

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ЗБІРНИК ПРАЦЬ**

*XVII Міжнародної наукової конференції*  
**«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І  
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ТА  
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

*3-8 вересня 2018 р.*



**ОДЕСА  
2018**

Публікуються доповіді, представлені на XVII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (3 – 8 вересня 2018 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор  
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо  
Ю.О. Левтринська

## МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

<b>Єгоров</b> <i>Богдан Вікторович</i>	– голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
<b>Бурдо</b> <i>Олег Григорович</i>	– вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
<b>Атаманюк</b> <i>Володимир Михайлович</i>	– Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
<b>Васильєв</b> <i>Леонард Леонідович</i>	– Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
<b>Гавва</b> <i>Олександр Миколайович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
<b>Гумницький</b> <i>Ярослав Михайлович</i>	– Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
<b>Долинський</b> <i>Анатолій Андрійович</i>	– Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
<b>Зав’ялов</b> <i>Владимир Леонідович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
<b>Сукманов</b> <i>Валерій Олександрович</i>	– Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
<b>Колтун</b> <i>Павло Семенович</i>	– Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.
<b>Корнієнко</b> <i>Ярослав Микитович</i>	– Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
<b>Малежик</b> <i>Іван Федорович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
<b>Михайлов</b> <i>Валерій Михайлович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
<b>Паламарчук</b> <i>Ігор Павлович</i>	– Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
<b>Снежкін</b> <i>Юрій Федорович</i>	– Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік. НАН України
<b>Сорока</b> <i>Петро Гнатович</i>	– Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
<b>Тасімов</b> <i>Юрій Миколайович</i>	– Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
<b>Товажнянський</b> <i>Леонід Леонідович</i>	– Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
<b>Ткаченко</b> <i>Станіслав Йосифович</i>	– Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор
<b>Черевко</b> <i>Олександр Іванович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
<b>Шит</b> <i>Михайл Львович</i>	– Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.
<b>Сухий</b> <i>Константин Михайлович</i>	– ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», д. хім. н., професор

---

**СЕКЦІЯ 4.**

**ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ,  
ФАРМАЦЕВТИЧНИХ, ХІМІЧНИХ ТА ПАРФУМЕРНИХ  
ВИРОБНИЦТВ**

---

УДК 621.56

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЙ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА В СОВРЕМЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В.А. Потапов, профессор, доктор технических наук,  
Д.В. Белый, аспирант

Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков

## PROSPECTS OF CARBON DIOXIDE APPLICATIONS IN NEW REFRIGERATION SYSTEMS

V. Potapov, Professor, Doctor of Technical Sciences  
D. Bilyi, PhD student

Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine

**Анотація.** Рассмотрены особенности и теплофизические свойства углекислого газа. Проанализированы экологические и экономические показатели систем работающих на двуокиси углерода, приведены методы повышения эффективности систем, а также сравнительные характеристики при использовании традиционных гидрофторуглеродных и CO<sub>2</sub> хладагентов. Особенное внимание уделено энергоэффективности установок. Оценены массогабаритные показатели систем связанные с их производством и установкой. Показаны преимущества внедрения новых холодильных систем: сферы применения и возможного использования. Сопоставлена потребляемая мощность CO<sub>2</sub> систем в сравнении с R404a. Для сравнения расчетных экономических показателей разных холодильных систем на примере обычного магазина рассмотрена и проанализирована транскритическая холодильная система.

**Ключевые слова:** CO<sub>2</sub>, транскритическая система, каскадная система, энергоэффективность, природные хладагенты

**Abstract.** The features and thermophysical properties of carbon dioxide are considered. The ecological and economic indicators of systems working on carbon dioxide are analyzed, methods of increasing the efficiency of systems, as well as comparative characteristics with the use of traditional hydrofluorocarbon and CO<sub>2</sub> refrigerants are given. Particular attention is paid to the energy efficiency of equipments. Estimates of mass-size indicators of systems associated with their production and installation are analyzed. The advantages of introducing new refrigeration systems are shown: scope of application and possible use. The power consumption of CO<sub>2</sub> systems compared with R404a is compared. In order to compare the calculated economic indicators of different refrigeration systems, the transcritical refrigeration system was considered and analyzed on the example of a regular store..

