

УДК 628.8.02.003.1

**Ляховецкая-Токарева М.М.**, канд. техн. наук, доцент  
(ГВУЗ «ПГАСА»)

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА В СИСТЕМАХ МИКРОКЛИМАТА**

**Ляховецька-Токарева М.М.**, канд. техн. наук, доцент  
(ДВУЗ «ПДАБА»)

## **ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО ХОЛОДУ В СИСТЕМАХ МІКРОКЛІМАТУ**

**Lyachovetskaya-Tokareva M.M.**,  
Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
(PSACEA)

## **ECONOMIC ADVANTAGES OF NATURAL COLD USE IN SYSTEMS OF THE MICROCLIMATE**

**Аннотация.** Целью работы является разработка и обоснование методов повышения энергоэффективности систем обеспечения микроклимата, основанных на использовании естественного холода. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить обоснование экономических преимуществ использования естественного холода в системах микроклимата. По нормативным данным была составлена сводная таблица с климатическими свойствами по некоторым городам Украины с целью определения коэффициентов эффективности работы систем кондиционирования и холодоснабжения с использованием естественного холода наружного воздуха в течении года. Приведены графические зависимости изменения степени энергетической эффективности и коэффициента коррекции мощности системы холодоснабжения от температуры наружного воздуха, что позволяет оптимально использовать естественный и искусственный холод в системах микроклимата.

Ожидаемый экономический эффект зависит от процентного соотношения экономии холода (при использовании естественного холода наружного воздуха от 0,21 до 0,32 и холода грунта от 0,29 до 0,35) и требуемой производительности системы. Результаты работы используются в методических указаниях «Рекомендации по использованию естественного холода в системах микроклимата» и «Методика расчета системы охлаждения воды в контактных теплообменных аппаратах (форсуночных камерах) с учетом климатического районирования Украины (параметров наружного воздуха) и конструктивных особенностей аппаратов (форсунки двустороннего распыла Ц2-7)».

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, энергосбережение, природный холод, системы микроклимата, холодильные машины.

На сегодняшний момент актуальной проблемой энергосбережения в строительстве, промышленности и коммунально-бытовой сфере является повышение эффективности использования естественного холода в системах микроклимата (в системах холодоснабжения и кондиционирования воздуха), которая и находится в центре внимания специалистов как строительного, так и теплоэнергетического профиля.

Значительное количество топлива использовано на производство электроэнергии, которая необходима для приводов насосов, вентиляторов, компрессоров и других технологических элементов систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Для предотвращения образования льда в контактном теплообменном аппарате (например, в вентиляторной градирне) при длительном холодном периоде температура на выходе из контактного теплообменного аппарата должна быть не ниже  $3^{\circ}\text{C}$  (поверхность аппарата должна орошаться).

Опыт эксплуатации систем холодоснабжения для поддержания микроклимата в нормируемых параметрах показывает, что холодильная машина должна обеспечивать температуру охлажденной воды в теплый период  $6^{\circ}\text{C}$ . В холодный период года, не оказывая вреда потребителям холода, могут быть выбраны несколько более высокие показатели температуры холодной воды на входе в кондиционер, чем в теплый период года. Поскольку снижается потребность в холоде и отпадает необходимость в осушке воздуха.

Система холодоснабжения может работать с естественным охлаждением и обеспечивать потребителей там, где допустимо повышение температуры холодной воды на входе в зимнее время до  $10^{\circ}\text{C}$ .

При температуре наружного воздуха ниже  $10^{\circ}\text{C}$  можно отказаться от искусственных методов создания холода, используя естественный переход теплоты с высокого температурного уровня на более низкий. Реализация осуществляется различными способами: использование приточной вентиляции, когда температура в помещении регулируется изменением количества подаваемого воздуха (можно решить множество задач за счет тепло- и тепломассообменных вентиляционных блоков). Энергосберегающие холодильные системы используют холодный контур с промежуточным холодоносителем.

Повышение эффективности использования естественного холода в системах микроклимата возможно также за счет низкопотенциальной энергии грунта.

Холодопроизводительность системы микроклимата, использующей естественное охлаждение, зависит от разности температур между наружным воздухом и обратной водой. При увеличении этой разницы холодопроизводительность естественного охлаждения также увеличивается.

При увеличении этой разницы всего лишь на один градус, холодопроизводительность естественного охлаждения возрастает на 10%.

Это означает, что энергосбережение резко возрастает при уменьшении температуры наружного воздуха.

По нормативным данным [1, 2] была составлена сводная таблица с климатическими свойствами по некоторым городам Украины (табл. 1) с целью определения коэффициентов эффективности работы систем кондиционирования и холодоснабжения при помощи естественного холода наружного воздуха в течение года (табл. 2) [3].

