

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА  
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ  
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ  
ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ  
У МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ  
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ»  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)  
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)  
ГДАНСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)  
ЗАХІДНО-ПОМЕРАНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)  
КОШАЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)  
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАВІГАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ГРУЗІЯ)  
МОРСЬКЕ ІНЖЕНЕРНЕ БЮРО  
АТ «ЗАВОД «ЕКВАТОР»  
КОМПАНІЯ «АМІКО ГРУПП»  
ДП «ДЕЛЬТА-ЛОЦМАН»  
ТОВ "ЮСК СЕРВИС"  
ТОВ «ЕВЕРІ»

# ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

## МАТЕРІАЛИ

X міжнародної науково-технічної конференції

Том 2.

26 – 28 вересня 2019 р.

*Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
просп. Героїв України, 9 м. Миколаїв*

УДК 001.895:629.5  
И66

## ОРГАНІЗАТОРИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА  
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ  
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ  
ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ  
У МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ  
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ»  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)  
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)  
ГДАНСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)  
ЗАХІДНО-ПОМЕРАНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)  
КОШАЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)  
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАВІГАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ГРУЗІЯ)  
МОРСЬКЕ ІНЖЕНЕРНЕ БЮРО  
АТ «ЗАВОД «ЕКВАТОР»  
КОМПАНІЯ «АМІКО ГРУПП»  
ДП «ДЕЛЬТА-ЛОЦМАН»  
ТОВ "ЮСК СЕРВИС"  
ТОВ «ЕВЕРІ»

**Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.  
Претензії до організаторів не приймаються.**

**Відповідальний за випуск:**  
Блінцов Володимир Степанович

**И66** **Інновації** в судобудуванні та океанотехніці : Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції. у 2 томах. Т. 2. — Миколаїв : НУК, 2019. — 448 с.

**ISBN 978-966-321-370-5**

У збірнику наведені матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в судобудуванні та океанотехніці». Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

**УДК 001.895:629.5**

ISBN 978-966-321-370-5

© Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова, 2019

## Секція. 14. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РИБПРОМИСЛОВОГО ФЛОТУ ТА ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 621.575:620.91: 621.565.8

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ

*Титлов А.С., доктор технических наук, профессор<sup>1</sup>,*

*Цой А.П., кандидат технических наук, доцент<sup>2</sup>*

*Алимкешова А.Х.<sup>2</sup>, Джамашева Р.А.<sup>2</sup>,*

<sup>1</sup> Одесская национальная академия пищевых технологий; <sup>2</sup> Алматинский технологический университет

<sup>1</sup> Украина, Одесса; <sup>2</sup> Республика Казахстан, Алматы

<sup>1</sup> ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1908-5713>, <sup>1</sup> E-mail: [titlov1959@gmail.com](mailto:titlov1959@gmail.com),

<sup>2</sup> E-mail: [teniz@bk.ru](mailto:teniz@bk.ru)

**Аннотация.** *Выполнен анализ возможностей использовать ночное радиационное излучение (НРО) для дополнительного отвода тепла от элементов системы жидкостного охлаждения. Для повышения энергетической эффективности автономных систем охлаждения предложено использовать абсорбционные водоаммиачные холодильные машины и парокомпрессионные холодильные машины, которые позволяют в светлое время суток создавать запасы холода в системе холодоаккумуляции.*

**Ключевые слова:** *ночное радиационное охлаждение, солнечная абсорбционная водоаммиачная холодильная машина, охлаждение молока*

#### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на высокие темпы индустриализации и электрификации в современном мире, во многих странах имеется значительное количество территорий, где или отсутствуют источники электроснабжения, либо их качество неудовлетворительно.

Одним из таких примеров являются фермерские и крестьянские хозяйства, которые находятся в местах заготовки и первичной обработки продукции животного и растительного происхождения.

Особенно остро стоят проблемы качественного обеспечения первичной холодильной обработки мясных и молочных продуктов в соответствии с технологическими требованиями. И, если в регионах с холодным климатом можно еще использовать известные издавна технологии применения водного льда [1], то в странах с умеренным и тропическим климатом нужно применять только искусственное охлаждение.

Из всего спектра современного холодильного оборудования для решения задач автономного искусственного охлаждения наиболее эффективными, с энергетической точки зрения, во-первых, являются парокомпрессионные холодильные машины (ПКХМ), работающие от дизель-генераторов или солнечных батарей [2].

Во-вторых – теплоиспользующие абсорбционные холодильные машины, источником тепловой энергии для которых служат потоки нагретых газов или жидкостей [3, 4].

Как показал сопоставительный анализ, для условий работы в автономном режиме можно использовать только водоаммиачные абсорбционные холодильные машины (ВАХМ).

В последнее время, в связи с требованием энергоэффективности и сокращением времени использования синтетических холодильных агентов (фреонов) холодильным системам, наблюдается стабильный интерес к пассивным способам охлаждения. Одним из таких способов является охлаждение за счет радиационного излучения в космическое пространство.

Любая поверхность, обращенная к ночному небу, при определенных условиях может излучать больше тепловой энергии, чем получать обратно от окружающей среды [5]. Данный эффект носит название ночного

радіаційного охолодження (НРО) і за счет него можна підтримувати температуру теплоносія нижче температури оточуючого повітря.

Використання НРО в значительній ступені визначається особливостями клімату того або іншого регіону. В певних кліматических умовах холодильні системи, що використовують радіаційне випромінювання будуть працювати більш ефективно, ніж в інших. Вплив клімату на роботу систем даного типу досліджувалося в роботах [6–8].

Встановлено, що на можливість використання НРО впливають такі атмосферні параметри, як швидкість вітру, вологість повітря, прозорість атмосфери для інфрачервоного випромінювання в діапазоні від 8 до 13 мікронів [8].

Дослідження роботи холодильних систем, що використовують НРО, проводилися во многих регіонах планети з різними кліматическими умовами.

Це і північні райони Таїланду з вологим жарким кліматом [9] і Копенгаген, Милан, Афіни [10]. Вивчалися режими охолодження офісних приміщень в час теплого періоду року (з 1-го травня по 30-го вересня). Досліджена можливість охолодження матеріалу з фазовим переходом для накопичення холоду, створюваного при допомозі НРО.

