



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ  
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

## **XII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ  
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

**27-28 вересня 2019 року**

**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ**



**ОДЕСА 2019**

УДК 621.565 (075.6)

**Сучасні проблеми холодильної техніки та технології** / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2019. – 229 с.

У збірнику наведені матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XII Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.  
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

**Голова наукового комітету** – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

**Заступник голови** – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

**Члени наукового комітету:**

Ванєєв Сергій Михайлович - Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Василенко Сергій Михайлович - Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор;

Железний В.П. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Лабай Володимир Йосипович - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. - д-р техн. наук, професор;

Мілованов В.І. - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор;

Морозюк Л.І. - д-р техн. наук, професор;

Потапов Володимир Олексійович - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Семенюк В.А. - к.т.н., директор НПФ «Терміон»;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Снежкін Юрій Федорович - директор Інституту технічної теплофізики, д.т.н., академік НАНУ

Ткаченко Станіслав Йосипович - д.т.н., професор Вінницького національного технічного університету;

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Щит Михайло Львович - к.т.н., пров. наук. спів. Інституту енергетики Академії Наук Молдови.

**ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Жихарєва Н.В., к.т.н. Когут В.Є., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С.

## ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

**110 РОКІВ ПРОФЕСОРУ ЧУКЛІНУ СЕРГІЮ ГРИГОРОВИЧУ (1909-1974)**

### **ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Н.И. Радченко, д.т.н., проф., Е.И. Трушляков, к.т.н., проф., А.Н. Радченко, к.т.н., доц.,  
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

### **АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;  
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.  
e - mail: info@krioprom.com.ua

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ**

Жихарева Н.В., к.т.н., доц., Одеська національна академія харчових технологій

<b>СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.</b>		стр.
19.	<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ РЕЖИМОВ В ПЛОТНОМ ПРОДУВАЕМОМ СЛОЕ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ</b>	68
20.	<b>АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АНОДНОГО БЛОКА МАГНЕТРОНА</b>	71
21.	<b>ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ХОЛОДОАГЕНТІВ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ІЗОТЕРМІЧНИХ НАПІВПРИЧЕПІВ THERMO-KING В УКРАЇНІ</b>	73
22.	<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЗАМКНУТЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С РАЗЛИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ</b>	75
23.	<b>ЕНЕРГЕТИЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОХВИЛЬОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОТРИМАННІ БІОПЕСТИЦИДІВ</b>	78
24.	<b>ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ ПІД ЧАС КОНДЕНСАЦІЇ ПАРИ У ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТРУБАХ</b>	80
25.	<b>ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ</b>	82
26.	<b>ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ</b>	85
27.	<b>КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ЗАСОБІВ СКОРОЧЕННЯ ВТРАТ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ ПРИ ЗБЕРІГАННІ</b>	88
28.	<b>ПІДВИЩЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ УКРАЇНИ</b>	90
29.	<b>ШТУЧНЕ ЗАМОРОЖУВАННЯ-ВІДТАВАННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД</b>	93
30.	<b>ПЕРСПЕКТИВНІ СХЕМИ І КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ОХОЛОДЖУЮЧИХ ЗЕРНОВИХ КОМПЛЕКСІВ</b>	95
31.	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ ЛАВРОВОГО ЛИСТА ЗРІДЖЕНИМ ГАЗОМ</b>	98
32.	<b>ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МАГНЕТРОНА</b>	100
33.	<b>СИСТЕМА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ДВОСТУПЕНЕВОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ АВТОНОМНИХ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ</b>	103
34.	<b>АНАЛИЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОСТУПЕНЕВОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ АВТОНОМНОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ</b>	105
35.	<b>ОХОЛОДЖЕННЯ ЦИКЛОВОГО ПОВІТРЯ СУДНОВОГО ДВИГУНА ЕЖЕКТОРНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ГАЗІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГОЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ</b>	107
36.	<b>ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ БЛОКІВ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ ТА РАДІУСІВ ЗОН МОЖЛИВИХ РУЙНУВАНЬ</b>	111

УДК 62-713.82/621.385

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АНОДНОГО БЛОКА МАГНЕТРОНА

**Титлов А. С., профессор каф. ТТТЕ ОНАПТ; Бошкова И. Л., профессор каф. ТТТЕ ОНАПТ;  
Волгушева Н. В., доцент каф. ТТТЕ ОНАПТ**  
[boshkova.irina@gmail.com](mailto:boshkova.irina@gmail.com)

Оптимальной системой обеспечения теплового режима магнетронов, которые входят в состав устройств для термообработки материалов при непрерывной и длительной работе, является система жидкостного охлаждения с замкнутым контуром циркуляции [1, с. 32]. Предлагаемая замена системы воздушного охлаждения на жидкостное для магнетронов малой мощности позволит стабилизировать температуру и повысить надежность работы устройства. При этом предполагается установка рубашки охлаждения непосредственно на анодный блок. Объектом исследования являлся магнетрон с выходной мощностью 1,0 кВт. При этом потребляемая мощность  $N_m=1200$  Вт. Мощность, которую необходимо отвести от анодного блока,  $Q=200$  Вт. Допустимая температура поверхности анодного блока  $t_a=100$  °С. Рубашка охлаждения крепится непосредственно на анодный блок. Анодный блок и рубашка охлаждения изготовлены из меди. Целью расчета является определение температур теплоносителя на входе и выходе из условия предельно допустимой температуры поверхности анодного блока магнетрона. В качестве теплоносителей принято к рассмотрению применение воды и 54 % водного раствора этиленгликоля. Вода используется для работы при температуре окружающей среды от 2 °С до 50 °С, а водный раствор этиленгликоля может применяться при отрицательной температуре окружающей среды. Теплофизические свойства этих теплоносителей хорошо известны, что позволяет проводить надежные тепловые расчеты.

Предварительно была произведена оценка вклада термических сопротивлений теплопроводности контактных пятен и воздушного зазора. Любые две поверхности, находящиеся в контакте, независимо от силы их сжатия, остаются удаленными друг от друга из-за их шероховатостей [2, с. 298]. Газ, жидкость, различные прокладки могут заполнять пространство между поверхностями, обеспечивая наличие между ними контактного теплового сопротивления (КТС). Теплота от одной из соприкасающихся поверхностей к другой в общем случае может передаваться теплопроводностью через пятна контакта и теплопроводностью через воздушную среду. Воздушная среда заполняет пространство между выступами и шероховатостями контактирующих поверхностей. Контактное термическое сопротивление определялось в следующей последовательности. Как показали расчеты, контактное термическое сопротивление  $R \approx 10^{-9}$  м<sup>2</sup>·К/Вт, что позволяет пренебречь его вкладом в процесс теплопередачи.

Одним из определяющих вопросов при проведении тепловых расчетов являлся выбор критериального уравнения для расчета коэффициента теплоотдачи. Поскольку подобные каналы до настоящего времени не исследовались, возникла необходимость изготовления экспериментального участка и проведения экспериментов. Измерения температур проводились на входе и выходе канала с помощью термопар хромель–алюмель ТП.ХА(К), предназначенных для контроля температуры жидких сред. Также измерялась температура поверхности анодного блока в трех точках, данные по которым затем усреднялись. Характеристики канала следующие: больший диаметр  $D_z=0,072$  м; меньший  $d=0,052$  м; длина  $h_z=0,04$  м. Диапазон изменения температуры теплоносителя  $t=50 \dots 100$  °С; объемный расход теплоносителя  $G=1,5 \cdot 10^{-4} \dots 2,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с.

В результате обработки экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость (1) для среднего коэффициента теплоотдачи в условиях вынужденного движения жидкости в кольцевом канале с закручивающимся потоком. При охлаждении модели анодного блока наблюдались вязкостные и переходные режимы движения.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_z}{\lambda_{ж}} = 0,22 \cdot Pe^{0,38} \cdot Ra^{0,1} \left( \frac{Pr_{ж}}{Pr_{см}} \right)^{0,25}, \quad (1)$$

где  $Ra$  – число Рэлея, рассчитываемое по эквивалентному диаметру канала;  $\lambda_{ж}$  – коэффициент теплопроводности жидкости;  $Pe$  – число Пекле. (в формуле нет такой переменной – вторая после коэффициента)

Предложенная зависимость учитывает особенности движения жидкости в рубашке охлаждения, в частности, закручивание потока приводит к интенсификации теплообмена.

Получено, что коэффициент теплоотдачи равен  $\alpha=2718$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) при использовании воды в качестве теплоносителя. При этом скорость теплоносителя в кольцевом канале составляла  $w=0,09$  м/с. Коэффициент теплопередачи с учетом термического сопротивления анодного блока равен  $k=2189$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Изменение температуры воды при прохождении через рубашку охлаждения:

$$\delta t = \frac{Q}{C_p \cdot G} = 1,04 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (6)$$

А средняя температура теплоносителя:

$$t_g = t_a - \frac{Q}{K \cdot F} = 88,5 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

где  $t_a$  – максимально допустимая температура поверхности анодного блока, °С.

Тогда температура воды на входе в рубашку охлаждения составит  $t'=88$  °С, а на выходе –  $t''=89$  °С. Расчет позволяет сделать вывод, что для нормальной работы магнетрона температура воды на входе в рубашку охлаждения не должна превышать 90 °С.

Получено, что при использовании 54 % водного раствора этиленгликоля в качестве теплоносителя коэффициент теплоотдачи равен  $\alpha=1282$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Изменение температуры теплоносителя при прохождении через рубашку охлаждения  $\delta t=1,2$  °С, коэффициент теплопередачи  $k=1151$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), средняя температура теплоносителя  $t_g=76$  °С. Для нормальной работы магнетрона температура водного раствора этиленгликоля на входе в рубашку охлаждения не должна превышать 75 °С.

Таким образом, применение воды увеличивает в 2,1 раз интенсивность теплоотдачи. Коэффициент теплопередачи с учетом термического сопротивления анодного блока при использовании воды равен  $k=2189$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), при использовании этиленгликоля –  $k=1151$  Вт/(м<sup>2</sup>·К): коэффициент теплопередачи увеличивается в 1,9 раза. Однако возможна работа микроволновых установок при отрицательных температурах окружающей среды, в этом случае возникает необходимость применения водных растворов этиленгликоля.

#### Список использованных источников

1. Pozar D. M. *Microwave Engineering* – 4-rd edition. – N.Y.: Wiley. – 2012. – 756 p.
2. M. Grujicic , C.L. Zhao, E.C. Dusel. The effect of thermal contact resistance on heat management in the electronic packaging/ *Applied Surface Science* . – 2005. – Vol. 246 2. – P. 290–302.