Таблица 1 – Сводные климатические данные

Город	Среднемесячная температура наружного воздуха, °С												Годовая температура наружного воздуха, °С	Продолжительность, сут., и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха					
														≤ 0°С		≤ 8°С		≤ 10°С	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура
Киев	-5,6	-4,2	0,7	8,7	15,1	18,2	19,3	18,6	13,9	8,1	2,1	-2,3	7,7	103	-3,7	176	-0,6	193	0,3
Днепропетровск	-5,5	-4,1	0,8	9,4	16	19,6	21,3	20,6	15,4	8,4	2,5	-2,1	8,5	100	-3,7	172	-0,6	187	0,2
Харьков	-7	-5,7	-0,3	8,9	15,6	19	20,4	19,5	14,1	7,3	1,3	-3,3	7,5	113	-4,6	179	-1,5	194	-0,7
Донецк	-6,1	-4,8	0,4	9,3	15,5	19	20,9	20,1	14,9	7,8	2	-2,6	8	105	-4,1	176	-0,9	190	-0,2
Полтава	-6,6	-5,3	-0,1	8,8	15,4	18,7	20,1	19,4	14,3	7,6	1,5	-3,1	7,6	112	-4,3	177	-1,3	193	-0,5
Луганск	-5,9	-4,8	0,8	10	16,3	19,9	21,7	20,6	15	7,9	2,4	-2,2	8,5	100	-4,1	172	-0,8	188	0
Сумы	-7,7	-6,4	-1,1	7,9	14,9	18	19,2	18,2	13	6,6	0,6	-4,1	6,6	121	-5	185	-1,9	201	-1,1
Симферополь	-0,5	0,4	3,6	10,2	15,2	19,2	21,5	21	16,6	10,7	6,3	2,4	10,6	37	-0,5	153	2,6	174	3,4
Ялта	3,9	4,2	6	10,8	15,6	20,2	23,2	23	19	13,6	9,5	6,3	12,9	0	-	119	5,1	149	5,9

График на рис. 1 [4] показывает, как изменяется степень энергетической эффективности в течение одного гипотетического года (температура выходящей воды равна 7°С) при изменении температуры наружного воздуха. По графику видно как резко возрастает степень энергетической эффективности, когда все компрессора останавливаются.

Для рассмотрения показателей работы естественного охлаждения, а именно изменение холодопроизводительности агрегата и его потребляемой энергии, зададимся номинальными условиями работы:

$$- T_{\text{выход}} = 7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$- T_{\text{вход}} = 12 \text{ } ^\circ\text{C};$$

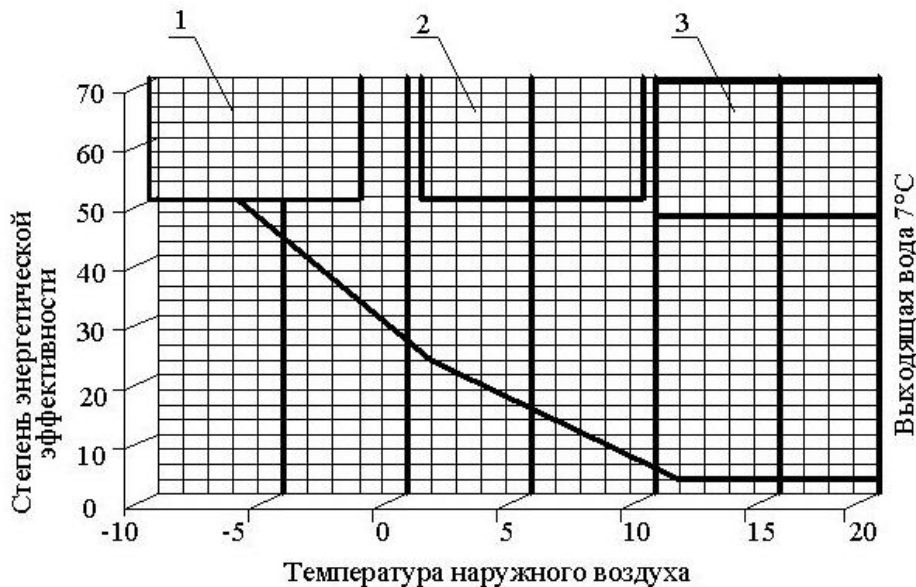
Номинальный коэффициент коррекции мощности равен 1 при  $T_{\text{окр.возд}} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

Результаты показаны на рис. 2 [4].

