

УДК 621.565.83  
МРНТИ 55.63

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ МОЛОКООХЛАДИТЕЛЕЙ

А.П. ЦОЙ<sup>1</sup>, А.С. ТИТЛОВ<sup>2</sup>, А.Х. АЛИМКЕШОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алматинский технологический университет, Республика Казахстан, Алматы

<sup>2</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина, Одесса)

E-mail: asylym\_menim@mail.ru

*В данной работе представлены результаты проведенных экспериментальных исследований на молокоохладительной установке, использующей эффективное излучение Земли. Результаты эксперимента показали, что в начальный период температура поверхности радиатора охлаждается ниже температуры атмосферного воздуха на 2°C. После включения насоса и перекачивания теплоносителя через радиатор, температура поверхности радиатора повышается в среднем на 3°C выше атмосферного воздуха. В утренние часы повышается температура атмосферного воздуха и соответственно радиатора и заканчивается процесс охлаждения воды в аккумуляторе холода. Из полученных результатов вытекает, что радиатор с ночным радиационным охлаждением работоспособен и вода с аккумулятора холода охлаждается до температуры ближе к атмосферному воздуху.*

**Ключевые слова:** эффективное излучение Земли, радиационное охлаждение, охлаждение молока на ферме, установка с радиационным охлаждением, холодильная установка, молокоохладитель.

## СҮТ САЛҚЫНДАТҚЫШТАР ҮШІН РАДИАЦИЯЛЫҚ САЛҚЫНДАТУДЫ ТӘЖІРИБЕ ЖҮЗІНДЕ ЗЕРТТЕУ

А.П. ЦОЙ<sup>1</sup>, А.С. ТИТЛОВ<sup>2</sup>, А.Х. АЛИМКЕШОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы

<sup>2</sup>Одесса ұлттық азық-түлік технологиялары академиясы, Украина, Одесса)

E-mail: asylym\_menim@mail.ru

*Бұл мақалада Жердің тиімді сәулеленуі арқылы сүт салқындату қондырғысында жүргізілген эксперименталды тәжірибелік зерттеудің нәтижелері келтірілген. Эксперименттердің нәтижелері бастапқы кезеңде радиатор бетінің температурасы қоршаған ортаның температурасынан 2°C төмен екенін көрсетті. Сорғыны қосқаннан кейін және салқындатқыш радиатор арқылы өткеннен кейін, радиатордың бетінің температурасы атмосфералық ауадан 3°C жоғары көтеріледі. Таңғы уақытта атмосфералық ауа температурасы жоғары көтеріледі сәйкесінше радиатордың да, аккумулятордағы суды салқындату процесі тоқтайды. Алынған нәтижелерден түнгі радиациямен салқындататын радиатор жұмыс істейді және суық аккумулятордағы су атмосфералық ауаға жақын температураға дейін салқындатылады.*

**Негізгі сөздер:** жердің тиімді сәулеленуі, радиациялық салқындату, сүтті фермада салқындату, радиациялық салқындату қондырғысы, тоңазытқыш қондырғысы, сүт салқындатқыш.

## EXPERIMENTAL STUDY OF RADIATION COOLING FOR MILK COOLERS

*A.П. ЦОЙ<sup>1</sup>, А.С. ТИТЛОВ<sup>2</sup>, А.Х. АЛИМКЕШОВА<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Odessa National Academy of Food Technologies, Ukraine, Odessa)

E-mail: asylym\_menim@mail.ru

*This paper presents the results of an experimental study conducted at a milk-cooling installation using effective radiation of the Earth. The results of the experiment showed that in the initial period the temperature of the surface of the radiator is cooled below ambient temperature by 2°C. After turning on the pump and pumping the coolant through the radiator, the surface temperature of the radiator rises on average by 3°C above atmospheric air. In the morning, the temperature of the atmospheric air and, accordingly, the radiator rises and the process of cooling water in the cold accumulator ends. From the results taken, it follows that the radiator with night-time radiation cooling is operational and the water from the cold accumulator is cooled to a temperature closer to atmospheric air.*

**Key words:** effective radiation of the Earth, radiation cooling, cooling milk on a farm, installation with radiation cooling, refrigeration installation, milk cooler.

### **Введение**

Тепловое излучение Земли имеет максимальное значение в ясные безветренные ночи. Только 12% так называемого уходящего излучения, проходя через атмосферу, уходит в космическое пространство – эффективное излучение [1,2]. А остальная часть отражается от атмосферы и создает обратный поток энергии. Его обозначают как противозлучение атмосферы.

