

УДК 637.133.1

Солнечный холодильник адсорбционного типа*

И.Ф.САМСОН

Технологический институт Санто-Доминго (Доминиканская Республика)

Канд. физ. наук **Р.ЭЧАРРИ**

Национальный университет им. Генерала Сармьенто (Аргентина)

Д-р техн. наук **Э.Д.СЕРГИЙКИ**
Московский энергетический институт

В ряде стран, в том числе России, не все регионы с развитым сельскохозяйственным производством подключены к системе электроснабжения. В этих районах возникает проблема хранения молочной и другой скоропортящейся продукции.

Разработан холодильник, который не нуждается в электроснабжении и может применяться в зонах высокой солнечной активности. Установка относительно проста в изготовлении и экологична.

Схема и принцип действия холодильника адсорбционного типа. Рабочей парой холодильника являются активированный уголь и метанол. Холодильник имеет три основные части: генератор (солнечный коллектор), конденсатор и испаритель, который находится в холодильной камере (рис. 1).

Солнечный коллектор представляет собой систему, состоящую из концентратора солнечных лучей и цилиндра, частично заполненного активированным углем. В центре цилиндра организовано пространство для свободного движения метанола. При подключении установки в систему вводится определенное количество метанола, который поглощается активированным углем. Принцип действия установки основан на зависимости адсорбционных свойств активированного угля от температуры. В течение дня коллектор нагревается, и уголь начинает освобождать молекулы метанола из пор (адсорбция метанола), который далее поступает в конденсатор в газообразном состоянии, где переходит в жидкую фазу и аккумулируется в испарителе. После захода солнца активированный уголь охлаждается, восстанавливает свои адсорбционные свой-

ства и начинает поглощать метанол (процесс адсорбции). В испарителе холодильной камеры метанол испаряется и производится холод.

В виду того что действие данного холодильника периодическое, необходимо во время кипения метанола в испарителе получить как можно большее количества льда, который в течение дня во время регенерации угля является аккумулятором холода. Зависимость давления насыщенного газа метанола от температуры приведена в табл. 1.

Расчет пропорций (уголь-метанол-лед). Приближенный расчет размеров холодильной установки проведен из предположения, что надо получить 5 кг льда в сутки. Уравнение энергобаланса без учета потерь в окружающую среду (изначально имеем 5 кг воды температурой 30 °С):

$$m_v C \Delta T + m_v L_v = m_{met} L_{mer}$$

где m_v – масса воды в холодильной камере, которая, как предполагается, перейдет в твердую фазу; C – удельная теплоемкость воды; ΔT – разность температур воды; L_v – теплота фазового перехода воды из жидкого состояния в лед; m_{met} – масса метанола, находящегося в испарителе; L_{mer} – теплота фазового перехода метанола из жидкого состояния в газообразное.

Из этого уравнения количество метанола, необходимое для охлаждения и заморозки 5 кг воды, $m_{met} = 2,04$ кг.

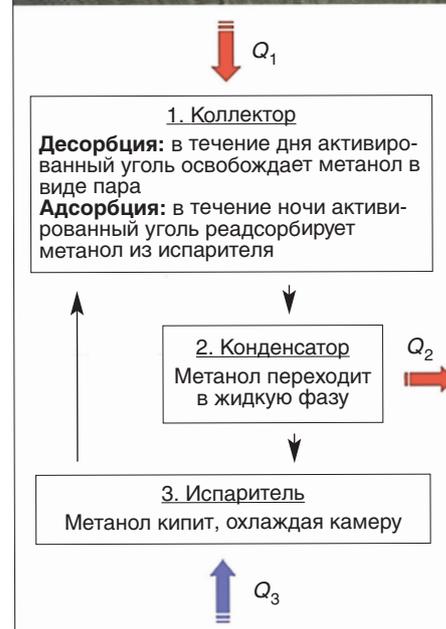


Рис. 1. Внешний вид и схема функционирования холодильника адсорбционного типа периодического действия (цикл длится 24 ч): 1 – коллектор; 2 – конденсатор; 3 – испаритель