В Австралії [11] вартість системи охолодження намагалися знизити шляхом поєднання системи НРО з сонячними батареями (фото-вольтажними панелями).

**Ціль дослідження** – розробити схеми і конструкції автономних систем охолодження на базі ПКХМ і АВХМ з використанням альтернативних відновлюваних і бросових джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **задачі**:

1. Розробити методику моделювання режимів АВХМ і провести аналітичні дослідження і аналіз отриманих результатів в широкому діапазоні робочих термодинамічних параметрів.
2. Розробити перспективні схеми автономних систем охолодження на базі ПКХМ і АВХМ з використанням альтернативних відновлюваних джерел енергії, в тому числі і з використанням технології НРО.

## МОДЕЛЮВАННЯ ЦИКЛІВ АБСОРБЦІЙНИХ ВОДОАМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН

Цикли АВХМ реалізуються в насосній і безнасосній схемі [12]. Насосні схеми мають більш високу енергетичну ефективність, але мають в своєму складі циркуляційний насос і не автономні. Безнасосні схеми автономні, але недостатньо ефективні. Робоче тіло насосних АВХМ – водоаміачний розчин (ВАР), безнасосних – ВАР з додаванням інертного газу (водорода).

Одною з особливостей АВХМ є взаємозалежність температур в характерних процесах циклу – температури гріючої середовища  $t_h$ , температури охолоджуючої середовища  $t_w$ , температури об'єкта охолодження  $t_{ob}$ . З трьох температур довільно можуть бути задані тільки дві [13].

Як показує практика, робота холодильної установки повинна забезпечувати заданий рівень охолодження ( $t_{ob}$ ), а сама установка працювати в відповідних кліматических умовах, тобто при заданній температурі охолоджуючої середовища  $t_w$  [13]. Тому, реальним параметром, який може змінюватися є тільки температура гріючого джерела  $t_h$ .

Для роботи з низькопотенціальними джерелами теплової енергії розроблено алгоритм розрахунку циклів АВХМ насосного типу.

При проведенні розрахунків циклів АВХМ була розроблена підсистема бібліотечних функцій термодинамічних і теплофізических властивостей чистого амміаку і ВАР, заснована на використанні стандартних функцій апроксимації (лінійної або сплайнової) системи MathCAD [14].

Вихідними даними для розрахунку є:

- а) температура охолоджуючої середовища  $t_w$ ;
- б) температура об'єкта охолодження  $t_{ob}$ ;
- в) перепади температур на елементах, які явно враховують умови теплообміну і недорекуперацію тепла:

$\Delta t_h$ , – перепад температур між слабким ВАР і гріючим джерелом тепла генератора;

$\Delta t_{WK}$ ,  $\Delta t_{WA}$ ,  $\Delta t_{WD}$  – температурний напір в конденсаторі, абсорбері, дефлегматорі з охолоджуючої середовища;

$\Delta t_{TO}$  температурний напір між потоками слабого і сильного ВАР на холодному кінці РТР;

г) холодопродуктивність випарника  $Q_0$ .

Варіюваним параметром є температура гріючого джерела тепла  $t_h$ .

Актуальність дослідження пов'язана з тим, що не всі режими роботи АВХМ можуть бути організовані при недостатньо високій температурі греючого джерела. Так, наприклад, рівень температур охолодження в іспарителі вимагає відповідного рівня тиску  $P_0$  і в іспарителі, і в абсорбері. Рівноважна температура крепкого ВАР в абсорбері  $t'_{кр,А}$  повинна бути вище температури охолоджуєчої середовища, щоб забезпечити відвод теплоти абсорбції. Масова частка аміака в крепком ВАР  $\xi'_{кр}$  визначається значеннями  $P_0$  і  $t'_{кр,А}$ , а для організації процесу абсорбції необхідна деяка зона дегазації – різниця масових часток аміака в крепком  $\xi'_{кр}$  і слабком  $\xi_{сл}'$  ВАР. В свою чергу масова частка аміака в слабком ВАР  $\xi_{сл}'$  визначається значеннями тиску конденсації-генерації  $P_0$  і температурою греючого джерела  $t_h$ .

Алгоритм пошуку робочих режимів АВХМ складається з наступного.

На першому етапі задавалися температури об'єкта охолодження  $t_o =$  мінус 30 °С; мінус 15 °С; мінус 5 °С.

Для кожного значення  $t_{об}$  проводився розрахунок з фіксованим значенням  $t_w$  з діапазоном 25...43 °С з кроком в 1 °С.

Для заданих значень  $t_{об}$  і  $t_w$  проводився розрахунок кратності циркуляції з змінною  $t_h$  з кроком в 1 °С.

В разі, якщо чисельні значення кратності циркуляції ВАР позитивні, то робиться висновок, що режим роботи АВХМ може бути реалізований, а в протилежному разі – режим роботи не існує.

Аналіз цих результатів показує, що АВХМ в системі з сонячним колектором на воді як теплоносія може знайти застосування тільки в системах кондиціонування повітря при температурі охолоджуєчої середовища не вище 36...37 °С.

Для роботи в системах охолодження з температурами до мінус 30 °С необхідна температура греючої середовища 140...150 °С.

Як показав аналіз при низьких температурах охолоджуєчої середовища і греючого джерела зона дегазації може мати негативні значення, т.е. цикл АВХМ не може бути реалізований.

Аналіз отриманих результатів розрахунку дозволяє зробити наступні висновки.

По-перше, в діапазоні розрахункових параметрів має місце максимум енергетичної ефективності АВХМ. Найбільш явним чином наявність максимуму для умов роботи при температурах охолоджуєчої середовища 20–32 °С і низьких температурах об'єкта охолодження (мінус 25 °С).

При зниженні температур об'єкта охолодження максимум енергетичної ефективності зміщується в область високих температур греючої середовища, а його чисельні значення зменшуються.

Так, наприклад, при температурі охолоджуєчої середовища 26 °С і температурі об'єкта охолодження мінус 5 °С максимум теплового коефіцієнта циклу має місце при температурі об'єкта охолодження 110 °С, при мінус 15 °С – при 120 °С, при мінус 25 °С – при 140 °С, відповідно значення теплового коефіцієнта складають: 0,53; 0,44; 0,34.

Аналіз результатів розрахунку показав, що такий хід розрахункових залежностей пояснюється наступним.