**Keywords:** CO<sub>2</sub>, transcritical system, cascade system, high pressure, natural refrigerants..

**Постановка проблемы в общем виде.** В связи с мерами, предпринимаемыми мировым сообществом для сокращения производства и потребления озоноразрушающих веществ и парниковых газов, все большую популярность приобретают природные хладагенты: углеводороды, двуокись углерода и аммиак.

В декабре 1997 года к Рамочной конвенции ООН об изменении климата был принят Киотский протокол, который обязывает развитые страны и страны с переходной экономикой сократить или стабилизировать выбросы парниковых газов. Позднее, 15 октября 2016 года Стороны Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, приняли поправку Кигали о постепенном прекращении производства и потребления гидрофторуглеродов (ГФУ) во всем мире.

Одним из наиболее перспективных природных хладагентов, является двуокись углерода (углекислый газ, CO<sub>2</sub>). Он не обладает озоноразрушающей способностью, имеет низкий потенциал глобального потепления (ПГП=1), не воспламеняется, химически неактивен, отсутствуют ограничения на утилизацию и вторичное использование, является побочным продуктом от других производственных процессов [1].

**Цель статьи** дать сравнительную характеристику и проанализировать технико-экономические преимущества применения двуокиси углерода в качестве хладагента современных холодильных систем.

CO<sub>2</sub> содержится в атмосфере и биосфере Земли и имеет целый ряд преимуществ: низкая цена, простое обслуживание, совместимость с минеральными маслами, электроизоляционными и конструкционными материалами. Высокое критическое давление оказывает положительный эффект, связанный с низкой степенью сжатия, вследствие чего эффективность установки возрастает. Возможны применения двуокиси углерода в низкотемпературных каскадных и транскритических установках, тепловых насосах и системах кондиционирования воздуха [2].

Наибольшая энергоэффективность CO<sub>2</sub> систем отмечена при эксплуатации в умеренном и холодном климате и составляет около 10% в сравнении с R404A и около 5% - с ГФУ / CO<sub>2</sub>. Высокие рабочие температуры

после сжатия в транскритических холодильных системах создают возможность эффективного использования рекуператоров тепла для уменьшения потребления ископаемого топлива в целях теплоснабжения. В результате таких конструктивных решений достигается максимальная эффективность и минимизация выбросов CO<sub>2</sub>.

На практике многие системы с CO<sub>2</sub> имеют очень высокую холодопроизводительность, поскольку основными причинами этого являются пониженное энергопотребление и улучшенный теплообмен, который повышает COP системы. Поэтому у CO<sub>2</sub> в сравнении с традиционными хладагентами объемная холодопроизводительность в 6 раз выше (рис. 1) [3]

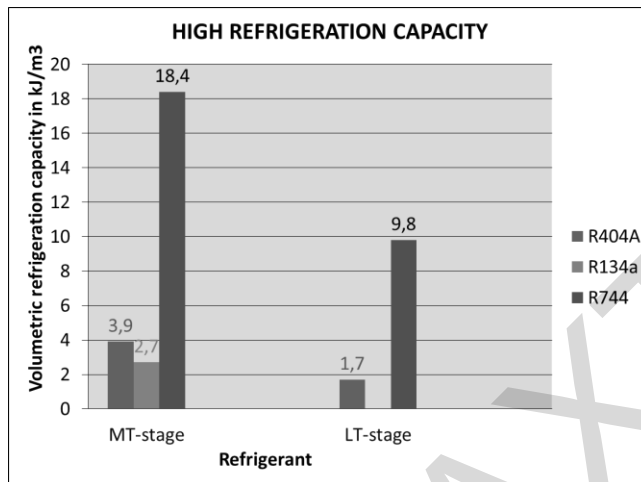


Рис.1. Сравнительная холодопроизводительность CO<sub>2</sub> систем и систем на традиционных холодильных агентах.

