МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ

МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА

VI Международная
научно-техническая конференция

«НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ»

(Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2013 г.)

Материалы конференции

Санкт-Петербург

2013

УДК 664; 621; 304; 338
ББК 31.392; 31.31; 36; 65; 74.58 Н61

VI Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (*Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2013 г.*): Материалы конференции. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 818 с.

ISBN 978-5-7577-0443-2

В сборнике представлены материалы конференции по следующим направлениям: низкотемпературная техника и системы низкопотенциальной энергетики, криогенная техника и технологии, системы кондиционирования и жизнеобеспечения, теоретические основы тепло- и хладотехники, пищевые технологии, пищевые биотехнологии, техника и процессы пищевых производств, промышленная экология и рациональное использование природных ресурсов, экономика и управление производством в отрасли, высшая школа XXI века.

Редакционная коллегия: А.В. Бараненко, И.В. Баранов, А.А. Малышев, Е.И. Борзенко, М.А. Макарченко, М.В. Яковлева, А.В. Цыганков, О.Б. Цветков, Л.А. Забодалова, В.С. Колодязная, А.Л. Ишевский, В.А. Арет, Т.В. Меледина, А.Г. Шлейкин, О.И. Сергиенко, В.Л. Василенок, Н.А. Шапиро, И.Г. Сергеева, С.В. Полатайко.

Рекомендовано к печати научно-техническим советом университета

В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

ISBN 978-5-7577-0443-2

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2013

УДК 621.565.83

МОДЕЛИРОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В НЕБЕСНУЮ СФЕРУ

А.П. Цой[1],А.С. Грановский[1], А. Керымакын[1], А.В. Бараненко[2], А.Я. Эглит[2]

1 – Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан
2 – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики Институт холода и биотехнологий, Санкт-Петербург, Россия

Земная поверхность, как и любые другие физические тела, излучает в окружающее пространство электромагнитные волны в инфракрасном диапазоне. Часть энергии, излучаемой землей, проходит через всю толщину атмосферы и уходит в космическое пространство. Часть энергии отражается от атмосферы и возвращается. Эффективное излучение представляет собой разницу между собственным излучением земной поверхности и поглощаемой земной поверхностью частью противоизлучения атмосферы [1].

Ночью, когда приток теплового излучения от Солнца отсутствует, земная поверхность излучает энергии больше, чем принимает обратно от окружающей атмосферы. Это явление можно использовать для отвода теплоты от различных систем, т.е. создать холодильную систему, охлаждение в которой создается за счет эффективного излучения[2].

Для осуществления процесса охлаждения в системах данного типа необходима циркуляция хладоносителя через радиаторы системы, требующая сравнительно небольшихзатрат энергии.

Таким образом, можно достичь температуры хладоносителя ниже, чем у окружающего воздуха на 5-10°С. Некоторые из систем уже показали на практике свою работоспособность в условиях жаркого сухого климатаюга Северной Америки[3, 4].

Для разработки системы охлаждения с использованием эффективного излучения, необходима количественная оценка величины излучения.

Способы расчета величины эффективного излучения предложены в работах множества авторов (Кондратьева К.Я., Ефимовой, Чена, Паркера, Брента и Луцюка и др. [1,3,4, 5, 6]).

Все известные формулы можно разделить на две основные группы.

Формулы первой группы учитывают не все параметры, влияющие на поток эффективного излучения, что может вызвать ошибки. Формулы второй группы требуют значительного количества данных о состоянии атмосферы в рассматриваемый момент времени, получение которых может быть связано со значительными трудностями.

Для инженерного расчета величины потока эффективного излучения была разработана математическая модель и программа.

Общий вид расчетной формулы используемой в программе аналогичен виду формулы Брента [1]:

$$E_{эф} = \delta[\sigma \cdot (273{,}15 + t_{в})^4 \cdot k_{вп} \cdot k_{об} + k_{ст}], \qquad (1)$$

где: δ– относительная излучательная способность поверхности установки;

σ– постоянная Стефана-Больцмана,$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^2·град^4);

$k_{ст}$ – поправка на разницу между температурой излучающей поверхности и температурой воздуха, Вт/м^2;

$t_{в}$– температура воздуха на высоте 2 м над уровнем земной поверхности, °С;

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

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

В программе используется коэффициент $k_{вп}$ выведенный из формулы Бинг Чена, т.к. он отражает результаты наиболее современных исследований, направленных на определение потока эффективного излучения, и был определен специально для проектирования холодильных систем. После проведения некоторых преобразований он может быть записан в виде:

$$k_{\text{вп}} = 0{,}202 - 0{,}0044 \cdot t_{\text{ро}}, \tag{2}$$

где: $t_{\text{ро}}$ – температура точки росы воздуха, °С.

Учет влияния облачности на величину эффективного излучения выполняется по методике, предложенной в работах Будыко М.И., Берлянд Т.Г. и Зубенок Л.И. [1].

$$k_{\text{об}} = 1 - cR^2, \tag{3}$$

где: c – коэффициент показывающий, как изменяется влияние облачности на величину эффективного излучения в зависимости от географической широты местности, для которой проводятся расчеты. Его можно определить по рис. 1; R– общая степень облачности в долях от единицы, $0 \le R \le 1$.

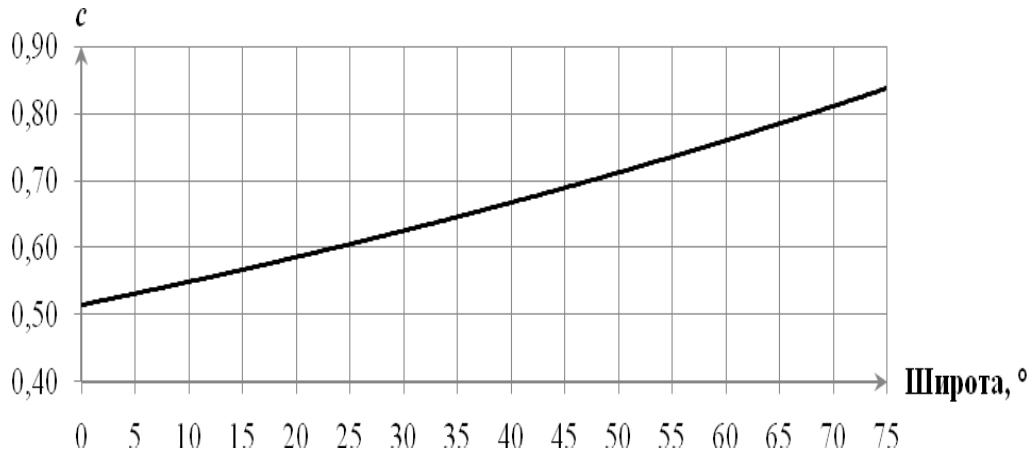

Рис. 1. Значения коэффициента*c* в зависимости от географической широты

Поправка $k_{\text{ст}}$ может быть определена по формуле:

$$k_{\text{ст}} = \sigma[(t_{\text{ип}} + 273{,}15)^4 - (t_{\text{в}} + 273{,}15)^4], \tag{4}$$

где: $t_{\text{ип}}$ – температура излучающей поверхности, °С.

По результатам вычислений для холодильных систем, можно сказать, что среднюю за ночь величину эффективного излучения с достаточной степенью точности можно рассчитывать по средней ночной температуре воздуха, средней температуре точки росы и облачности.

Температура излучающей поверхности при этом может быть рассчитана как разность между температурой хладоносителя в аккумуляторе холода в начале процесса охлаждения и ожидаемой величиной охлаждения, определяемой в зависимости от емкости аккумулятора:

$$\bar{t}_{\text{ип}} = \bar{t}_{\text{а}0} - \frac{\Delta t_{\text{а}}}{2} \tag{5}$$

где: $\bar{t}_{\text{ип}}$ – средняя ночная температура излучающей поверхности, °С; $\bar{t}_{\text{а}0}$ – температура хладоносителя в аккумуляторе холода в начале процесса охлаждения; $\Delta t_{\text{а}}$ – величина охлаждения аккумулятора холода за ночь, определяемая как функция от отношения $\frac{M_{\text{а}}}{F_{\text{р}}}$,рассчитанная заранее для конкретной модели радиатора при использовании в системе определенного вида хладоносителя; $M_{\text{а}}$ – масса хладоносителя в аккумуляторе холода, кг;$F_{\text{р}}$ – площадь излучающей поверхности радиатора, м^2.

Ниже представлен график изменения $\Delta t_{\text{а}}$для радиатора с$\eta_{\text{р}}$=0,7при работе в условиях летнего климата г. Алматы. В качестве хладоносителя в данном случае используется обычная вода.

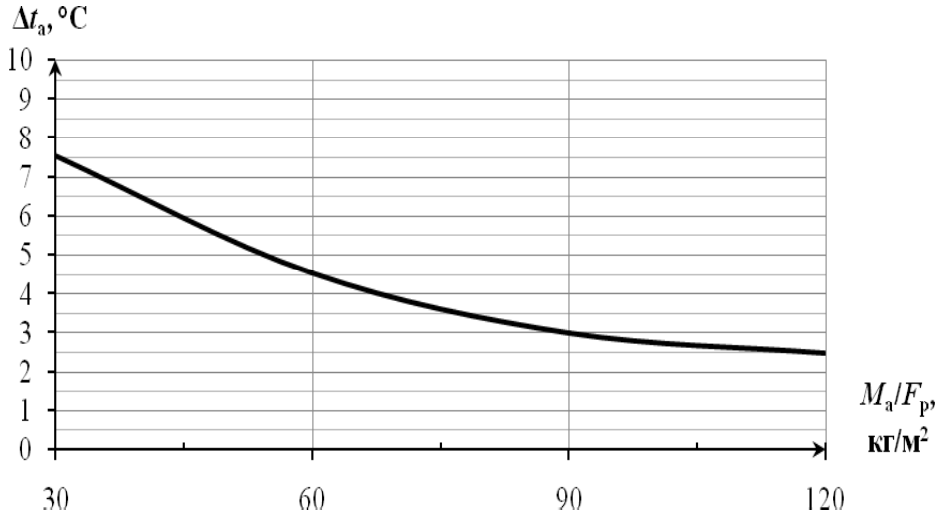

Рис. 2. Зависимость понижения температуры в аккумуляторе холода за ночь от отношения массы хладоносителя к площади радиаторов

Общее количество холода,полученное за ночь с 1 м^2 радиатора(эффективную холодопроизводительность), можно определить по формуле:

$$Q = 3{,}6 \cdot E_{эф}(\bar{t}_{в}, \bar{t}_{ип}, \bar{t}_{ро}, \overline{R}) \cdot \eta_{р} \cdot \eta_{с} \cdot \tau_{н} \qquad (6)$$

где: $\tau_н$– продолжительность ночи, ч; $\bar{t}_в$ – средняя за ночь температура воздуха за ночь, °С; $\bar{t}_{ро}$ – средняя температура точки росы, °С; $\overline{R}$ – среднее значение общей облачности; $\eta_р$– общий КПД радиатора, который представляет собой отношение количества теплоты, которое забирается от хладоносителя в радиаторе в единицу времени, к теоретически-возможной величине эффективного излучения; $\eta_с$– коэффициент, учитывающий теплопритоки к хладоносителю при его транспортировании до аккумулятора холода.

Так как в программе используются эмпирические формулы расчета эффективного излучения, следует учитывать, что наибольшую точность имеют результаты вычислений для положительных значений температуры воздуха и излучающей поверхности[7].

Описанная методика дает удовлетворительные результаты, точность которых достаточна для решения практических задач при расчете ожидаемого охлаждающего эффекта холодильных систем по средним значениям параметров атмосферного воздуха за несколько дней.

Список литературы:

1. Кондратьев К.Я. Актинометрия. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1965. 693 с.

2. Цой А.П., Бараненко А.В., Эглит А.Я. Использование эффективного излучения в холодильной системе открытого ледового катка. // Вестник МАХ. 2012. №4. С. 8 – 11

3. 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.

4. 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.

5. Determination of the clear sky emissivity for use in cool storage roof [Электронныйресурс] / Bing Chen. – Omaha: University of Nebraska, 1991. – Режимдоступа: http://www.ceen.unomaha.edu/solar/.

6. Night radiative cooling.The effect of clouds and relative humidity. [Электронныйресурс] / Luciuk M. – Cranford: William Miller Sperry Observatory, 2007. – Режимдоступа: http://www.asterism.org/.

7. Программа расчета потока эффективного излучения [Электронный ресурс] – Алматы: ТОО Тениз, 2013. – Режим доступа: http://maxteniz.kz/iak_in_rk/article_iac/ercalc/.

VI Международная
научно-техническая конференция

«НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ»

(Санкт-Петербург, 13-15 ноября 2013 г.)

Материалы конференции

Титульный редактор

Т.Г. Смирнова

Компьютерная верстка

Е.В. Москвичева

Я.Я. Платунова

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Печатается

в авторской редакции

Подписано в печать 31.10.2013. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 47,66 Печ. л. 51,25 Уч.-изд. л. 51,0
Тираж 200 экз. Заказ № С 84

НИУ ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
ИИК ИХиБТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9