В області низьких температур греючої середовища (до максимуму теплового коефіцієнта) – високою кратністю циркуляції ВАР між генератором і абсорбером (від 6 до 112), яка обумовлена вузькою областю дегазації ( $\Delta\zeta=0,006...0,033$ ).

В області високих температур греючої середовища (після максимуму теплового коефіцієнта) – збільшенням частки води в паровому потоці водоаміачної суміші, що виходить з генератора. Так, наприклад, при температурі охолоджуєчої середовища 26 °С і температурі об'єкта охолодження мінус 5 °С частка пари води в суміші складає від 0,036 до 0,408, т.е. більше, ніж в 10 разів.

В першому разі мають місце додаткові теплопритоки в генератор з потоком крепкого ВАР.

Во другому разі, незважаючи на зниження кратності циркуляції ВАР, теплова навантаження в генераторі збільшується через додаткові енергетичні витрати на випарювання абсорбента – води. Зростання теплової навантаження дефлегматора при цьому також збільшується більше, ніж в 10 разів (при температурі охолоджуєчої середовища 26 °С і температурі об'єкта охолодження мінус 5 °С – від 0,024 кДж/кг до 2,200 кДж/кг).

Зменшення теплового коефіцієнта циклу АВХМ при зниженні рівня температур об'єкта охолодження пояснюється тим, що для таких режимів вимагається ВАР з підвищеною часткою абсорбента. Так, наприклад, при температурі охолоджуєчої середовища 26 °С зниження температури об'єкта охолодження від мінус 5 °С до мінус 25 °С вимагає зменшення частки аміака в слабком ВАР від 0,439 до 0,129. При цьому, незважаючи на зниження теплової навантаження генератора через зменшення кратності циркуляції рідини, опережаюче несприятливе вплив на енергетичну ефективність циклу АВХМ здійснює процес

дополнительного выпаривания пара воды из ВАР.

В расчетном диапазоне во всех случаях увеличение температуры греющего источника приводит к резкому уменьшению мощности циркуляционного насоса, перекачивающего крепкий раствор из абсорбера в генератор. Как показали расчеты, при температурах греющего источника от 90 °С до 130 °С (в зависимости от температуры охлаждающей среды) мощность циркуляционного насоса имеет максимальное значение. В дальнейшем с ростом температуры греющего источника наблюдается ее асимптотическое снижение и медленное уменьшение. Наибольшие изменения при этом происходит при повышенных температурах охлаждающей среды (32 °С). Такой ход зависимостей объясняется увеличением зоны дегазации в абсорбере при снижении массовой доли аммиака в слабом ВАР.

Таким образом, результаты моделирования позволяют определить наиболее энергетически выгодные режимы работы АВХМ с различными источниками тепловой энергии (температуры от 47 до 140 °С) и проводить разработку систем охлаждения для широкого диапазона температур охлаждения (минус 30...15 °С).

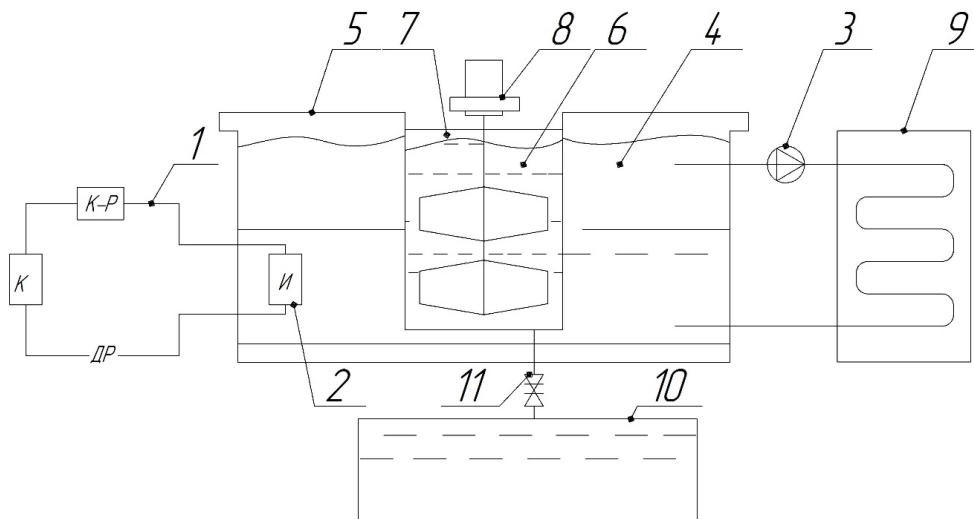
## РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА НОЧНОГО РАДИАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

### Система на базе ПКХМ

Рассмотрим для примера, технологию НРО в системе охлаждения молока на фермах (рис. 1).

В ночное время, когда отсутствует солнечная радиация, жидкий хладоноситель 4 с низкой температурой заморозки подается с помощью насоса 3 к теплорассеивающей панели 9. Панель 9 устанавливается под открытым небом и сбрасывает тепло в космическое пространство за счет радиационного инфракрасного излучения, а в атмосферный воздух за счет конвективного теплообмена. При отсутствии тепловой нагрузки температура хладоносителя и атмосферного воздуха выравнивается. При дальнейшей циркуляции наблюдается эффект НРО и хладоноситель охлаждается ниже температуры атмосферного воздуха до 5-10 °С [15].

Хладоноситель 4 далее поступает в бак-аккумулятор 5 и охлаждает бак 7 с молоком 6. Если хладоноситель 4 не может охладить молоко до требуемой температуры, то подключают ПКХМ 1. Испаритель 2 ПКХМ 1 охлаждает хладоноситель 4 и молоко 6 до нужной температуры. Мешалка 8 интенсифицирует процесс охлаждения молока 6. После охлаждения молока 6 до требуемой температуры, открывается запорный вентиль 11 и производится слив продукта в бак 10.



**Рис. 1.** Система охлаждения молока с использованием НРО и ПКХМ: 1 – ПКХМ, 2 – испаритель ПКХМ, 3 – насос хладоносителя, 4 – хладоноситель, 5 – бак-аккумулятор холода, 6 – молоко, 7 – емкость для молока, 8 – мешалка, 9 – теплорассеивающая панель, 10 – бак для охлажденного молока, 11 – запорный вентиль

При включении в схемы систем охлаждения ПКХМ необходимо оценить их энергетическую эффективность при работе в широком диапазоне температур атмосферного воздуха.