Современные холодильные системы на двуокиси углерода обладают высоким рабочим давлением, которое позволяет уменьшить массогабаритные характеристики установок: уменьшить размеры трубопроводов и количество заправляемого хладагента, что снижает стоимость расходных материалов и комплектующих, повысить компактность узлов установки, сократить время монтажа.

Двуокись углерода образуется естественным образом и является продуктом сжигания ископаемого топлива. CO<sub>2</sub> является побочным продуктом многих отраслей промышленности, легко доступен, поэтому его стоимость не высокая. CO<sub>2</sub> не имеет запаха при низких концентрациях, обладает слабым токсическим действием, слегка острым, кислотным вкусом.

Двуокись углерода используется в качестве сырья для производства различных химических веществ; рабочего материала в системах пожаротушения; карбонизации безалкогольных напитков; для замораживания пищевых продуктов, охлаждения мяса перед измельчением; охлаждения и поддержание идеальных атмосферных условий при транспортировке пищевых продуктов на рынок и т. д.

В тоже время системы на двуокиси углерода имеют тенденцию к более высокой стоимости по сравнению с традиционными системами в связи с использованием высоких давлений в транскритических системах или в связи с повышенной сложностью, как в транскритических так и в субкритических системах. Ввиду того, что количество систем с хладагентом CO<sub>2</sub> растёт, стоимость их постепенно приближается к уровню цен традиционных систем использующих ГФУ хладагенты.

Создание систем работающих на CO<sub>2</sub>, особенно в промышленном холодильном оборудовании, может оказаться менее дорогостоящим, чем их аналоги, использующие другие природные хладагенты, поэтому они предполагают меньшие первоначальные затраты и расходы при обслуживании [4].

Из всех вышеперечисленных факторов большую часть эксплуатационных расходов составляет потребление электроэнергии, учитывая динамику роста цен на энергоресурсы, который ежегодно составляет 2-11%. По эффективности системы на CO<sub>2</sub> превосходят на 10-30% установки с синтетическими хладагентами, так как большую часть года работают в области субкритических температур. На рисунке 2 показаны потребляемая мощность систем CO<sub>2</sub> в сравнении с R404a [1, 3].

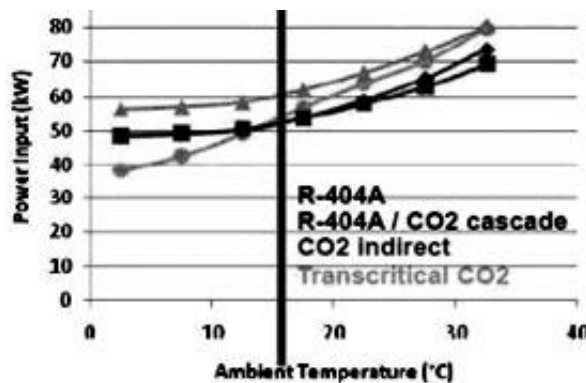


Рис. 2. Потребляемая мощность холодильных систем на CO<sub>2</sub> в сравнении с R404a

Для сравнения расчетных экономических показателей разных холодильных систем рассмотрим обычный магазин с работающей транскритической холодильной системой (табл. 1). Как видно из таблицы, транскритическая система на CO<sub>2</sub> за год показывает лучшие показатели энергопотребления [1].

Таблица 1 – Сравнение энергопотребления холодильного оборудования на разных хладагентах

Месяц	Энергопотребление R404a (TC const), кВт·ч	Энергопотребление R404a (TC var), кВт·ч	CO <sub>2</sub> , кВт·ч	Изменение энергопотребления (TC const), %	Изменение энергопотребления (TC var), %
Январь	69289,90	31553,60	17469,10	74,8	44,6
Февраль	62499,50	28437,60	15597,20	75,0	45,2
Март	69351,40	31614,60	18174,30	73,8	42,5
Апрель	60817,30	32927,50	25488,20	61,9	22,6
май	69983,80	40717,30	40572,40	42,0	0,4
Июнь	68687,00	45379,80	49593,30	27,8	-9,3
Июль	70821,40	48786,00	56031,80	20,9	-14,9
Август	70730,40	45475,70	49581,30	29,9	-9,0
Сентябрь	66903,60	36412,60	34064,60	49,1	6,4
Октябрь	69373,80	32697,70	24 322,30	64,9	25,6
Ноябрь	67253,71	30660,80	17782,30	73,6	42,0
Декабрь	68817,80	31319,90	17386,20	74,7	44,5
За год	820529,61	435963,10	36606100	55,4%	16,0%

**Выводы.** Таким образом учитывая постоянный рост цен на энергоресурсы и запрет в ведущих стран Европы на традиционные хладагенты, применение двуокиси углерода в современных холодильных системах является вполне обоснованным и перспективным.

Дальнейшие исследования будут направлены на энергетический мониторинг и анализ энергоэффективности холодильных систем работающих на CO<sub>2</sub>, изучение их конструктивных особенностей и эксплуатационных затрат.

#### Литература

1. Демонстрационный проект «Действующий макет холодильной установки на диоксиде углерода для магазина продуктового ритейла» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ozonprogram.ru>.
2. Гафуров Ш. Д., Карабаев А. С. Перспективы применения углекислого газа в холодильных машинах / Ш. Д. Гафуров, А. С. Карабаев: Молодой ученый. — 2017. — №7. — С. 46-48.
3. CO<sub>2</sub> – хладагент для Европейских ритейлеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.carrier-refrigeration.com>
4. Выбор хладагента сейчас и в будущем, Данфосс, 12 – 2010.
5. Ahmed Bensafi, Bernard Thonon (2007), «Transcritical R744 (CO<sub>2</sub>) heat pumps.», SHERHPA Technician's Manual, Vol. 72, October 2007.

<b>Ляпошенко О.О., Іванов В.О., Павленко І.В. Дем'яненко М.М., Старинський О.Є., Ковтун В.В. ...</b>	159
<b>СУЧАСНІ СЕПАРУВАЛЬНІ АПАРАТИ ДЛЯ ВИНОПРОДУКТІВ</b>	
<b>Ковалевський К.А., Валько М.І., Мамай О.І., Кузьміна Т.О., Яковенко Т.О. ....</b>	164
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ</b>	
<b>Бурдо О.Г., Зыков А.В., Мордынский В.П., Светличный П.И., Пур Д.Р. ....</b>	169
<b>СПОСІБ ПЕРЕРОБКИ ЯГІД ВИНОГРАДУВ НАТИВНОМУ СТАНІ</b>	
<b>Кепін М.І. ....</b>	175
<b>ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ БЛОЧНОГО ВИМОРОЖУВАННЯ</b>	
<b>Трішин Ф.А., Светлічний П.І., Трач О., Орловська Ю.В. ....</b>	180
<b>СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ В УМОВАХ МІНІ-ЦЕХІВ</b>	
<b>Осадчук П. І., Дударев І. І. ....</b>	185
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЙ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА В СОВРЕМЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ</b>	
<b>Потапов В.А., Белый Д.В. ....</b>	189
<b>СИРОВИННІ РЕСУРСИ ПТАХОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ</b>	
<b>Хомічук В.А., Усатенко Н.Ф. ....</b>	192
<b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАМЕСА ТЕСТА – ЗАДАЧИ И ОТВЕТЫ</b>	
<b>Янаков В.П. ....</b>	194
<b>РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЛАСТИФІКАЦІЇ МАСЕЛ І ЖИРІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ КОНДИТЕРСЬКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ</b>	
<b>Хомічук В.А., Гнядий А.В. ....</b>	197
<b>ИННОВАЦИОННОЕ ТЕПЛОМАССОБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ</b>	
<b>Грабова Т.Л., Шматок А.И., Посунько Д.В., Сильягина Н.Б., Степанова О.Е. ....</b>	199
<b>АПАРАТИ ДЛЯ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПОЛЕМ</b>	
<b>Бандура В. М., Яровий І.І., Маренченко О. І. ....</b>	204