирнями), преимущество первых окажется сокращение расхода воды, используемой для создания охлаждения.

Недостатки ХСИЭИ

1. Для получения наибольшей эффективности подобной системы зачастую требуется особая конструкция здания, так как радиаторы занимают большую площадь;
2. Возможны ситуации, когда они не могут обеспечить требуемую холодопроизводительность, из-за чего зачастую требуется установка дополнительной холодильной машины обычного типа.

Перспективы совершенствования ХСИЭИ

На данный момент очевидным недостатком систем данного типа является большая требуемая площадь для установки радиаторов. Связано это с тем, что их удельная холодопроизводительность пока остается достаточно низкой.

Остальные элементы таких систем являются стандартными, и не требуют каких-либо значительных доработок.

Литература:

1. Stephen C. Baer & David C. Harrison. Temperature Control in Electronics/ Zomeworks Corporation, – Albuquerque, 2008
2. Mark Chalom, Bristol Stickney. Potentials of night sky radiation to save water and energy in the state of New Mexico / Governor Richardson's water innovation fund, – New Mexico, 2006;
3. David Houghton. Radiant Night-Sky Heat Rejection and Radiant Cooling Distribution for a Small Commercial Building. Resource Engineering Group, Inc. – Santa Fe, 2006;
4. Richard C. Bourne, Marc A. Hoeschele. Applying Natural Cooling to Slab Floors. /Davis Energy Group, Inc, – Davis, 1999;
5. Michael Bendewald, Jennilee Harrison, Alok Pradhan. Factor Ten Engineering Case Study // Rocky Mountain Institute. – 2011. – February. Global Ecology Center at Stanford University Stanford. – 2011;
6. Цой А.П., Бараненко А.В., Мачуев Ю.И. Исследование влияния охлаждающего эффекта небосвода на ледовое поле открытого катка // V Межд. научно-техн. Конф. «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» 23-24 ноября 2011 г., СПбГУНиПТ, г. Санкт-Петербург.
7. Цой А.П., Бараненко А.В., Эглит А.Я. Использование эффективного излучения в холодильной системе открытого ледового катка // Вестник МАХ. - 2013. - № 4. - С. 8-11

Поступила 25 июля 2013 г.