Потребляемая мощность резко снижается, когда температура воды в конденсаторе падает, в результате чего снижаются эксплуатационные расходы.

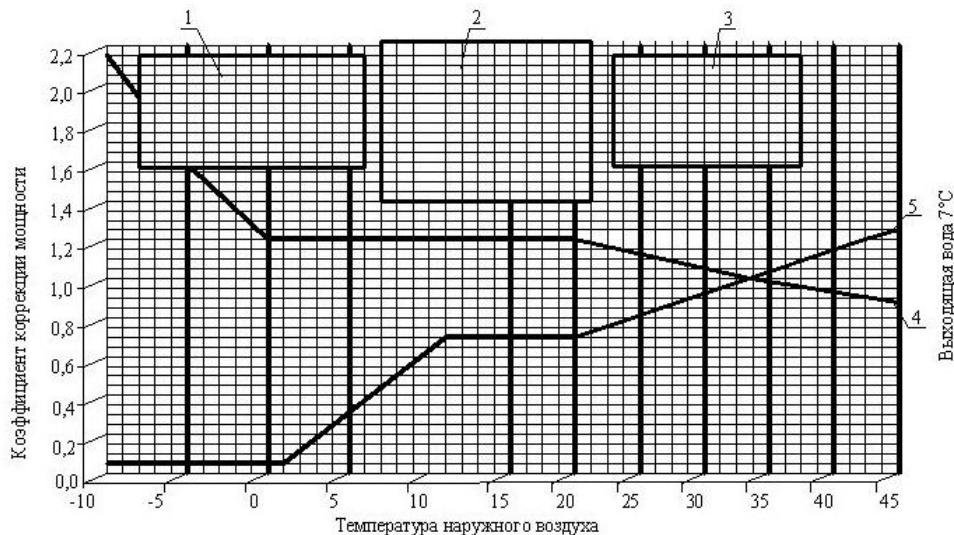
Таблица 2 – Коэффициент использования систем микроклимата, работающих на искусственном холоде, естественном холоде наружного воздуха и холоде от грунтового теплообменника

Город	Использование холодильной машины, сут.	Использование градирни как источник холода, сут.	Использование грунтового теплообменника, сут.	Коэффициент использования холодильной машины	Коэффициент использования градирни	Коэффициент использования грунтового теплообменника
Киев	122	115	128	0,33	0,32	0,35
Днепропетровск	106	121	138	0,29	0,33	0,39
Харьков	137	131	97	0,38	0,36	0,27
Донецк	143	115	107	0,39	0,32	0,29
Полтава	153	131	81	0,42	0,36	0,22
Луганск	132	146	87	0,36	0,4	0,24
Сумы	122	141	102	0,33	0,39	0,28
Симферополь	183	76	106	0,5	0,21	0,29
Ялта	194	-	171	0,53	0	0,47



1 – зона работы системы на естественном холоде наружного воздуха; 2 – зона работы системы с использованием испарителя холодильной машины и естественного холода наружного воздуха; 3 – зона работы системы с использованием испарителя холодильной машины

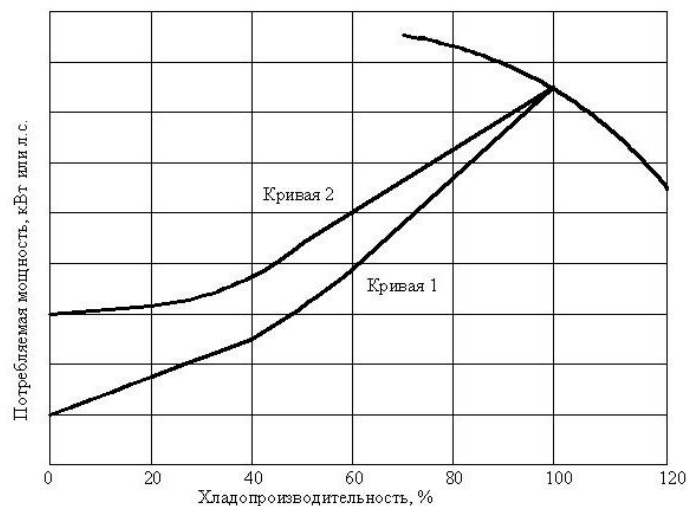
Рисунок 1 – Изменение степени энергетической эффективности в зависимости от изменения температуры наружного воздуха



1 – зона роботи системи на природному холоді зовнішнього повітря; 2 – зона роботи системи з використанням випарника холодильної машини та природного холоду зовнішнього повітря; 3 – зона роботи системи з використанням випарника холодильної машини; 4 – холодопродуктивність холодильного агрегату; 5 – споживана енергія холодильного агрегату

Рисунок 2 – Зміна холодопродуктивності холодильного агрегату та його споживаної енергії

Як показує крива 1 на рис. 3, здатність холодильної машини працювати при температурі води на вході в конденсатор до  $12,8^{\circ}\text{C}$  призводить до зниження споживаної потужності.