При облачности, задымлении и тумане возрастает противоизлучательная способность и снижается эффект лучистого обмена эффективного излучения. На объектах, находящихся на большой высоте (более 1000 метров), ночью из-за возрастания эффективного излучения, происходят потери тепла в большом количестве. В ночное время, за счет отсутствия солнечной радиации (инсоляции), происходит понижение температуры поверхности Земли ниже температуры воздуха. Особенно сильно охлаждаются те поверхности Земли, которые имеют низкую теплопроводность.

Эффективная температура поверхности, с позиции расчетов, это разность между восходящими и нисходящими потоками теплового излучения на уровне земной поверхности, его определяют по формуле:

$$t_{эф} = t_{в} - \Delta t_{эф}, \quad (1)$$

где:  $t_{в}$  - температура воздуха;

$\Delta t_{эф}$  - изменение температуры за счет эффективного излучения (0-12°C).

Эффективное излучение в ночное небо (ночное радиационное охлаждение или на англ. яз. «Night Sky Radiant Cooling») можно использовать в качестве естественного охлаждения [1-3]. Данный способ охлаждения происходит без применения холодильной машины, поэтому его можно отнести к одному из видов получения естественного охлаждения и дешевых способов получения холода. Ночное радиационное охлаждение, в зависимости от климатических условий региона, можно использовать для охлаждения и применять его как дополнительную установку к основной холодильной машине.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования является разработанная экспериментальная установка основанная на использовании ночного радиационного охлаждения для молокооохладителя, которая расположена в лабораторной аудитории 101 (Алматинский технологический университет), в городе Алматы, по улице Фурката, 348/4. Исследуемая установка с радиационным охлаждением состоит из радиатора (рис. 1), насоса и аккумулятора холода с теплообменником. Радиатор имеет излучательную поверхность площадью в 1 м<sup>2</sup>. Конструкция радиатора изготовлена из медных труб с припаянным алюминиевым листом. Длина медной трубы 1200 мм.

Сама установка размещена в помещении, а радиатор под окном на высоте 1м над уровнем земли. Радиатор размещен между высотными зданиями, рекомендуется размещать под открытым небом на крыше высот-

ного здания. Место размещения радиатора было подобрано в связи с обстоятельствами расположения самой установки, и не было

учтено, что на его излучающую поверхность будут влиять какие-либо объекты.

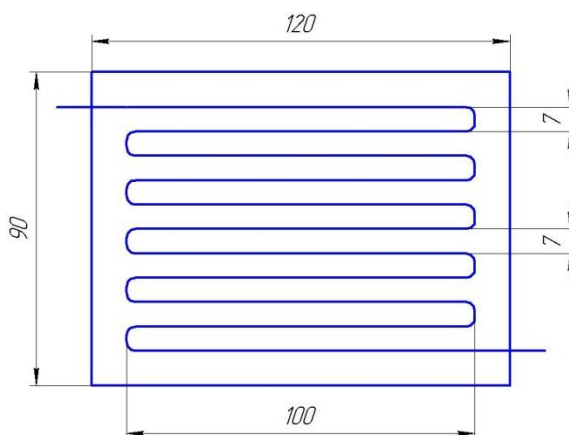


Рисунок 1 – Схема радиатора с эффективным излучением

Методом исследования является изучение ночного радиационного охлаждения путем проведения экспериментов. Методика проведения экспериментов следующая (рис. 2). В ночное время, определяемое по часам реального времени в интервале между закатом и рассветом, контроллер холодильной установки включает насос Н1. Хладоноситель из радиатора Р подается через теплообменник

в аккумулятор холода АХс помощью насоса Н1 и нагнетается в радиатор Р, где происходит его охлаждение. Охлажденная вода с аккумулятора холода АХ подается через насос Н2 в рубашку молокоохладительной МО установки. После процесса охлаждения молока, теплоноситель стекает в аккумулятор холода АХ произвольно.

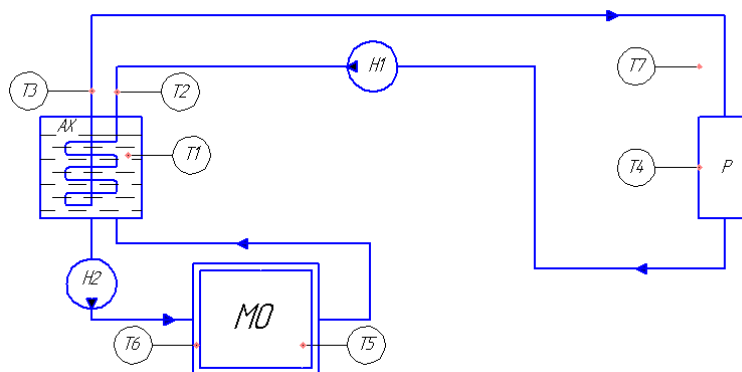


Рисунок 2 - Гидравлическая схема холодильной установки: Н1 – насос для теплоносителя (хладоносителя); Н2 – насос для воды; Р – радиатор; АХ – аккумулятор холода; МО – молокоохладительная установка; Т1...Т7 – датчики температуры

Контроллер в автоматическом режиме осуществляет запись параметров температуры в различных точках холодильной системы, параметры атмосферного воздуха (температуру и относительную влажность), а также регистрирует аварийные ситуации.