Следует оценить возможность применения разрешенных в настоящее время холодильных агентов для

умовий роботи ПКХМ в складі систем охолодження молока з ефектом НРО.

Для цього був виконаний розрахунок термодинамічних параметрів простейшого циклу ПКХМ без регенеративного теплообмінника і переохолодження рідини перед дроселюванням. При розрахунку використані робочі тіла ПКХМ: R134a; R717 (аміак); R22; R600 (ізобутан); R744 (CO<sub>2</sub>).

Температура кипіння робочих тіл ПКХМ приймалась рівною  $t_0 = 0$  °С, а температура конденсації варіювалась:  $t_k = 10; 20; 30; 40$  °С.

При розрахунку використовувався класичний алгоритм [16] з визначенням в характерних точках циклу температур, тисків кипіння ( $P_0$ ) і конденсації ( $P_k$ ) і розрахунку удельної холодопродуктивності ( $q_0$ ), удельної роботи стиснення в компресорі ( $l$ ), холодильного коефіцієнта ( $\epsilon$ ).

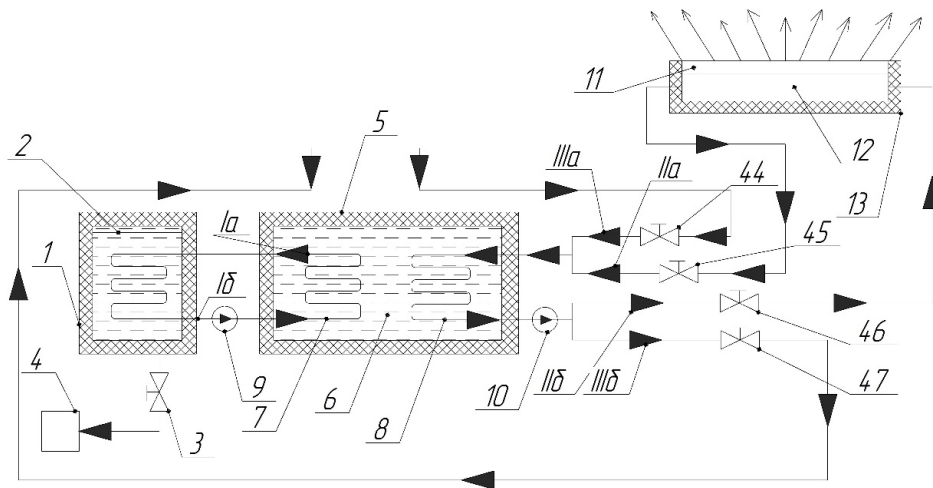
Аналіз результатів розрахунку показує, що:

а) зниження рівня температур атмосферного повітря з 40 °С до 10 °С благоприйнятно сказується на енергетичній ефективності циклів ПКХМ, так, в середньому має місце ріст холодильного коефіцієнта в 4-6 раз, а для аміаку – в 17,3 раз;

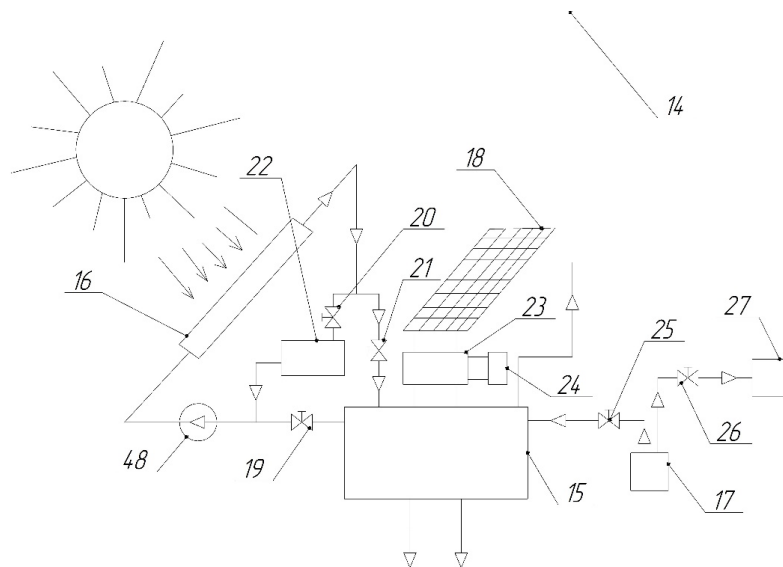
б) максимальна енергетична ефективність циклу ПКХМ серед розглянутих робочих тіл відзначена у аміаку.

### СИСТЕМА НА БАЗЕ АВХМ

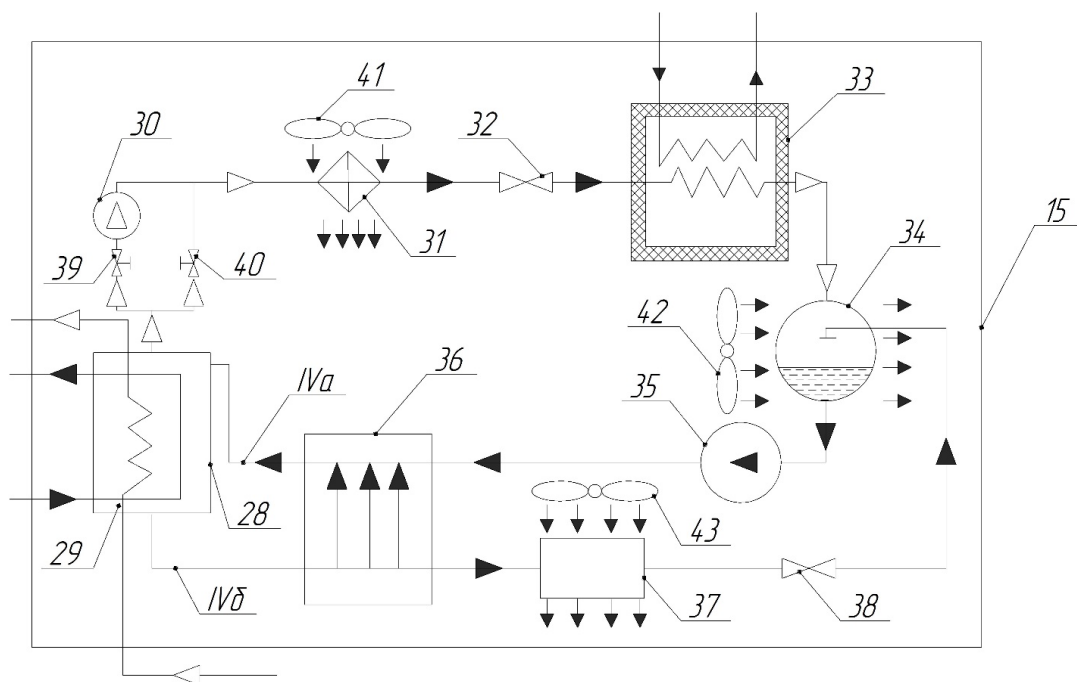
Система охолодження (рис. 2–4) містить теплоізолювану ємкість 1 з кришкою 2. В нижній частині ємкості 1 встановлений канал з запірним вентиляем 3 для періодичного відводу охолодженого продукту. Збір і зберігання охолодженого молока здійснюється в ємкості 4.