Крива 1 – типові робочі характеристики в режимі часткової навантаження; крива 2 – постійна температура води на вході в конденсатор

Рисунок 3 – Робочі характеристики в режимі часткової навантаження

Продуктивність паротурбинного привода забезпечує додаткову економію електроенергії в результаті можливості турбинного регулятора автоматично регулювати частоту обертання турбіни/компресора в відповідь на потрібний напір, щоб оптимізувати характеристики машини в со-

ответствии с положением лопаток, обеспечивающих предварительную закрутку потока в направлении вращения.

*Работа в режиме частичной нагрузки.*

Наиболее важной особенностью холодильных машин большой холодопроизводительности с точки зрения экономичной работы является их возможность работать в режиме частичной нагрузки.

Холодильные машины оборудованы эффективными полностью автоматическими регуляторами холодопроизводительности при работе в режиме частичной нагрузки.

Автоматическое регулирование байпасированием горячего пара в комбинации с использованием лопаток компрессора, обеспечивающих предварительную закрутку потока в направлении вращения (и в сочетании с регулированием частоты вращения с помощью паротурбинного привода), координирует работу машин в соответствии с требованиями к напору системы (в соответствии с температурой воды на входе в конденсатор), чтобы свести к минимуму эксплуатационные расходы.

Многоступенчатый компрессор с лопатками, обеспечивающими предварительную закрутку потока в направлении вращения, особенно эффективен в режиме частичной нагрузки в диапазоне холодопроизводительности от 50% до 100% и является наиболее важной компонентой в машинах большой холодопроизводительности. В общей с машиной системе регулирования смонтирован автоматический регулятор безопасности, работающий в режиме частичной нагрузки вплоть до 10%.

*Рабочие характеристики в режиме частичной нагрузки*

Типовые рабочие характеристики в режиме частичной нагрузки представлены кривой 1 на рис. 3. На рисунке показано снижение мощности (т.е. энергии) на валу компрессора при уменьшении требуемой нагрузки и перепаде температур воды в конденсаторе. Если требуется постоянное проектное значение температуры воды (обычно 30°C), тогда типовой является кривая 2 на рис. 3.

Ожидаемый экономический эффект зависит от процентного соотношения экономии холода (при использовании естественного холода наружного воздуха от 0,21 до 0,32 и холода грунта от 0,29 до 0,35) и требуемой производительности системы.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 2.04.05-91. – [Утверждены Государственным Комитетом Украины по делам градостроительства и архитектуры приказом от 27 июня 1996 г. N 117]. – Офіц. вид. – К.: КиевЗНИИЭП, 1996. – 89 с.
2. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – [Затверджено: накази Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 25.01.2013 р. № 24 та від 28.08.2013 р. №410, набрання чинності від 01.01.2014]. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 149 с.
3. Ляховецкая-Токарева, М.М. Повышение эффективности использования естественного холода в системах микроклимата: дисс.... канд. техн. наук: 05.23.03: защищена 30.10.13: утв. 17.01.14 / Ляховецкая-Токарева М.М. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2013. – 153 с.
4. “Free\_Cooling\_Concept.pdf. Free Cooling. Концепция «свободного охлаждения» AERMEC от 50 до 1600 кВт” [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://aer-union-msk.ru/assets/equipment\\_docs/](http://aer-union-msk.ru/assets/equipment_docs/). –

Загл. с экрана.

5. Анализ возможностей использования естественного холода в системах микроклимата / В.И. Большаков, В.Б. Скрыпников, М.М. Ляховецкая, Ю.В. Скрыпников // Холодильная техника и технология, 2009. - № 6. - С. 45-51.

6. Оценка энергоэффективности систем микроклимата с использованием искусственных и естественных источников холода / В.И. Большаков, В.Б. Скрыпников, М.М. Ляховецкая, Ю.В. Скрыпников // Холодильная техника и технология. – 2011. - № 3. - С. 7-12.

#### REFERENCES

1. State Committee of Ukraine for town planning and architecture (1996), *2.04.05-91: Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie* [2.04.05-91 Heating, ventilation and conditioning: Construction Norms and Regulations], KievZNIIEP, Kiev, UA.