Полученные данные исследований радиатора экспериментальной установки моло-

коохладителя подтверждаются методами исследования ночного радиационного охлаждения других авторов [4,5].

**Результаты исследований и их обсуждение**

На рис. 1 данные, полученные за 16-ноября 2018 года, показывают, что радиатор имеет температуру ниже на 2°С атмосфер-

ного воздуха. Величина понижения температуры зависит от конструкции радиатора, от места, от региона расположения и физических параметров воздуха[4,5].

Если рассмотрим физические параметры воздуха на 16 ноября 2018 года, то можем увидеть, что плотность воздуха при атмо-

ферном воздухе  $-5^{\circ}\text{C}$  равна  $1,318\text{кг}/\text{м}^3$ , при этих же условиях динамическая и кинематическая вязкость воздуха равняется  $17 \cdot 10^{-6}\text{Па}\cdot\text{с}$  и  $12,86 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$  соответственно. Удельная теплоемкость воздуха увеличивается с ростом его температуры, при атмосферном воздухе в  $-5^{\circ}\text{C}$  она составляет  $1007\text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{град}$  [6].

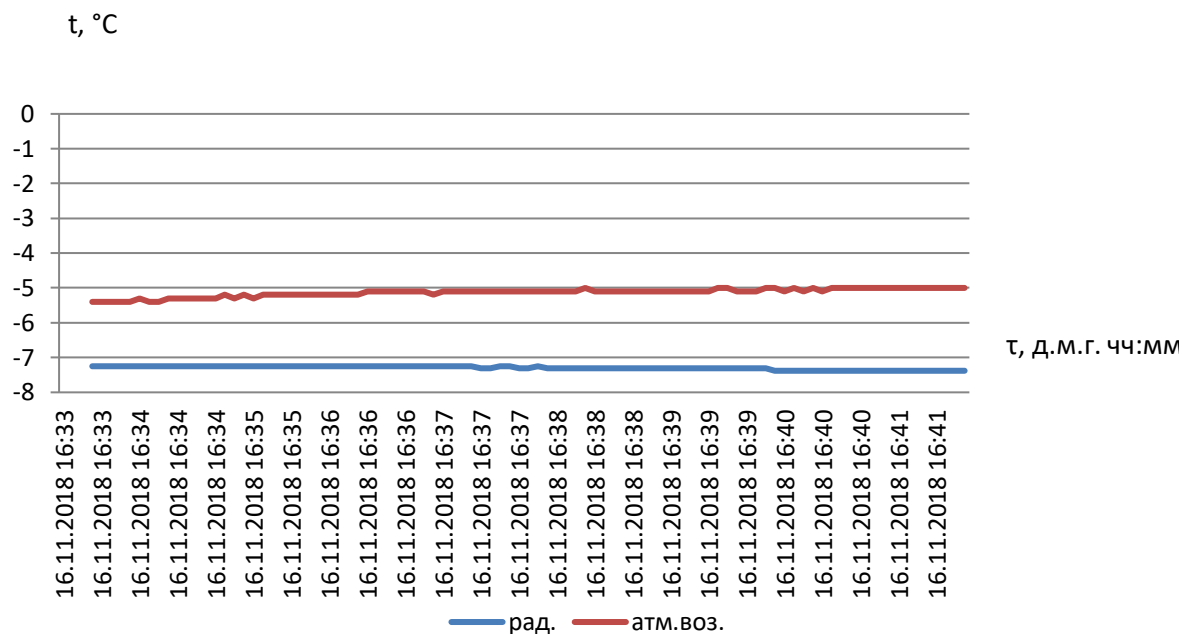


Рисунок 1 - Температура атмосферного воздуха и радиатора на 16 ноября 2018 года

Полученные данные за 17 ноября после заката 16:30 и 18 ноября после 00:00 до 11:30 дня 2018 года представлены на рисунке 2. Из графика видно, что до начала подключения насоса и перекачивания теплоносителя через медные трубы радиатора температура поверх-

ности радиатора ниже атмосферного воздуха на  $2^{\circ}\text{C}$ . После подключения насоса температура поверхности радиатора становится выше, чем атмосферный воздух на  $4^{\circ}\text{C}$ . Затем устанавливается средняя разность  $3^{\circ}\text{C}$ .