**Рис. 2.** Схема системи охолодження молока з теплорасеивающей панелю: 1 – ємкість з молоком, 2 – кришка, 3 – запірний вентиль, 4 – ємкість для молока, 5 – бак-акумулятор ледяної води, 6 – ледяна вода, 7 – теплообмінник з водою, 8 – теплообмінник з рассолом, 9 – циркуляційний насос ледяної води, 10 – насос для рассола, 11 – теплорасеивающая панель, 12 – система каналів, 13 – теплоізоляційне покриття, 44, 45, 46 і 47 – вентиля



**Рис. 3.** Система генерации искусственного холода: 14 – холодильная система, 15 – АВХМ, 16 – солнечный коллектор, 17 – генератор топочных газов, 18 – солнечные батареи, 19, 20 и 21 – запорные вентили, 22, 24 и 27 – потребители тепла, 23 – система преобразования постоянного тока, 25 и 26 – запорно-регулирующие вентили, 48 – циркуляционный насос



**Рис. 4.** Схема АВХМ с бустер-компрессором в составе системы охлаждения молока: 28 – генератор, 29 – ВАР, 30 – бустер-компрессор, 31 – конденсатор с воздушным охлаждением, 32 – дроссельное устройство жидкого аммиака, 33 – рассольный испаритель, 34 – абсорбер с воздушным охлаждением, 35 – циркуляционный насос крепкого ВАР, 36 – регенеративный теплообменник растворов, 37 – воздушный охладитель слабого ВАР, 38 – дроссельное устройство слабого ВАР, 39 и 40 – запорные вентили, 41, 42 и 43 – воздушные вентиляторы теплорассеивающих элементов АВХМ

Внутри емкости 1 по теплообменнику 7 циркулирует ледяная вода. Вход холодного потока расположен в верхней части (1а), а выход – в нижней части (1б) емкости 1. Система охлаждения содержит также бак-

аккумулятор ледяной воды 5 с теплоизоляционным покрытием. Бак 5 заполняется ледяной водой 6 с температурой, близкой к 0°C. Во внутреннем объеме бака-аккумулятора 5 установлены теплообменники 7 и 8.

По теплообменнику 7 при помощи насоса 9 циркулирует ледяная вода (потoki Ia и Ib), а по теплообменнику 8 при помощи насоса 10 циркулирует рассол – незамерзающая жидкость при температуре, близкой к 0°C.

Вход охлажденного потока рассола в бак-аккумулятор 5 (потoki IIa и IIIa) осуществляется в верхней части, а выход отепленного потока рассола (потoki IIб и IIIб) из нижней части.

Система охлаждения содержит теплорассеивающую металлическую панель 11. Панель 11 расположена либо горизонтально, либо с некоторым углом к горизонту. Верхняя часть панели покрыта краской светлых цветов. Панель 11 связана в тепловом отношении с системой каналов 12, по которым циркулирует потоки рассола Ia и Ib. Система каналов 12 и нижняя часть панели 11 закрывается теплоизоляционным покрытием 13.

В состав системы входит холодильная система на базе АВХМ 14 (рис. 3), предназначенная для охлаждения потоков рассола IIIa и IIIб. Управление потоками рассола IIa, IIб, IIIa и IIIб осуществляется при помощи запорных вентилях, соответственно, 44, 45, 46 и 47.

Холодильная система 14 содержит АВХМ 15 с системой подвода тепла от солнечного коллектора 16 и генератора топочных газов 17, а также систему автономного электрообеспечения на базе солнечных батарей 18 (рис. 4).

Система солнечного коллектора 16 содержит циркуляционный насос 48 и систему запорных вентилях 19, 20, 21 обеспечивающих подачу горячего теплоносителя как на АВХМ 15, так и на других потребителей тепла 22.

Система автономного электрообеспечения содержит систему преобразования постоянного тока 23 с возможностью подачи произведенной электрической энергии для других потребителей 24.

Генератор топочных газов 17 содержит систему запорно-регулирующих вентилях 25 и 26, обеспечивающих подачу потока продуктов сгорания к АВХМ 15 и к другим потребителям 27.

АВХМ 15 содержит генератор 28 с ВАР 29, бустер-компрессор 30, конденсатор с воздушным охлаждением 31, дроссельное устройство жидкого аммиака 32, рассольный испаритель 33, абсорбер с воздушным охлаждением 34, циркуляционный насос 35 крепкого ВАР (поток IVa), регенеративный теплообменник 36 крепкого и слабого ВАР, воздушный охладитель потока 37 слабого ВАР (поток IVб), дроссельное устройство слабого ВАР 38.

Для отсечения потока пара от бустер-компрессора 30 предусмотрены запорные вентилях 39 и 40.

Воздушное охлаждение конденсатора 31, абсорбера 34 и охладителя 37 осуществляется вентиляторами, соответственно, 41, 42 и 43.

Работа системы охлаждения молока на базе АВХМ осуществляется следующим образом.

Предварительно до начала охлаждения молока проводят «зарядку» (охлаждение) воды в баке-аккумуляторе 5. Для этого используют либо систему радиационного охлаждения – панель 11, либо холодильную систему 14. Соответственно закрывают вентилях 44 и 47 и открывают вентилях 45 и 46, или наоборот.

При достижении температуры ледяной воды до 1...2 °C включают насос 9 и прокачивают потоки Ia и Ib через охлаждающую полость емкости 1, а затем заполняют емкость 1 отепленным молоком. За счет теплообмена молоко охлаждается до температуры 4°C и охлажденный продукт при помощи запорного вентилях 3 сливают в емкость 4 для дальнейшего использования.

Далее цикл работы системы охлаждения повторяется.

Рассмотрим некоторые режимы работы установки для охлаждения молока.

#### **«Ночной» режим охлаждения молока.**

Для охлаждения рассола используется теплорассеивающая панель 11, обеспечивающая охлаждение рассола на 5...10 °C ниже атмосферного воздуха.

Такой режим охлаждения может быть эффективно использован в зимнее время и переходные периоды года (весна-осень) без холодильной системы.

Рассол при помощи насоса 10 прокачивается по теплообменнику 8 при открытых вентилях 46 и 45 и закрытых вентилях 44 и 47. За счет радиационного охлаждения пластины 11 производится охлаждение рассола в каналах 12.

В «ночном» режиме используется как естественный холод атмосферы Земли, так и радиационное излучение в космическое пространство, а электрическая энергия используется только для работы циркуляционного насоса 10.

**«Дневной» режим охлаждения молока.**

Используется холодильная система 14 при открытых вентилях 44 и 47 и закрытых вентилях 46 и 45. Рассол насосом 10 прокачивается через испаритель 33 АВХМ 15.

В «дневном» режиме охлаждения можно выделить два режима работы холодильной системы 14.

В первом случае используется только возобновляемый источник тепловой энергии – солнечное тепловое излучение.

В качестве приемника солнечного излучения используются наиболее широко распространённые и имеющие оптимальное соотношение цены и качества солнечные коллектора 16 с водой в качестве теплоносителя. Характерная их особенность – рабочий уровень температур не выше 100 °С.

При отсутствии потребности в искусственном холоде тепловой поток от солнечных коллекторов может быть переключен на других потребителей тепловой энергии 22 при открытом вентиле 20 и закрытых вентилях 19 и 21.

Рабочий уровень температур в генераторе традиционных АВХМ составляет 120...140 °С, что превышает располагаемый температурный потенциал теплоносителя-воды в солнечном коллекторе 16. В этой связи используется схема АВХМ с поджигающим бустер-компрессором 30 перед конденсатором 31. В схеме АВХМ 15 предусмотрена возможность отсечения бустер-компрессора 30 от парового потока запорным вентилем 39 при изменении температурных параметров подачи тепловой нагрузки в генератор 28.

Работа АВХМ 15 с солнечным коллектором 16 осуществляется следующим образом.

При подаче горячей воды от солнечных коллекторов в генератор 28 осуществляется кипение крепкого ВАР с выходом преимущественно легкокипящего компонента – аммиака. При подаче пара аммиака на бустер-компрессор 30 вентиль 39 открыт, а вентиль 40 закрыт.

Пар аммиака сжимается бустер-компрессором 30 и подается в конденсатор 31, где сжимается с отводом теплоты парообразования в окружающую среду. Отвод тепла фазового перехода из конденсатора 31 осуществляется при помощи вентилятора 41.

Сжиженный аммиак из конденсатора 31 через дроссельное устройство 32 поступает в испаритель 33, где давление его падает. Происходит низкотемпературное кипение жидкого аммиака с отводом тепла от циркулирующего потока рассола. Образующийся в испарителе 33 пар поступает в абсорбер 34, куда, в свою очередь, проходит слабый ВАР из генератора 28.

До поступления в абсорбер 34 слабый ВАР охлаждается в регенеративном противоточном теплообменнике растворов 36 и охладителе 37 и в результате становится ненасыщенным по аммиаку. В абсорбере 34 при контакте слабого ВАР с паром аммиака происходит процесс абсорбции – поглощение слабым ВАР пара аммиака. В результате слабый ВАР насыщается и становится «крепким» (насыщенным по аммиаку). В процессе абсорбции выделяется тепло, который отводится вентилятором 42 в окружающую среду. Крепкий ВАР из абсорбера насосом 35 через регенеративный теплообменник 36 подается обратно в генератор 28 и цикл далее повторяется.

Работа бустер-компрессора 30 и насоса 35 осуществляется за счет работы солнечной батареи 18 и системы преобразования и аккумулирования электрической энергии 23. Система 23 так же позволяет перераспределять, при необходимости, электрическую энергию для других потребителей 24.

При втором режиме работы холодильной системы 14 подача тепловой нагрузки в генератор 28 АВХМ 15 осуществляется отходящими продуктами сгорания с температурой 350...450 °С от генератора газов 17.

В этом случае может использоваться широкий ассортимент органических топлив: природный газ, пропан-бутан, бензин, керосин, уголь, дрова, торф и др.

Температурного потенциала потока продуктов сгорания достаточно, чтобы АВХМ 15 работала без участия поджигающего бустер-компрессора 30. В этом случае вентиль 39 закрыт, а вентиль 40 открыт.

Работа АВХМ 15 далее осуществляется приведенным выше способом.

Второй способ работы холодильной системы 14 реализуется в пасмурную погоду и в темное или сумрачное время суток.

Таким образом, разработанные схемы систем охлаждения позволяют с минимальными затратами сетевой электрической энергии и воды осуществлять первичное охлаждение молока. Наиболее перспективной областью применения таких систем станут крестьянские и фермерские хозяйства.

Полученные результаты в части применения альтернативных возобновляемых источников энергии позволили предложить новые технические схемы систем охлаждения, характеризующиеся минимальным потреблением электрической энергии.

Во-первых, это технология НРО. Она позволяет использовать в системах охлаждения не только

естественный низкотемпературный потенциал атмосферного воздуха, но и радиационное излучение в космическое пространство.

В холодное время года эта технология позволяет решать задачи охлаждения без участия холодильных машин.

В переходные и теплый период года к технологии НРО необходимо подключать системы искусственного охлаждения.

В светлое время суток – это солнечные коллекторы и солнечные батареи. Они позволяют осуществлять работу АВХМ с бустер-компрессором перед конденсатором на температурном уровне от 50 до 90 °С.

Круглосуточную работу АВХМ можно обеспечить за счет работы горелочного устройства практически любого типа с использованием, в том числе, отходов сельскохозяйственного производства.

Следует отметить и возможность АВХМ обеспечить широкий диапазон температур охлаждения (минус 30...15 °С), особенно при работе горелочного устройства.

Технология НРО, особенно в холодное время года, позволяет эффективно отводить тепло от конденсатора и использовать ПКХМ с минимальной мощностью компрессора. Так, при температуре конденсатора 10 °С имеет место рост холодильного коэффициента ПКХМ в 4-6 раз, а для аммиака – в 17,3 раза.

В отличие от аналогов маломощная ПКХМ может работать от солнечных батарей в светлое время суток и обеспечивать запас искусственного холода в специальном холодоаккумуляторе.

К проблемным техническим моментам предложенных схемных решений можно отнести следующее.

Во-первых, при пуске даже маломощной ПКХМ надо решать проблему пусковых токов. Современные электрические аккумуляторы не позволяют обеспечить запуск с токами, превышающими в 4–6 раз номинальные значения.

Решением проблемы может быть запуск от стационарной электросети с переходом на солнечные батареи.

Из-за незначительной мощности бустер-компрессора (до 100 Вт) в схеме предлагаемой АВХМ может быть использована конструкция с постоянным током, которая не имеет проблем с запуском.

При дальнейшем совершенствовании автономных систем охлаждения следует обратить внимание на технологию аккумулирования природного и искусственного холода.

Необходимо подобрать соответствующий материал и рассчитать, как габариты холодоаккумулирующей емкости, так систему теплообменников.

#### **Выводы**

1. Разработана методика моделирования режимов АВХМ и проведен анализ полученных результатов в широком диапазоне рабочих термодинамических параметров (температура окружающей среды – 17...47 °С, температура объекта охлаждения – минус 30...15 °С).

В основе методики лежит оригинальный алгоритм поиска минимально необходимой температуры греющей среды в зависимости от температур объекта охлаждения и охлаждающей среды реальной АВХМ. Показано, что при реализации традиционных циклов АВХМ имеются режимы с максимальной энергетической эффективностью в практических диапазонах температур охлаждающей среды (от 10 до 32 °С) и объектов охлаждения (от минус 25 до минус 5 °С). Для достижения таких оптимальных режимов необходимо соответствующая комбинация состава крепкого ВАР и температуры греющего источника.

2. Разработаны перспективные схемы автономных систем охлаждения на базе ПКХМ и АВХМ с использованием альтернативных возобновляемых источников энергии, в том числе и с использованием технологии НРО.

При разработке изучены особенности работы ПКХМ в условиях низких температур атмосферного воздуха (до 10 °С). Показаны значительные энергетические преимущества при работе конденсатора ПКХМ в условиях низких температурах атмосферного воздуха. В качестве рабочего тела ПКХМ рекомендован аммиак (R717), обеспечивающий максимальную энергетическую эффективность среди рассмотренных аналогов: R134a, R22, R600 (изобутан), R744 (CO<sub>2</sub>).

При работе в системах охлаждения АВХМ с солнечными коллекторами с водой, в качестве теплоносителя, предложена схема с бустер-компрессором перед конденсатором.

#### **Список литературы**

[1] Босин И.Н. (1993). *Охлаждение молока на комплексах и фермах*. М.: Колос.

[2] Перельштейн Б.Х. (2008). *Новые энергетические системы*. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-т.

- [3] Морозюк Л.И. (2014). Теплоиспользующие холодильные машины – пути развития и совершенствования. *Холодильна техніка та технологія*, 5(151), 23-29.  
doi:http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.5/2014.28695.
- [4] Титлов А. С., Сагала, Т. А., Артюх, В. Н., & Дьяченко Т. В. (2017). Анализ перспектив использования парожекторной и абсорбционной холодильных установок для охлаждения технологического газа и получения жидкого углеводородного топлива. *Холодильная техника и технология* 53(6), 11-18.  
doi:https://doi.org/10.15673/ret.v53i6.920.
- [5] Kimball B.A. (1985). Cooling performance and efficiency of night sky radiators. *Solar Energy*, 34, 1, Elsevier Science Ltd. Printed in the U.S.A., 19-33.
- [6] Цой А.П., Грановский А.С., Цой Д.А., Бараненко А.В. (2015). Влияние климата на работу холодильной системы, использующей эффективное излучение в космическое пространство. *Холодильная техника*, 1, 43–47.
- [7] Yong C. et al., (2015). Performance analysis on a building-integrated solar heating and cooling panel. *Renewable Energy*, 74, 627-632.
- [8] Zhiguang Zhou, Xingshu Sun, Peter Bermel. (2016). *Radiative cooling for thermophotovoltaic systems. Infrared Remote Sensing and Instrumentation XXIV*, San Diego, California, August 28, 2016.
- [9] Prommajak T., Phonruksa J., Pramuang S. (2008). Passive cooling of air at night by the nocturnal radiation in Loei, Thailand. *Int. J. Renew. Energy*, 3, 1, 33–40.
- [10] Eleftherios Bourdakos, Ongun B. Kazanci, Bjarne W. Olesen, F. Grossule (2016). *Simulation Study of Discharging PCM Ceiling Panels through Night - time Radiative Cooling*. ASHRAE Annual Conference, St. Louis, 2016.
- [11] Imroz Sohel M., Zhenjun Ma, Paul Cooper, Jamie Adams, Lloyd Niccol and Stefan Gschwander. (2014). *A Feasibility Study of Night Radiative Cooling of BIPVT in Climatic Conditions of Major Australian Cities*. Asia – Pacific solar research conference, November 2014.
- [12] Осадчук Е.А., Титлов А.С., С.Ю. Мазуренко С.Ю. (2014). Определение энергетически эффективных режимов работы абсорбционной водоаммиачной холодильной машины в системах получения воды из атмосферного воздуха. *Холодильна техніка та технологія*, 4, 54–57.
- [13] Титлов А.С. (2006). Научно-технические основы энергосбережения при проектировании холодильных аппаратов с абсорбционно-диффузионными холодильными машинами. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*, 29, 194–200.
- [14] Осадчук Е.А., Титлов А.С. (2011). Аналитические зависимости для расчета термодинамических параметров и теплофизических свойств водоаммиачного раствора. *Наукові праці ОНАХТ*, 39, 178–182.
- [15] Цой А.П., Грановский А.С., Мачуев Ю.И., Филатов А.С. (2015). Обзор проведенных экспериментальных исследований эффективного излучения холодильной системы в космическое пространство. *Вестник МАХ*, 3, 28–33.
- [16] Мартыновский В.С., Мельцер Л.З., Минкус Б.А. (1982). *Холодильные машины: справочник*. М.: Легкая и пищевая пром-ть.

Titlov A., Tsoy A., Alimkeshova A., Jamasheva R.

#### **Development of cooling systems for milk on the basis of renewable sources of heat energy**

**Text of the annotation.** The analysis of the possibilities of using nighttime radiation (NRA) for additional heat removal from the elements of the liquid cooling system was performed. To increase the energy efficiency of autonomous cooling systems, it was proposed to use absorption water-ammonia chillers and vapor compression chillers, which will allow to create cold reserves in the cold-accumulation system during daylight hours.

**Keywords:** night radiation cooling, solar absorption water-ammonia chiller, milk cooling

Тітлов О. С., Цой О. П., А. Х. Алімкешова А. Х., Джамашева Р. А.

#### **Розробка систем охолодження молока на базі поновлюваних джерел теплової енергії**

**Текст анотації.** Виконано аналіз можливостей використовувати нічний радіаційне випромінювання (НРО) для додаткового відводу тепла від елементів системи рідинного охолодження. Для підвищення енергетичної ефективності автономних систем охолодження запропоновано використовувати абсорбція водоаміачних холодильні машини і парокompресійні холодильні машини, які дозволять в світлий час доби створювати запаси холоду в системі холодоакумуляції.

**Ключові слова:** нічний радіаційне охолодження, сонячна абсорбційна водоаміачних холодильна машина, охолодження молока

## Секція № 12. ПРАВОВІ ІННОВАЦІЇ

|  |     |
|--|-----|
| <i>Сандюк Г.О.</i> Місце інституту арешту морських суден у системі права України.....  | 314 |
| <i>Дмитриченко І.В., Дмитриченко Д.І.</i> Прилегла зона України: міжнародно-правова основа та національне законодавство.....                           | 318 |
| <i>Джулай Г.Г.</i> До питання про звільнення за власним бажанням.....  | 324 |
| <i>Мороз Н.С., Савіна О.Ю.</i> Підвищення безпеки праці на високотехнологічних виробництвах України.....   | 327 |
| <i>Патлайчук О.В., Тищенко Л.С.</i> Справедливість як основна складова норми права, щодо дотримання основоположних прав людини.....                    | 329 |
| <i>Lomzhets Yuliia</i> Law applicable to an international contract.....  | 331 |
| <i>Панченко С.В., Сандюк Г.О.</i> До питання арешту морських суден як засобу забезпечення позову у цивільному та господарському процесі в Україні..... | 334 |
| <i>Петрущенко І.Л.</i> Основні новели кодексу України з процедур банкрутства.....  | 338 |
| <i>Федоренко Т.Н.</i> Проблема міжнародно-правового регулювання процесу урбанізації.....   | 341 |

## Секція № 13. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОЗВИТОК МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Харитонов Ю.М., Фатеев М.В.</i> Формирование регионального кластера судостроения.....  | 345 |
| <i>Голенишин В.В., Харитонов М.Ю., Варшамов А.В.</i> Использование систем аккумуляции тепловой энергии для судовых гибридных энергетических установок.....          | 348 |
| <i>Казарезов А.Я., Хачатуров Э.Б., Балынский Д.М.</i> Выбор типа временного перехода через водную преграду.....   | 351 |
| <i>Кузнецов В.Ю., Галь А.Ф.</i> Перспектива применения новой технологии перемещения крупногабаритных массивных грузов морем.....                                    | 354 |
| <i>Казарезов А.Я., Донченко М. В.</i> Расчет траектории движения судна на неустановившейся циркуляции.....  | 356 |
| <i>Дармосюк І.Л.</i> Гідроізоляційні матеріали Пенетрон.....  | 360 |
| <i>Казарезов А.Я., Олійник Р.М.</i> Совершенствование системы управления работой городского пассажирского транспорта.....   | 363 |
| <i>Галь А.Ф., Вдовенко Н. М.</i> Технологія застосування спеціалізованого причалу для перевалки морських вантажних контейнерів у морі.....                          | 366 |
| <i>Казарезов А.Я., Медведенко О.С.</i> Вдосконалення зовнішньоекономічної діяльності автомобільного транспорту.....   | 369 |
| <i>Ключник Л. В., Галь А.Ф.</i> Проект інформаційної системи морського порту.....   | 371 |
| <i>Казарезов А.Я., Донченко М. В.</i> Інформаційні аспекти забезпечення безпеки судна на морі.....  | 374 |
| <i>Казарезов А.Я., Барабанова Ю.Є.</i> Методи оплати праці та формування команди на підприємствах транспортної логістики.....                                       | 379 |
| <i>Голенишин В.В., Харитонов М.Ю., Варшамов А.В.</i> Дополнительные преимущества комбинированного теплового аккумулятора для систем предпускового прогрева ДВС..... | 381 |
| <i>Олійник Р.М.</i> Особливості використання ІТ-аутсорсингу в роботі транспортних компаній.....   | 383 |
| <i>Фоменко Г.В., Подаєнко М.Ю.</i> Управление коммуникациями в инфраструктурных энергетических проектах.....  | 386 |

## Секція № 14. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РИБОПРОМИСЛОВОГО ФЛОТУ ТА ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

|   |     |
|---|-----|
| <i>Титлов А.С., Цой А.П., Алимкешова А.Х., Джамашева Р.А.</i> Разработка систем охлаждения молока на базе возобновляемых источниках тепловой энергии.....           | 390 |
| <i>Білецький Е.В., Петренко О.В.</i> Теоретичні аспекти визначення енергії дисипації при течії ньютонівських рідин в каналах холодильних та кліматичних систем..... | 400 |