Таблица 1

Температура, °С	Давление газа, мм рт. ст.	Температура, °С	Давление газа, мм рт. ст.	Температура, °С	Давление газа, мм рт. ст.
-10	15,61	30	163,97	70	938,26
-5	21,88	35	209,67	75	1131,03
0	30,24	40	265,75	80	1355,47
5	41,26	45	334,04	85	1615,40
10	55,59	50	416,51	90	1914,96
15	74,02	55	515,64	95	2258,56
20	97,48	60	633,72	100	2650,91
25	127,05	65	773,59	-	-

Таблица 2

Процесс	P _s , мм рт. ст.	P, мм рт. ст.	Температура, °С		X, кг/кг
			конденсатора	коллектора	
Десорбция	2650	164	30	100	0,0930
Адсорбция	164	30	25	30	0,2401

* Работа выполнена в рамках проекта Fondocyt 2008-2-E1-010.

Количество угля, которое будет гарантировать такое количество циркулирующего метанола в системе, рассчитано с использованием модели адсорбции вещества в активированном угле, основанной на уравнении Дубинина-Радушкевича [1]:

$$X = X_0 e^{-D[\ln(P_s/P)]^2},$$

где X – масса адсорбированного метанола по отношению к массе активированного угля; $X_0 = 0,316$ – максимальное количество метанола, которое может поглотить (адсорбировать) активированный уголь; $D = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ (K}^{-2}\text{)}$ – коэффициент, зависящий от характеристик активированного угля [1]; T – температура активированного угля; P_s – давление насыщения метанола, соответствующее температуре активированного угля; P – давление метанола в системе, во время процесса десорбции определяется температурой конденсатора, т.е. это будет давление насыщения метанола при температуре окружающей среды (30 °C).

Количество метанола, оставшегося в порах активированного угля по истечении данной десорбции (после того, как солнечный коллектор находился 3–4 ч при температуре 100 °C) $X = 0,0930$.

В то же время давление метанола в процессе адсорбции определяется температурой в испарителе (приблизительно 0 °C). Предполагая, что в условиях Санто-Доминго температура угля в течение процесса адсорбции равна 30 °C, рассчитываем количество метанола, адсорбированного активированным углем (табл. 2 [2]), и получаем значение 0,2401. Таким образом, на 1 кг циркулирующего метанола (разница между метанолом, содержащимся в угле при минимальной и максимальной температуре солнечного коллектора). В конечном итоге, чтобы получить 2 кг циркулирующего в системе метанола, должно быть 13,8 кг угля.

Экспериментальные данные. В Доминиканской Республике и Аргентине были построены несколько прототипов холодильника, отличающихся формами, размерами, количеством активированного угля и циркулирующего метанола. С различными прототипами удалось получить от 60 до 800 г льда. На рис. 2 представлен один из прототипов холодильника и лед.

Проведена серия экспериментов по выявлению зависимости количества десорбированного метанола от темпе-



Рис. 2. Прототипы холодильной установки: 1 – коллектор; 2 – конденсатор; 3 – испаритель

ратуры конденсатора и температуры солнечного коллектора. Днем коллектор нагревался на солнце. Для поддержания постоянной температуры в коллекторе в течение определенного времени периодически подключались электрические сопротивления. Конденсатор помещали в резервуар с водой, где поддерживалась одна и та же температура в течение каждого эксперимента. Конденсированный метанол поступал в испаритель – цилиндрический резервуар с сообщающейся с ним тонкой стеклянной трубкой для наблюдения за уровнем жидкого метанола. Измеряли температуру в обоих цилиндрах солнечного коллектора, испарителе, холодной камере, конденсаторе и окружающей среде с помощью термометра типа «К» производства компании Lascar Electronics Inc., рабочий диапазон от –200 до +1350 °C, погрешность измерений ± 2 °C. Также измеряли давление в системе с помощью манометра марки WEKSLER.

На рис. 3, а представлено количество десорбированного метанола (выражено в высоте столба метанола в испарителе, мм) от времени для разных температур конденсатора, температура солнечного коллектора поддерживалась 100 °C. Нижняя линия соответствует измерениям при температуре конденсатора 40 °C, средняя – при 30, верхняя – при 20 °C. При снижении температуры конденсатора с 40 до 20 °C количество десорбированного метанола увеличивается почти на 40 %. Как было продемонстрировано при расчете пропорций в системе, количество произведенного холода при каждом цикле зависит от количества циркулирующего метанола.

На рис. 3, б приведены основные результаты следующих экспериментов: в течение одного цикла работы холодильника температуры коллектора и конденсатора поддерживались постоянными. В конце процесса десорбции регистрировалось количество конден-

сированного метанола. Каждая кривая соответствует экспериментам, выполненным при определенной постоянной температуре солнечного коллектора. При температуре конденсатора 20 °C и ниже количество конденсированного метанола практически не зависит от температуры солнечного коллектора. По мере увеличения температуры конденсатора десорбция метанола существенно зависит от температуры, достигнутой в солнечном коллекторе. Следовательно, в местах с жарким климатом, где температура солнечного коллектора достигает 95–100 °C и поддерживается в течение некоторого времени, для удовлетворительной работы установки достаточно иметь температуру конденсатора 30–35 °C (обычная температура окружающей среды в условиях Санто-Доминго).

На графике, приведенном на рис. 4, представлены результаты измерений с 26 по 30 января 2011 г. на последнем образце холодильника. Температуру измеряли каждые 5 мин, за сутки было сделано 288 измерений. В Санто-Доминго температура в солнечном коллекторе принимает максимальные значения с 13:00 до 14:00 ч. Начало повышения температуры солнечного коллектора является началом процес-

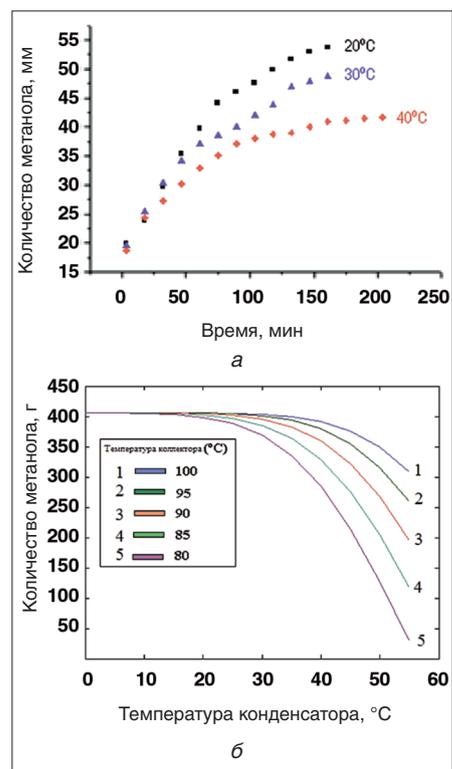


Рис. 3. Зависимость десорбции метанола: а – от времени; б – от температуры конденсатора

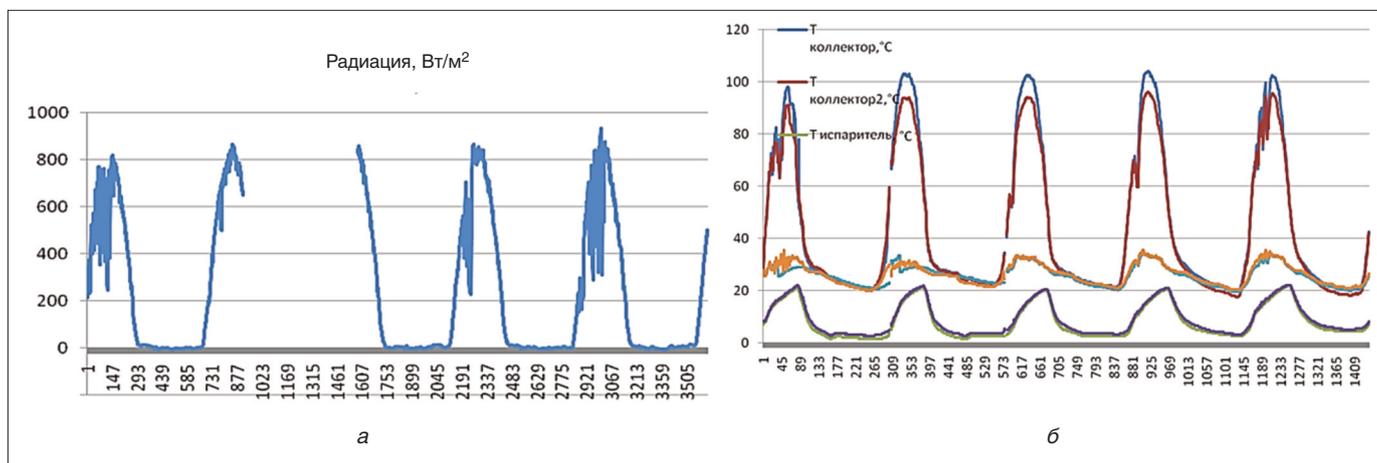


Рис. 4. Изменение плотности солнечного излучения (а) и температуры в солнечном коллекторе (б) в течение экспериментальных исследований. На оси абсцисс отмечены порядковые номера измерений

са десорбции метанола из активированного угля: точки 1, 265, 573, 880, 1145, 1409. Первая точка на графике соответствует 9:20 ч утра в Санто-Доминго 26 января 2011 г. Процесс десорбции метанола сопровождается резким повышением температуры в испарителе, поскольку метанол попадает в испаритель непосредственно из конденсатора и имеет температуру около 40 °С. В течение всего времени поддерживается значительная разница между температурой окружающей среды и температурой в испарителе: от 9 до 22 °С.

Процесс адсорбции метанола начинается каждый день около 17:00, в это же самое время начинается процесс охлаждения в испарителе и холодильной камере: точки 89, 397, 661, 969, 1240.

На графике б зарегистрирована солнечная почасовая радиация в непосредственной близости от холодильной

установки адсорбционного типа. Анализируя поведение кривых, представляющих температуру солнечного коллектора и солнечную радиацию, наблюдаем полное соответствие между кривыми.

ВЫВОДЫ

- Количество произведенного холода в установке зависит от количества циркулирующего в системе метанола, которое увеличивается на 40 % при снижении температуры конденсатора с 40 до 20 °С. В связи с этим, для того чтобы гарантировать производство льда, особенно в дни с более низкой солнечной радиацией, очень важно поддерживать как можно более низкую температуру конденсатора.

- Анализ измерений солнечной радиации и температур, достигнутых в солнечном коллекторе, позволяет предполагать, что в местах, где плотность

потока солнечного излучения превышает 700 Вт/м², ожидается стабильная работа установки указанного типа. С целью поддержания в холодной камере приемлемой температуры в течение всего цикла необходимо добиться более эффективной работы составляющих частей установки.

- Предполагается эксплуатация холодильной установки данного типа в районах, удаленных от системы централизованного энергообеспечения для хранения различных типов продуктов (вакцин, молока, креветок и т.д.).



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С. Грег, К. Синг. Адсорбция. Удельная поверхность. Пористость. – М.: Мир, 1984.
2. Inna Samson y Rodolfo Echarri. Una alternativa para producciyn de frno con energna solar. *Ciencia y Sociedad*, Vol XXIX Enero – Marzo 2004 RD ISSN 0387- 7680.