

**ИГОРЬ КОНСТАНТИНОВИЧ САВИН**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой энергообеспечения предприятий и энергосбережения физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

savin@psu.karelia.ru

**ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА ЗАВАРКИНА**

преподаватель кафедры энергообеспечения предприятий и энергосбережения физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

zavarkina@psu.karelia.ru

**РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСА ОХЛАЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА С ЦИКЛОМ ЭГД-ИКС\***

Рассматривается возможность использования естественного холода. Предложен технический способ, позволяющий поддерживать требуемый режим работы в экологически чистых и энергосберегающих системах охлаждения.

Ключевые слова: естественный холод, электрогидродинамическая система, испарительно-конденсационная система

Повышение энергоемкости производства ведет к экологической напряженности и увеличению стоимости топливно-энергетических ресурсов, что, в свою очередь, выявляет необходимость поиска альтернативных источников энергии. Сжигание углеводородов для производства электроэнергии увеличивает потенциал глобального потепления, так как образующийся при их сжигании углекислый газ, выбрасываемый в атмосферу, увеличивает парниковый эффект.

Применяемые в настоящее время источники энергии, как правило, используют в качестве топлива невозобновляемые ресурсы, при этом возобновляемые источники энергии требуют значительной проработки для более широкого их применения.

В последние годы заметно увеличился интерес к научным разработкам, позволяющим использовать принципиально иные источники энергии, в том числе энергию естественного холода. Использование холодильных машин для агропромышленного комплекса при переработке и хранении сельскохозяйственной продукции требует постоянного увеличения энергопотребления. При этом охлаждение молока естественным холодом является распространенным направлением не только в научно-исследовательских работах, но и при производстве холодильной техники для аграриев России.

Использование естественного льда в качестве источника холода объясняется его ценными физическими свойствами: низкой температурой таяния (0 °С) и высокой теплотой плавления, равной в обычных условиях 335 кДж/кг. При таянии 1 кг льда из окружающей среды расходуется 335 кДж теплоты. Теплопроводность

льда в интервале температур 0...-20 °С составляет 2,33 Вт/(м · К), а удельная теплоемкость – 2,12 кДж/(кг · К) [2].

Холод природной среды применяется при разных температурах для теплоэнергетических и холодильных целей. Непосредственное или аккумуляционное охлаждение природной средой не требует, в отличие от искусственного охлаждения, затрат энергии на получение холода.

При этом существующие ледники имеют явно выраженные недостатки, разработанные конструкции холодильных установок с использованием естественного холода не нашли широкого применения на практике.

Эффективность охлаждения естественным холодом зависит от климатических условий конкретного региона. Так, холодная зона с морозными зимами обеспечивает непосредственное естественное охлаждение продукта, аккумуляцию холода в грунте и получение льда. Замораживание и охлаждение грунта также целесообразно для создания подземных аккумуляторов холода, используемых в летнее время для продуктовых складов холодильников. Карелия перспективна в плане использования холода наружного воздуха и природного льда для переработки и хранения овощной продукции.

Данная система эффективна в областях, где индекс холода больше 400 °С в сутки и относительно высокая (20 °С) температура окружающего воздуха в теплое время года.

Индекс холода вычисляется по формуле:

$$M = \sum (T_i \times D_i), \quad (1)$$

где  $T_i$  – суточная температура окружающего воздуха в зимний период, °С;  $D_i$  – количество дней в году с температурой ниже 0 °С.

Количество теплоты, передаваемой при помощи тепловой трубы, можно определить по формуле:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{fa} + R_{hp} + R_{hs}}, \quad (2)$$

где  $\Delta T$  – разность температур между теплоаккумулирующим веществом и атмосферой, °C;  $R_{fa}$  – термическое сопротивление между конденсатором и атмосферой,  $(\text{м}^2 \times \text{К})/\text{Вт}$ ;  $R_{hp}$  – термическое сопротивление тепловой трубы,  $(\text{м}^2 \times \text{К})/\text{Вт}$ ;  $R_{hs}$  – термическое сопротивление между испарителем и теплоаккумулирующим веществом,  $(\text{м}^2 \times \text{К})/\text{Вт}$ .

$$R_{hp} = \frac{1}{\alpha_c \times A_c} + \frac{1}{\alpha_p \times A_e},$$

$$R_{hs} = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_g \times L_c \times \ln(d_g / d_{hp})},$$

где  $\alpha_c$  – коэффициент теплоотдачи между окружающим воздухом и конденсатором;  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $A_c$  – площадь теплоотдающей поверхности конденсатора,  $\text{м}^2$ ;  $A_e$  – площадь соприкосновения (испарителя) и тепловой трубы,  $\text{м}^2$ ;  $L_c$  – длина конденсатора, м;  $d_g$  – диаметр замораживаемого теплоаккумулирующего вещества, м;  $d_{hp}$  – диаметр тепловой трубы, м.

Термическое сопротивление между конденсатором и атмосферой может быть определено по формуле:

$$R_{fa} = \frac{1}{\alpha_c \times A_f}, \quad (3)$$

где  $A_f$  – внешняя площадь конденсатора;  $\alpha_c$  – коэффициент теплоотдачи материала стенки трубы,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})$ .

В результате была рассчитана тепловая труба мощностью 300 Вт, обеспечивающая (при разнице температур между конденсатором и испарителем 3 °C) заморозку двухметрового слоя теплоаккумулирующего вещества. Термическое сопротивление тепловой трубы составляло 0,01  $(\text{м}^2 \times \text{К})/\text{Вт}$ , а температура на испарителе -5 °C.

Японскими учеными была построена экспериментальная установка аккумуляции холода, которая состояла из 216 тепловых труб диаметром 46 мм каждая, длиной 12 м, с интервалом 0,5 м в четыре ряда вокруг охлаждаемого объекта, для зарядки предлагается использовать испарительно-конденсационные системы [5].

В камеру загружено около 7 т сельскохозяйственных продуктов. Данные исследований снимались, когда теплоаккумулирующее вещество было заморожено (конец января). В качестве рабочей жидкости был выбран фреон R-22.

Комплекс работает следующим образом. При понижении температуры наружного воздуха ниже температуры теплоаккумулирующе-

го вещества тепловые трубы начинают передавать тепло от теплоаккумулирующего вещества через радиатор конденсатора в атмосферу. Таким образом происходит зарядка теплового аккумулятора.

Когда температура окружающего воздуха по каким-либо причинам становится выше температуры теплоаккумулирующего вещества, тепловая труба выключается. Таким образом исключается отвод теплоты от теплоаккумулирующего вещества в атмосферу и проникновение теплоты от окружающего воздуха внутрь аккумулятора [2].

Исследования велись около года и позволили сделать следующие выводы:

- аккумулярование «естественного» холода с применением тепловых труб технически возможно;
- при любых изменениях погоды возможно поддержание стабильной температуры в охлаждаемом помещении.

Однако комплекс имеет ряд недостатков. Например, охлаждение воздуха в помещении происходит непосредственно через стенку этого помещения, усложняя процесс поддержания постоянной температуры внутри него. Кроме того, имеется сложность загрузки помещения, поскольку оно находится под землей.

Важным критерием работы холодильной установки является температура объекта, которая поддерживается постоянной независимо от изменения мощности тепловыделения, иными словами, система термостатирования должна обеспечивать регулирование теплопередачи в широких пределах.

Решение задачи возможно благодаря электрогидродинамическим испарительно-конденсационным системам (ЭГД-ИКС). Теплообменные устройства, в которых реализован замкнутый испарительно-конденсационный цикл, электрическое поле используется для интенсификации или управления теплообменными процессами, как на отдельных участках системы, так и в любом их сочетании [1], [2].

Одним из важнейших процессов в данной системе является зарядка аккумулятора, по этой причине нами было принято решение о более тщательном изучении данного процесса. Для этого мы предприняли попытку построения физической модели теплового аккумулятора и изучения процесса его последующей зарядки в лабораторных условиях, в дальнейшем необходимо разработать конструкторские решения, которые воплотятся в промышленный образец.

Цикл работы охлаждаемой камеры позволяет теплоту от воздуха охлаждаемой камеры передать тепловому аккумулятору порциями посредством ЭГД-ИКС [3], [4].

В отличие от термосифона, в электрогидродинамической испарительно-конденсационной

системе зона испарения находится выше зоны конденсации, поэтому для обеспечения ее работоспособности необходимо, чтобы жидкий теплоноситель из зоны конденсации поступал в зону испарения. Этот процесс осуществляется с помощью электрогидродинамического насоса по конденсатопроводу. Вся поверхность зоны испарения равномерно смачивается жидкостью, так как она имеет капиллярную структуру.

Электрогидродинамический насос позволяет легко регулировать расход теплоносителя в широких пределах от непрерывной подачи до пол-

ного прекращения, строго контролируя тепловой поток от охлаждаемой камеры к тепловому аккумулятору и тем самым поддерживая требуемый режим работы системы охлаждения в целом.

При дальнейшем совершенствовании конструкции холодильной установки с использованием наружного холодного воздуха она может быть использована при создании низкопотенциальной холодильной установки с циклом ЭГД-ИКС, способной конкурировать с традиционными холодильными установками аграрного сектора экономики.

\* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития (ПСР) ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болога М. К., Савин И. К. Электрогидродинамические испарительно-конденсационные системы. Кишинев: Штиинца, 1991. 277 с.
2. Савин И. К. Возможности использования природного холода // Вестник Международной академии холода. 1998. Вып. 1. С. 9–10.
3. Савин И. К., Нефёдов Д. В., Заваркина Е. А. Комплекс охлаждения с использованием естественного холода с применением системы ЭГД-ИКС // Вестник Международной академии холода. 2010. № 4. С. 13–18.
4. Savin I. K., Nefedov D. V. Opportunities of the natural cold application // Тезисы докладов 4-й Минской международной конференции «Тепловые трубы, тепловые полосы, холодильники». Минск, 2000. С. 229–230.
5. Fukuda M., Tsuchiya F., Ryokai K., Mochizuki M., Mashiko K. Development of artificial permafrost storage using Heat Pipes // The 3rd International Heat Pipe Symposium. Tsukuda. Sept. 1988. P. 285–289.