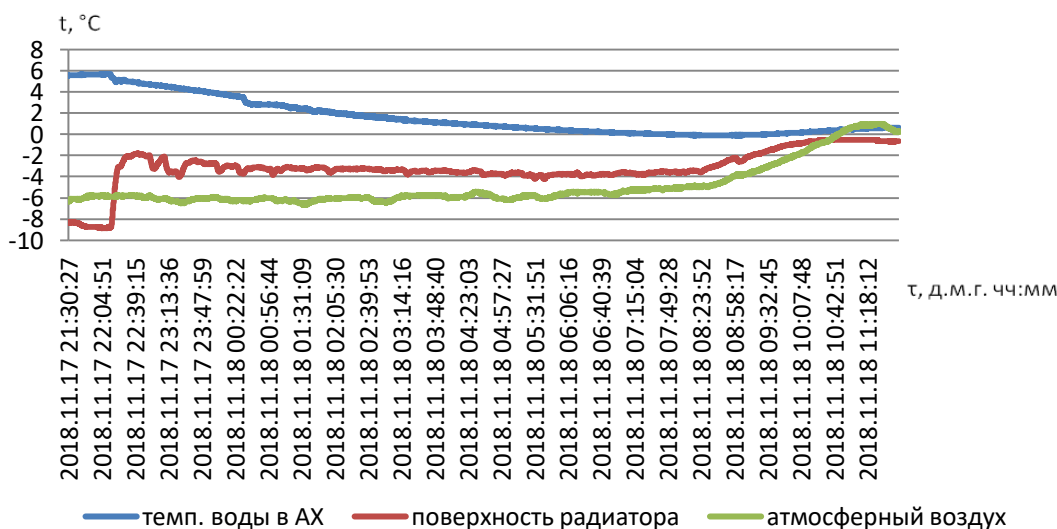


Рисунок 2 - Охлаждение воды в аккумуляторе холода. Данные 17-18ноября 2018 года

В утренние часы повышается температура атмосферного воздуха и соответственно радиатора и заканчивается процесс охлаждения воды в аккумуляторе холода. Таким образом, в ночной период происходит охлаждение воды в аккумуляторе холода с 6°C до 0°C.

Также повышение температуры радиатора подтверждает, что при появлении солнечной радиации эффективность радиационного охлаждения снижается.

Однако, в связи с инерционностью системы и низкой температуры в аккумуляторе холода температура радиатора становится ниже атмосферного воздуха.

#### **Выводы**

Экспериментальная молокоохладительная установка с радиационным охлаждением является работоспособной. В ней подтверждаются все физические и теплообменные процессы, которые должны происходить согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям, проведенными другими авторами для других целей.

1. Температура радиатора экспериментальной установки понижается ниже атмосферного воздуха.

2. Температура в аккумуляторе холода плавно понижается и в итоге приближается к атмосферному воздуху.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Auttapol R.T. Golaka, Exell R.H.B. Night radiative cooling and underground water storage in a hot humid climate: a preliminary investigation // Proceedings of the 2-nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, Phuket, Thailand, (12-14 February 2003). –Phuket, 2003.–PP. 817-914

2. Eleftherios Bourdakis, Ongun B. Kazanci, Bjarne W. Olesen, Grossule F. Simulation Study of Discharging PCM Ceiling Panels through Night - time Radiative Cooling // 2016 ASHRAE Annual Conference (25.06.2016 – 29.06.2016). - St. Louis, 2016. – PP. 1322-1326

3. X.Xu, Niu R., Feng X. An experimental and analytical study of a radiative cooling system with flat-plate collectors//Procedia Engineering–Beijing, China, 2015-PP. 1574-1581.

4. Цой А.П., Грановский А.С., Мачуев Ю.И., Филатов А.С. Обзор проведенных экспериментальных исследований эффективного излучения холодильной системы в космическое пространство. // Вестник МАХ. Сер. Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение – 2015.– Т.1. №3. –С. 28-33.

5. Цой А.П., Грановский А.С., Бараненко А.В., Эглит А.Я. Анализ холодильных систем, использующих тепловое излучение земной поверхности в космическое пространство // Вестник АТУ - 2013. -№1. –С. 57-59.

6. Физические свойства воздуха [Электронный ресурс]. Режим доступа. -2018. - www.thermalinfo.ru (дата обращения 25.01.2019).