2. Ministry of regional development, construction and housing and communal economy of Ukraine (2013), *V.2.5-67:2013: Opalennya, ventilyatsiya ta konditsionuvannya* [V.2.5-67:2013 Heating, ventilation and conditioning], Ministry of regional development, construction and housing and communal economy of Ukraine, Kiev, UA.

3. Lyakhovetskaya-Tokareva M. M. (2013), «Increase of efficiency of use of natural cold in systems of a microclimate», Ph.D. Thesis, 05.23.03, SHEE “PSACEA”, Dnepropetrovsk, UA.

4. «Free\_Cooling\_Concept.pdf. Free Cooling. The concept of "free cooling" of AERMEC from 50 to 1600 kW», Available at: [http://aer-union-msk.ru/assets/equipment\\_docs/](http://aer-union-msk.ru/assets/equipment_docs/), (Accessed 25 July 2014).

5. Bolshakov, V. I., Skrypnikov, V.B., Lyakhovetskaya, M.M. and Skrypnikov, Yu.V. (2009), «The analysis of opportunities of use of natural cold in systems of a microclimate», *Refrigerating Equipment and Technology*, no.6, pp 45-51.

6. Bolshakov, V. I., Skrypnikov, V.B., Lyakhovetskaya, M.M. and Skrypnikov, Yu.V. (2011), «Estimation of energy efficiency of systems of a microclimate with use of artificial and natural sources of cold», *Refrigerating Equipment and Technology*, no. 3, pp. 7-12.

---

#### Об авторе

*Ляховецкая-Токарева Марина Марковна*, кандидат технических наук, доцент кафедры отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ГВУЗ “ПГАСА”), Днепропетровск, Украина, postmaster@pgasa.dp.ua

#### About the author

*Lyakhovetskaya-Tokareva Marina Markovna*, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor in Department of Heating, Ventilation and Quality of Air Environment, Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnepropetrovsk, Ukraine, postmaster@pgasa.dp.ua

---

**Анотація.** Метою роботи є розробка та обґрунтування методів підвищення енергоефективності систем забезпечення мікроклімату, заснованих на використанні природного холоду. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати обґрунтування економічних переваги використання природного холоду в системах мікроклімату.

За нормативними даними була складена зведена таблиця з кліматичними властивостями за деякими містами України з метою визначення коефіцієнтів ефективності роботи систем кондиціонування та холодопостачання з використанням природного холоду зовнішнього повітря протягом року.

Наведені графічні залежності зміни ступеня енергетичної ефективності та коефіцієнта корекції потужності системи холодопостачання від температури зовнішнього повітря, що дозволяє оптимально використовувати природний і штучний холод в системах мікроклімату.

Очікуваний економічний ефект залежить від процентного співвідношення економії холоду (при використанні природного холоду зовнішнього повітря від 0,21 до 0,32 і холоду ґрунту від 0,29 до 0,35) і необхідної продуктивності системи.

Результати роботи використовуються у методичних вказівках «Рекомендації по використанню природного холоду в системах мікроклімату» і «Методика розрахунку системи охолодження води в контактних теплообмінних апаратах (форсунокових камерах) з урахуванням кліматичного районування України (параметрів зовнішнього повітря) і конструктивних осо-

близостей апаратів (форсунки двостороннього розпилу Ц2-7)».

**Ключові слова:** енергетична ефективність, енергозбереження, природний холод, системи мікроклімату, холодильні машини.

**Abstract.** The aim of this work is to develop and justify methods for increasing efficiency of systems of microclimate basing on the use of natural cold. To this end, it is necessary to prove economic benefits of using natural cold in the systems of microclimate.

Basing on the normative data a summary table was compiled with climatic conditions of some Ukrainian cities with the aim of determining efficiency coefficients for the air conditioning systems and refrigeration systems using natural outside cold air during the year.

The paper presents graphical dependences between changes of energy efficiency rate, factor of power correction for the cooling system and outside air temperature, which allow optimal using of natural and artificial cold in the microclimate systems.

An expected economic effect depends on the percentage of cold savings (when usage of natural cold from outside air is between 0.21 and 0.32 and cold from soil is between 0.29 and 0.35) and the desired system performance.

The results are used in "The Recommendations on Natural Cold Use in the Microclimate Systems" and "The Methods for Calculating Water Cooling Systems in the Open-Type Heat Exchangers (Nozzle Chambers) With Taking Into Account Climatic Zoning in Ukraine (Parameters of Outside Air) and Designs the Heat Exchangers (Bilateral Spray Nozzle C2-7)".

**Keywords:** energy efficiency, energy saving, natural cold, microclimate systems, refrigeration machines.

*Статья поступила в редакцию 5.01.2015*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько*