

Авторефер  
Ф 53

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

---



*На пресах рукопису*

♦ І Д І Н Сергій Олександрович

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ І СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ  
ПРИСТРОЇВ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОГО ЛЬОДУ**

Спеціальність 05.04.03 - Холодильна та криогенна техніка,  
системи кондиціонування

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
доктора технічних наук

Одеса - 1996



*На правах рукопису*

♦ І Л І Н Сергій Олегович

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ І СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ  
ПРИСТРОЇВ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОГО ЛЬОДУ**

Спеціальність 05.04.03 - Холодильна та кріогенна техніка,  
системи кондиціонування

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
доктора технічних наук

xv 1022

ІНСТИТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
Бібліотека

Одеса - 1996

## Дисертація є рукописом

Робота виконана в Одеській державній академії холоду

Науковий консультант - доктор технічних наук, професор  
В.А.НасрОфіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
В.І.Мілованов  
доктор технічних наук  
А.Л.Вайнер  
доктор технічних наук  
Г.Р.КудрицькийПровідні організації - Державна академія легкої  
промисловості України  
КБ торговельного машинобудування  
ВАТ "ТОМАК" (м.Київ)Захист відбудеться " 24 " лютого 1997 р. у 11 год. на  
засіданні спеціалізованої вченої ради Д.05.20.01 при Одеській державній  
академії холоду ( 270100, м.Одеса, вул. Дворянська, 1/3 ).

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОДАХ.

Автореферат розісланий " 11 " 01 1997 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради  
д.т.н., професор

В.О.Календар'ян

Вих. № \_\_\_\_\_

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** В зв'язку з невпинним зростанням потреби у харчовому льоді і охолоджених з його допомогою напоїв у побуті, офісах, у галузі громадського харчування, медицині та інших галузях непромислового споживання гостро постає питання про створення та організацію серійного виробництва адекватних міні-машин для готування харчового льоду у основних його видах: кубиковий (кусковий), лускоподібний, гранульований.

Міні-льодотехніка настільки молода підгалузь холодильної техніки, що її власна теоретична база у вигляді підручників, монографій, нормативно-технічної документації і т.і. ще тільки формується, а специфічність методів і засобів виготовлення харчового льоду у міні-льодогенераторах не дозволяє у повній мірі скористатися багатим теоретичним і практичним досвідом, накопиченим у галузі промислового виробництва льоду.

Так, до останнього часу були відсутні ґрунтовні систематизовані дослідження теплофізичних процесів, що відбуваються у цих апаратах, серед яких найбільший практичний інтерес уявляють заморожування і відтавання у чаруночних формах і на складних поверхнях. Білою плямою можна вважати дослідження швидкодії перехідних і динамічних режимів роботи льодогенераторів, взаємного впливу системи охолодження і об'єкту заморожування, тобто самого льоду на параметри льодогенератору і ряд інших проблем і питань. Наслідком цього є відсутність науково обґрунтованих принципів проектування міні-льодогенераторів, рекомендацій що до раціонального вибору типу льоду, типу холодильної машини, типу відтавання та інших ключових моментів будови і роботи льодогенератора, що в решті гальмує створення і впровадження нових високоєфективних пристроїв.

Стрімке нарощування протягом останнього десятиріччя виробництва дешевих термоелектричних джерел холоду ( дані - модуліз ) відкрило принципово нові можливості створення компактних, швидкодіючих і конкурентноспроможних по відношенню до компресійних аналогів термоелектричних міні-льодогенераторів - ТЕЛ, проте водночас вимагає розробки теорії цих пристроїв, нових схемних і конструктивних рішень.

Особливість даної роботи полягає у тому, що, не зважаючи на конкретність і навіть вузькість практичного застосування міні-льодогенераторів, як предмета дослідження, як то здається на перший погляд, вивчення процесів, що відбуваються у них, потребує залучення відомостей із суміжних (наприклад, теплотехніка, гляціологія, пряме перетворення енергії, харчові технології), і досить далеких від холодильної техніки галузей наукових знань, оскільки задачу інтенсифікації процесів виробництва льоду і створення високоєфективних апаратів неможливо вирішити без застосування останніх

досягнень фізики, техніки і технології у самому широкому їх осягу. В окремих главах роботи присутні елементи електрофізики льоду, магнітні і гідралічні ефекти, технологічні питання виробництва елементів льодогенераторів. Через те, що для України міні-льодогенератори є відносно новим класом пристроїв, суто технічні проблеми їх створення і удосконалення не можна вирішувати у відриві від соціально-економічних і медичних аспектів використання льоду, загальних питань культури споживання охолоджених напоїв. Таким чином, вперше знята спроба системно осягнути і вирішити весь комплекс питань, пов'язаних з виробництвом і споживанням штучного харчового льоду, є актуальною задачею холодильної техніки.

**Мета роботи і задачі дослідження** Мета роботи - розробка і експериментальне дослідження методів і засобів інтенсифікації процесів виробництва харчового льоду в міні-льодогенераторах і створення на їх базі інженерної методики проектування високоєфективних міні-льодогенераторів і ряду нових технічних рішень. Ця мета досягається вирішенням наступних задач: теоретично і експериментально дослідити процес льодоутворення у чаруночних формах різної конфігурації із застосуванням установок і різних джерел холоду - компресійної, термоелектричної і комбінованої холодильної машини, визначити їх вплив на швидкість та енергетику міні-льодогенератора; розробити інженерну методику розрахунку міні-льодогенераторів, що об'єднує розрахунок холодильної машини і розрахунок льодоутворення у чаруночних формах; розробити і експериментально дослідити метод прискореного пошарно-підйомного намерозування льоду; розробити концептуальні засади і експериментально дослідити можливість та ефективність використання різних фізичних ефектів як: інтенсифікатора процесів виробництва льоду, зокрема, ефекта збільшення об'єму води при кристалізації, накладення зовнішніх магнітних і електричних полів, акумуляції холоду в елементах міні-льодогенератора та інших; розробити ефективні системи проектування міні-льодогенераторів із застосуванням теорії рішення визначільних задач (ТРВЗ) і розробленої структурної матриці нових технічних рішень; розробити нові технології приготування льоду з особливими фізичними і смаковими якостями.

**Ідея роботи** полягає в створенні теорії прискореного одержання харчового льоду в міні-льодогенераторах та її практичній реалізації.

**Методи дослідження** Аналітичне дослідження можливостей теплових і конструктивних схем пристроїв і способів одержання харчового льоду, експериментальне і розрахунково-експериментальне дослідження процесів кристалізації і відтавання у чаруночних формах та на випуклих поверхнях при використанні різних систем охолодження, експериментальне дослідження динамічних, енергетичних та інших характеристик розроблених міні-льодогенераторів та їх вузлів.

**Достовірність одержаних результатів** базується на використанні апробованих і загальноприйнятих методів досліджувань і підтверджується збігом розрахункових та експериментальних даних, порівнянням здобутих результатів з даними інших досліджень.

#### **Основні наукові положення, що закріплюються у роботі**

1. При аналізі та створенні інженерних методів розрахунку процесів льодоутворення у циклічно працюючих міні-льодогенераторах залежність Плана як базову модель можна використовувати при умові обов'язкового урахування залежності у часі температури і холодовидатності системи охолодження, а також приросту об'єму та змінення форми льоду, що спричинені ефектом розширення води при замерзанні.

2. Основними шляхами інтенсифікації процесів льодоутворення у чарунках і на випуклих поверхнях міні-льодогенераторів, переслідуючих мету збільшення їх швидкості і продуктивності в умовах відсутності запасу холодовидатності системи охолодження, є:

- зменшення еквівалентної товщини льоду шляхом використання способу ППН і дискретних режимів заливки у поєднанні з періодичною тепловим відтаванням, а також шляхом оптимізації форми чарунки і льоду за допомогою орієнтованих формозадаючих установок;

- використання фізичних ефектів розширення води при замерзанні, накладення зовнішніх електричних та магнітних полів, акумуляції холоду у зероторах та інших елементах конструкцій міні-льодогенераторів.

3. У циклічно працюючих міні-льодогенераторах об'єктом інтенсифікації і оптимізації крім процесу намерозування є такі фази роботи як заливка, попереджувальне охолодження води, відтавання та виїмання льоду з форм.

4. Крім того, автор зазначає:

- експериментальні залежності динаміки льодоутворення у чаруночних формах;

- нові схемні рішення і методи проектування міні-льодогенераторів.

**Наукова новизна** полягає у створенні теоретичних засад та одержанні необхідних експериментальних даних для розрахунку і проектування міні-льодогенераторів харчового льоду. Вперше поставлена і вирішена задача комплексного розрахунку швидкості міні-льодогенератора з чаруночною льодоформою, що базується на використанні модифікованої формули Плана і вантажних характеристик джерела холоду. Вантажні характеристики компресійної і термоелектричної систем охолодження вперше зведені до єдиного узагальненого лінійного виду і уведені до основної розрахункової залежності процесу льодоутворення. Запропонований принципово новий спосіб прискореного пошарово-підйомного намерозування в термоелектричних льодогенераторах, розрахунковим шляхом і експериментально досліджена його ефективність. Розроблені і відтворені у макетних та дослідних



взірнях оригінальні конструкції міні-льодогенераторів, за допомогою яких експериментально досліджені закономірності теплофізичних процесів, що відбуваються у них, взаємний вплив елементів та вузлів міні-льодогенератора один на одного і вплив зовнішніх діючих факторів на характеристики міні-льодогенератора. Одержані автором теоретичні, експериментальні і практичні результати, основна частина яких є новою, у купі з науковими положеннями дозволяють теоретично узагальнити і вирішити вагомую наукову проблему, що має важливе народно-господарське значення і забезпечує прискорення науково-технічного прогресу.

#### Основні наукові результати

1. Створена теорія наморозжування льоду у чарунках і на випуклих поверхнях, що враховує взаємний вплив охолоджувача та об'єкту охолодження, дозволяє у комплексі вирішувати задачі розрахунку і оптимізації міні-льодогенераторів.

2. Розширені і уточнені уявлення про динаміку процесу заморожування та інших стадій одержання кускового льоду у чаруночних формах. Встановлено, що стадії переохолодження води і спонтанної об'ємної кристалізації у чарунках міні-льодогенераторів, що спостерігаються при малих темпах охолодження, не виявляють істотного впливу на загальну тривалість заморожування і можуть не враховуватися у інженерних розрахунках.

3. Проведені теоретичні і експериментальні дослідження показали, що діапазон застосування термоелектричних охолоджувачів може бути розширений у область продуктивностей 0,5...2 кг льоду на годину, у якій розроблені ТЕЛ перевершують компресійні за масо-габаритними і техніко-економічними показниками.

#### Практична цінність полягає у наступному:

1. Розроблені і впроваджені в практику інженерія методика розрахунку швидкодії і продуктивності міні-льодогенераторів з чаруночною льодоформою.

2. Розроблені створені і експериментально досліджені оригінальні конструкції міні-льодогенераторів різного призначення, визначені напрямки та основні засоби їх подальшого удосконалення; запропоновані методи і засоби інтенсифікації процесів одержання льоду, нові способи прискореного наморозжування і технології приготування льоду з новими споживчими якостями.

3. Розроблена методика оптимального проектування міні-льодогенераторів.

4. Вперше у СНД налагоджене серійне виробництво термоелектричного міні-льодогенератора.

**Реалізація результатів.** Результати проведених досліджень використані при проведенні дослідно-конструкторських робіт (понад 10), що виконані під науковим керівництвом та за безпосередньою участю дисертанта у МНВКП "Льодотехніка", ДКГБ "Укрторгтехніка", ВНДІЕМ НВО "Веста", ААНВФ "Метопром". Розроблені розрахункові методики, методи і засоби інтенсифікації, схемні і технічні рішення, рекомендації по проектуванню, які реалізовані у вигляді комплектів конструкторської документації, використані при розробці та підготовці виробництва компресійних і термоелектричних міні-льодогенераторів в ДКБ торговельного машинобудування ВАТ "ТОМАК" (м. Київ), ЛДКБ "Символ" (Росія, м. Санкт-Петербург), ТПП "Модуль" (м. Київ), МПП "ТехноКоя" (м. Київ), АТЗТ "Астраханський машинобудівний завод "Прогрес" (Росія), Гомельському радіозаводі (Білорусь). Методика аналізу новизни та ефективності технічних рішень у сфері виробництва харчового льоду у вигляді структурної матриці "Льодогенератори харчового льоду" використовуються у НДІДПЕ (м. Москва) при державній науково-технічній експертизі винаходів. Розрахункові методики і програмне забезпечення передані для використання у навчальному процесі в Технологічному інституті ІТА (Марокко). Нові способи і технології виготовлення харчового льоду з додатками та особливими якостями використовуються при експлуатації міні-льодогенераторів на деяких підприємствах громадського харчування м. Києва.

**Апробація роботи.** Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на ХУ-ХУІІ науково-технічних конференціях молодих вчених ІТТФ АН УРСР (м. Київ, 1984-1986 рр.), ХХХ Всесоюзному семінарі по методам прямого перетворення теплоти у електроенергію (м. Київ, 1983 р.), республіканській школі-семінарі "Застосування ексергетичних методів в енергетиці, технології та на судовому транспорті" (м. Севастополь, 1984 р.), Всесоюзній школі молодих вчених і спеціалістів "Сучасні проблеми енергетики" (м. Звенигород, 1986 р.), ІУ-й Всесоюзній школі-семінарі по термоелектриці (м. Яремча, 1986 р.), Всесоюзнім науково-технічним семінарі "Проблеми технокріології в різних галузях промисловості" (м. Пенза, 1987 р.), Республіканському семінарі "Методи прямого перетворення енергії" (м. Київ, 1989 р.), 57-й науково-технічній конференції ОТХП (1988 р.), семінарі "Проблеми кріотехнології" (м. Одеса, 1988 р.), Всесоюзній конференції "Лід-1992" (м. Санкт-Петербург), УІ-й і УІІ-й Міжнародних школах по термоелектриці (м. Чернівці, 1994 р., м. Київ, 1996 р.).

Мініатюрний термоелектричний льодогенератор "Льодок-3" (ЛІНТ-0,15) удостоєний заохочувальної премії на Всесоюзному конкурсі "Прометей" (м. Свердловськ, грудень 1990 г.).

**Публікації результатів.** За темою дисертацій опубліковано 62 роботи, в тому складі одержано понад 40 авторських свідоцтв та патентів, включно і патент НДР.

**Особиста участь автора** полягає в постановці і розробці основної ідеї дисертації, в постановці і рішенні основних задач роботи теоретичного, експериментального та прикладного характеру. Безпосередньо автором проведені аналітичні дослідження, розроблені математичні моделі, розрахункові методики і програмні засоби їх реалізації, розроблені лабораторні установки і методики дослідження, одержані та оброблені експериментальні дані. Автору належать основні положення більшості опублікованих у співавторстві статей та ідеї сумісних винаходів, а також проведені в дисертації аналіз і узагальнення результатів цих робіт.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, шести глав, основних висновків, списку використаних джерел ( 258 найменувань ) і додатків, вміщує 194 сторінки машинописного тексту, 92 малюнок, 17 фотографій та 15 таблиць.

#### Зміст роботи

У вступі наведений стислий історичний екскурс розвитку техніки і технології виробництва харчового льоду, загальна оцінка сучасного стану льодотехніки в Україні. Обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і задачі дослідження, вказана наукова новизна, основні результати та практична цінність роботи.

**Розділ 1.** Огляд сучасного стану теорії і практики виробництва штучного харчового льоду

Проблеми виробництва харчового льоду розглянуті у розділі у трьох площинах: 1) *харчовий лід* (його види, фізичні властивості, споживч. якості, сфери використання), 2) *технічні засоби одержання харчового льоду* (автономні компресійні та термоелектричні міні-льодогенератори, побутові холодильники), 3) *методи розрахунку процесів льодоутворення* у чаруночних формах і на різних поверхнях взагалі і зокрема в льодогенераторах.

Харчовий лід, що використовується для охолодження страв та напоїв у різних його видах (кусовий, лускоподібний, гранульований) давно став невідомою частиною побутового комфорту населення більшості розвинених країн світу. Це стосується не тільки сфери громадського харчування, але й споживання льоду у побуті, офісах, в медицині та інших сферах непромислового використання. Хоча споживання льоду на душу населення зростає щороку і в нас, проте відставання України у цій галузі, як і інших країн СНД, величезне.

Перший підрозділ присвячений комплексному аналізу техніко-технологічних, соціально-економічних і медичних аспектів споживання харчового льоду. Крім суто огляду, він вміщує результати, що одержані автором у галузі дослідження ринку споживання льоду, аналіз ступеня готовності українського ринку в порівнянні зі світовим до впровадження у повсякденне практичне застосування міні-льодогенераторів, як основного технічного засобу одержання різних видів харчового льоду.

Технічні проблеми створення і удосконалення міні-льодогенераторів не можливо вирішувати окремо від вивчення ринку споживання льоду, розробки нових технологій і рецептур льоду, загальних питань культури споживання охолоджених напоїв. В цих умовах принципово важливою є необхідність паралельно з новими науково-технічними розробками вести активну маркетингову політику, якомога повніше розкрити перед потенційним споживачем усі переваги споживання напоїв та страв з льодом, усі можливості використання льоду в інших корисних для людини цілях. Без чіткого розуміння - який по виду і якості потрібен лід, в чому єдність і специфіка, яка є структура споживання льоду в основних сферах його використання - неможливо коректно поставити задачу по формуванню науково-технічної політики в галузі малої льодотехніки. З цим пов'язано і уточнення об'єкту дослідження, а саме зміщення акцентів в бік розглядання процесів одержання *кусового льоду у чаруночних формах*.

На світовому ринку зараз домінують компресійні міні-льодогенератори, переважно торговельного призначення продуктивністю від 1 до 5 кг льоду на годину. Лідерами з їх виробництва є фірми Італії (5 фірм виробляють близько 20 моделей), США, Великої Британії та Японії. Не дивлячись на тенденцію до збільшення потужності найменш продуктивних серед міні-льодогенераторів - вмонтованих у побутові багатокамерні холодильники, компресійні льодогенератори повністю не перекривають увесь діапазон продуктивностей в області міні-машин. Нішу, що утворилася, займають термоелектричні машини.

Світовий досвід вказує на те, що різноманітні методи і засоби удосконалення конструкцій і процесів, які притаманні великим промисловим льодогенераторам, частіше не спрацьовують в пристосуванні до мініатюрних машин з-за прояви т.зв. масштабного фактору, а вирішення задачі мініатюризації супроводжується погіршенням питомих характеристик. Велика розбіжність останніх по моделях різних фірм (мал.17) непрямо свідчить про слабку наукову підтримку цих розробок.

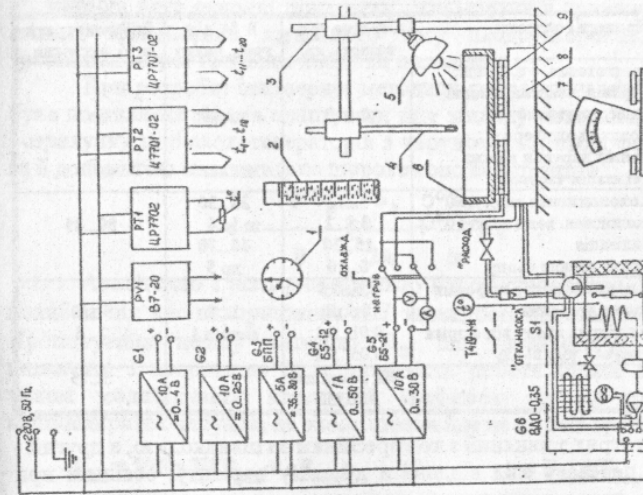
Особливістю міні-льодогенераторів, і в першу чергу термоелектричних, як правило, є відсутність в них запасу холодопродуктивності. Екстенсивний шлях збільшення їх пвидкодії та продуктивності за рахунок нарощування потужності джерела холоду в такому випадку не є прийнятним і доцільним. Тому необхідно знаходити і залучати інші шляхи і засоби вирішення цієї задачі.

Оснoву аналiзу i проєктування льодогенераторiв складає розрахунок процесiв заморожування i вiдтавання. Вiдомi методи розрахунку льодогенераторiв можна звести до трьох основних пiдходiв до розгляду процесу наморозування льоду: 1) моделi, започаткованi на ексергетичному баланси; 2) моделi, що базуються на полумпiричному уявленнi про теплообмiн; 3) моделi з рiшенням задачі Стефана. Останнi подiляються на полумпiричнi рiшення та рiшення чисельними методами.

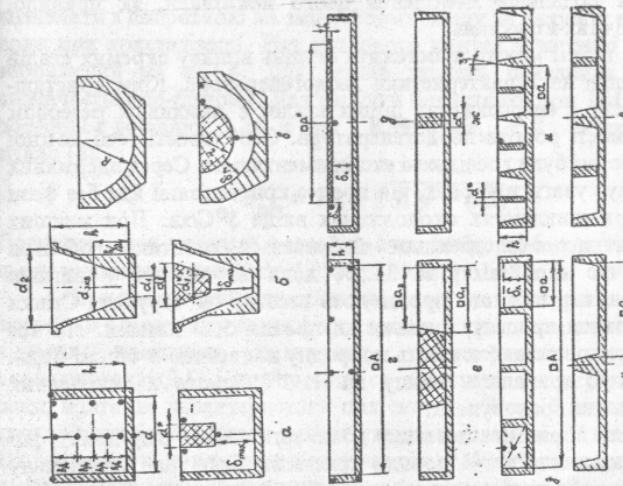
Вагомий внесок у створення i розвиток теорiї наморозування зробили працi Л.С.Лейбензона, О.Г.Ткачова, Н.А.Бучко, I.М.Шаталiной, Г.І.Сморiгiна, Г.В.Дерев'яно. Найбiльш загальне рiшення задачі Стефана стосовно до наморозування льоду вiдомо як залежнiсть Планка. Самим Планком та його послiдовниками - Дж.Тейлером, А.Лондом i Б.Себаном, Д.Г.Рютовим, В.А.Бобковим та iншими було одержано багато модифiкацiй цього рiшення для окремих випадкiв, але саме у виглядi (1) формула була рекомендована Мiжнародним iнститутом холоду як фундаментальна й найдоцiльнiша для розрахунку заморожування плодoовочевої продукцiї. Перехiд вiд задачі наморозування на плоскiй стiнцi до рiшення об'ємних задач базується на використаннi коефiцiєнта форми, що корегує еквiвалентну товщину льоду. Однак згаданий коефiцiєнт прив'язаний до випадку всебiчного заморожування, i точнiсть розрахункiв з його використанням спадає по мiрi вiдхилення об'єкту заморожування вiд правильних геометричних форм. У вiдомих роботах не зчиненi спроби врахувати специфіку заморожування у вiдкритих i напiввiдкритих формах i чарунках, рiдко зустрiчається прив'язка розрахунку заморожування до розрахунку холодильної машини. Крім того, мiнi-льодогенераторам властива нестійкiсть у часі температури джерела холоду i вiдповiдно спряженої з ним льодоформи на протязі всього процесу кристалiзацiї i цикла в цiлому (мал.3). В зв'язку з цим застосування вiдомих методик при iнженерному розрахунку мiнi-льодогенераторiв дає неприпустимо великі похибки.

## Роздiл II. Динаміка i енергетика льодоутворення у чаруночних формах

Експериментально досліджені динамічні режими роботи мiнi-льодогенераторiв з рiзними системами охолодження: компресійною, термоелектричною та комбiнованою. Усі системи спиралися по черзi з однією i теж чаруночною льодоформою при однакових початкових i зовнiшніх умовах i з можливістю варіацiї холодовидатковостi. Маючи на увазі загальну тривалiсть льодоутворення, компресійна система має значну перевагу у швидкодiї перед термоелектричною (наприклад, 14 хв. проти 24 хв.), а комбiнована перевершує компресійну тiльки при певному співвiдношенні потужностей каскадiв, зокрема, коли теплове навантаження на один модуль не перевершує 50 Дж/К. Якщо аналiзувати два виконання термоелектричної



Мал.2. Схема універсального експериментального стенду для дослідження процесів льодоутворення i випробування мiнi-льодогенераторiв.



Мал.1. Схеми дослідних льодоформ i розташування у них термонар



Стадії роботи міні-льодогенератора з чаруночною льодоформою

Табл. 1

Стадії роботи	Процеси і операції	Середня тривалість, хв.	В % від трив. циклу	Енерговитрати в % від загал.
1. Заправка	1.1. Водопідготовка, в т.ч. складі: фільтрація, очистка, омагнічування, дозування 1.2. Підготовка льодоформи 1.3. Заповнення чарунок водою 1.4. Герметизація чарунок	0,1...3	до 10	до 5
2. Льодоутворення	2.1. Поверх. охолодження води до 0°C 2.2. Переохолодження води нижче 0°C 2.3. Кристалізація 2.4. Переохолодження льоду	5...12 0,5...2 15...30 0...10	25...30 1...4 60...70 до 5	80...85
3. Віддача льоду	3.1. Відкр. чарунок, поворот форми 3.2а. Теплове відтавання 3.2б. Механ. відірв льоду від форми 3.3. Випуск льоду і збір льоду	0,1...0,5 0,6...2 0,01...0,1 0,05...0,2	1...8 менше 1	3...10 2...6
4. Зберігання льоду		Від 3 год. до 3...5 діб		5...15

системи, перший з котрих зрівняний з компресійним за швидкістю, а другий - за потужністю, то перевагу слід віддавати другому варіанту, оскільки при цьому собівартість термоелектричного льодогенератора стає нижчою, ніж компресійного. З одержаних результатів слідує, що тривалість циклу 25 хв. (при  $T_{\text{охр}} = 20^\circ\text{C}$ ) можна вважати оптимальною для ТЕП з однобічним наморожуванням, а подальше зменшення цього показника, як правило, недоцільно з економічних міркувань.

За допомогою табл. 1 можна простежити ступінь впливу окремих стадій процесу льодоутворення на характеристики льодогенератора. Крім кристалізації, скорочення часу і енерговитрат інших стадій є важливим резервом збільшення ефективності роботи льодогенератора. Особливості течії кожної фази в чаруночній формі були досліджені експериментально. Серед одержаних результатів заслуговує уваги той факт, що процес кристалізації йде без фази переохолодження при швидкостях охолодження вище  $3^\circ\text{C}/\text{хв}$ . При менших швидкостях успіх за переохолодженням відбувається спонтанна об'ємна кристалізація, під час якої замерзає 3...5% води в чарунці у вигляді вертикальних льодових стінок, що пронизують весь об'єм чарунки. Стінки зберігаються не до кінця процесу, а тільки на протязі 5...7 хвилин. На час свого існування вони повністю блокують природну конвекцію в об'ємі води, що в решті збільшує тривалість циклу на 1...2%, проте в інженерних розрахунках це можна не враховувати.

Не дивлячись на порівняно невелику долю загального часу циклу, що припадає на фазу відтавання, воно, поряд з кристалізацією, грає вирішальну роль в ефективності роботи льодогенератора. Якщо механічне відтавання

більшою мірою визначає конструктивні особливості виробу, то теплове впливає на його основні показники. Збільшення її тривалості небезпечно не стільки збільшенням загального часу льодоутворення, скільки різким зростанням втрат готового льоду на плавлення.

При розробці інженерної методики розрахунку міні-льодогенераторів була поставлена задача адаптувати вже згадану залежність Планка (1) до розрахунку міні-льодогенераторів з чаруночними льодоформами і досягнути за її допомогою максимально широке коло конструкцій.

$$\tau = \frac{r \rho \delta_{\text{л}}}{\theta} \left( \frac{\delta_{\text{л}}}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right); \quad (1)$$

Аналітично і експериментально було встановлено, що лівова частка похибки під час використання цієї залежності вноситься членами:  $\delta_{\text{л}}$  і  $\theta$ . Пропонується перепу величину  $\delta_{\text{л}}$ , що характеризує форму чарунки, визначати з поправкою на ефективність роботи бічної поверхні й таким чином модифікувати класичний коефіцієнт форми для відкритих та напіввідкритих чарунок, де охолодження йде не по всіх гранях.

$$\delta_{\text{л,к}} = V/F = V/(F_{\text{бок}} + \varepsilon F_{\text{бч}}); \quad (2) \quad \varepsilon = F_{\text{бок}}/(F_{\text{бок}} + F_{\text{бч}}); \quad (3)$$

Поправка  $\varepsilon$  уявляє собою відношення бічної поверхні до суми цієї і вільної (неохолоджуваної) поверхні чарунки і залежить тільки від її геометрії.

Другу товщину  $\delta_{\text{л}}$ , що характеризує термічний опір шару льоду, слід визначати з поправкою на зміну форми льоду за рахунок ефекту розширення води при кристалізації. Ріст льодового конуса у чарунці вгору схематично зображений на мал. 4. Для різних значень показника форми поправка визначається по-різному. Для чарунки без уставки при  $h/d_{\text{л,к}} < 0,39$  поправка постійна і дорівнює 1,24, а при  $0,39 < h/d_{\text{л,к}} < 2$  поправка визначається згідно (4).

$$\delta_{\text{л,к}} = r/2 + \sqrt{(h_{\text{л}})^2 + (r/2)^2} \quad (4)$$

Приміром, для типових форм, де  $h=r$ ,  $h=2r$ ,  $h=4r$ , еквівалентна товщина льоду відповідно становить 1,055r, 1,193r та 1,582r.

При врахуванні нестійності у часі температури льодоформи виникає потреба в розрахунку вантажних характеристик систем охолодження. На базі відомих часткових вантажних характеристик термоелектричного охолоджувача (5,6) і компресійного холодильного агрегату (8,9) одержані повні вантажні характеристики цих систем (7 та 10 відповідно). Вперше ці характеристики наведені у вигляді єдиної залежності (11) холодовидатності від температур, пов'язаних емпіричними коефіцієнтами, які є постійними для кожного типу термоелектричних модулів та серійних холодильних агрегатів.



$$Q_0 = Q_{0\max} - c_A \Delta T; \quad (5) \quad \Delta T' = A + B T_r; \quad (6)$$

$$Q_0 = c_A \Delta T_{\max} [1 - (1 - \Pi_{\max})^{1+C_1}] - c_r (T_r - T_0) - c_A (T_r - T_x); \quad (7)$$

$$Q_0 = Q_0^* - c_A (T_r - T_x); \quad (8) \quad Q_0^* = Q_{0\max} - c_r (T_r - T_p); \quad (9)$$

$$Q_0^* = k_{p,x} Q_{0\max} - c_A (T_r - T_x) - c_r (T_r - T_p); \quad (10)$$

$$Q_0 = Q_0^* - c_A (T_r - T_x) \quad (11)$$

Наступний етап розрахунку базується на тому, що характер зниження температури льодоформи під час процесу кристалізації практично в усіх випадках і з достатньою точністю може бути апроксимований лінійною залежністю температури у часі. Тому в формулі Планка відносна температура замінюється на середньарифметичне значення різниці температур на початку і наприкінці процесу. Невідома величина  $T_x$  - температура льодоформи наприкінці кристалізації - знаходиться з рівняння (13) нерозривності теплового потоку під-стірка з урахуванням згаданих вантажних характеристик. В решті для випадків плоскої стінки (14) та чарунки (17) одержані універсальні співвідношення, що встановлюють зв'язок поміж усіма основними параметрами міні-льодогенераторів.

$$\tau_z = \frac{r \rho_x \delta_x}{0,5[(T_0 - T_x) + (T_0 - T_r)]} \cdot \frac{\delta^*}{2\lambda_x}; \quad (12)$$

$$F(T_0 - T_x) \lambda_x \delta = Q_{\text{пр}}; \quad (13)$$

$$\text{або: } k(T_0 - T_x) = Q_0^* - 0,5c_A(2T_r - T_x - T_0), \quad \text{де } k = F\lambda_x/\delta^*.$$

$$\tau_z = \frac{r \rho_x \delta_x \delta^*}{k T_0 + 0,5c_A(2T_r - T_0) - Q_0^*}; \quad (14)$$

$$\lambda_x(T_0 - \frac{0,5c_A + k}{0,5c_A + k})$$

При переході від розрахунку наморозування на плоскій стінці до льодоутворення в чарунках в залежності (14) замість  $\delta_x$  треба вживати  $\delta_{\text{зам}}$ , визначену згідно (2), а тривалість попереднього охолодження води у чарунці до 0°C враховується заміною величини  $r$  на  $r_{\text{зам}}$ , яка для першого циклу льодоутворення буде мати вигляд:

$$r_{\text{зам}} = r + (c_r + c_{\phi} m_{\phi}/m_r)(T_x - T_0); \quad (15)$$

Відповідно, для другого циклу:

$$r_{\text{зам}} = r + c_r(T_x - T_0 + T_{\text{пр}} m_{\phi} c_{\phi}/m_r c_r); \quad (16)$$

$$\tau_z = \frac{[r + c_r(T_x - T_0 + T_{\text{пр}} m_{\phi} c_{\phi}/m_r c_r)] r \rho_x \delta_{\text{зам}} \delta^*}{k T_0 + 0,5c_A(2T_r - T_0) - Q_0^*}; \quad (17)$$

$$\lambda_x(T_0 - \frac{0,5c_A + k}{0,5c_A + k})$$

В зв'язку з тим, що теплообмін при відтаванні йде у тонкому приграничному шарі з великою інтенсивністю, при розрахунку процесу відтавання з урахуванням деяких припущень можна скористатися рівняннями теплового балансу, з котрих тривалість відтавання визначається наступним чином:

$$\tau_{\text{от}} = \frac{F \delta_{\text{от}} \rho_x [r + c_r(T_0 - T_x)] + F \delta_{\phi} \rho_{\phi} c_{\phi} (T_0 - T_x + 2)}{x_{\phi}/x Q_r}; \quad (18)$$

Тут:  $Q_r$  - теплова потужність нагрівника чи теплота горячої пари холодоагенту, що надходить у випарник (компресійний варіант), а для ТЕЛІ:  $Q_r = Q_0 + W$  в розрахунку на одиничний модуль, де  $W$  - витрачена модулем електрична потужність.

В практичних розрахунках можна приймати  $F \delta_{\text{от}} \rho_x = 0,03 \text{ м}_x$ .

Годинна продуктивність міні-льодогенератора визначається за другим циклом льодоутворення по формулі (19) з урахуванням втрат льоду на плавлення, тривалостей заливки і паузи:

$$G = \frac{3600 \times (V_x \rho_x - F \rho_x \delta_{\text{от}})}{\tau_z + \tau_{\text{от}} + \tau_{\text{зал}} + \tau_{\text{п}}}; \quad (19)$$

Програмне забезпечення розрахунків створене мовою програмування QBASIC і дозволяє здійснювати як перевірочні, так і дослідницькі оптимізаційні розрахунки, з реалізацією понад 20 комбінацій основних параметрів, які наведені у таблиці 2. Базова програма FIL009 вміщує в собі вмонтовану підпрограму розрахунку вантажних характеристик системи охолодження і працює незалежно, або разом з допоміжними підпрограмами розрахунку вузлів міні-льодогенератора, які наведені у додатках до дисертації. Програма охоплює майже увесь спектр розглянутих у роботі конструкцій міні-льодогенераторів і з 1990 року використовується у різних проектних установах СНД при розробці нової техніки.

Можливі комбінації розрахунку льодогенератора  
(термоелектричний варіант) за програмою FIL009

Табл.2

Форма чарунки F3	WS $\Rightarrow$ Перемінний $\downarrow$ параметр	об'єм заливки H	темпер. води T3	кільк. модулів X0	ток жив- лення I	об'єм установки V	усі пара- метри
прямокутна	+	+	+	+	+	+	+
зрізаний конус	+	+	+	+	+	+	+
трубчат	-	+	+	+	-	-	-
зрізана піраміда	+	+	+	+	+	+	+
напівсферична	-	+	+	+	+	+	-

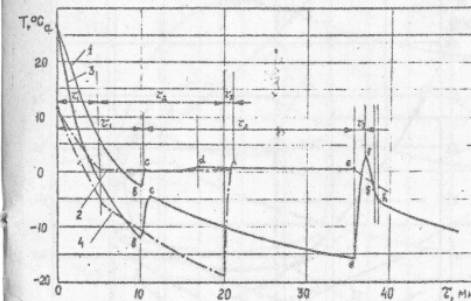
\* - комбінації не виконуються при умові  $h/d > 1$ .

З аналізу одержаних результатів слід зробити один з найважливіших практичних висновків: для виконання умови максимальної швидкодії треба позбавлятися росту льодового конусу у чарунці усіма досяжними засобами.

Ідея недоморожування серцевини блоку льоду як засіб нарощування продуктивності була запропонована В.В.Московченко стосовно великих промислових льодогенераторів, проте детального свого розвитку досі не мала. В міні-льодогенераторах з чарунковою льодоформою є можливість не тільки недоморозити, але й взагалі виключити з процесу центральну найбільш теплу зону чарунки, виплутуючи туди формозадаючу уставку, яка зменшує еквівалентну товщину льоду, ліквідує конус і одночасно вирішує проблему виїмання льоду з форми.

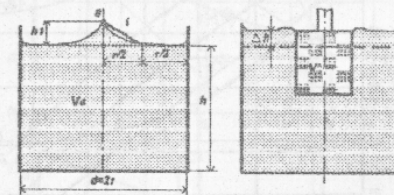
На мал.5-8 наведені результати дослідження льодоутворення в чарунках і ваннах з уставками. Визначені оптимальні з огляду на максимум продуктивності розміри і форми установок. Для усіх досліджених форм і розмірів оптимум об'єму установки знаходиться в області 8...12% від об'єму чарунки. Зростання продуктивності при цьому складає від 7 до 12%. Максимальну швидкодню і продуктивність має льодогенератор з напівсферичними чарунками. По мірі відхилення від цієї форми показники погіршуються.

На мал.6 в порівнянні наведені залежності тривалості заморожування від об'єму води в чарунках різних конфігурацій, зображених на мал.1. З урахуванням одержаних раніш на одиничних фігурних чарунках даних (мал.5) випробування проводилися в вузькому діапазоні змінених розмірів установок (від 0 до 30% об'єму льодоформи або чарунки), в якому очікувалася наявність екстремума функції  $G(V/V_0)$ . Якісний характер залежностей  $G(V/V_0)$  однаковий для чарунок усіх форм. Для прямокутної чарунки льодогенератора ЛНТ-0,15 об'ємом 6 мл (мал.1а) екстремум функції відповідає розміру вертикально встановленої по осі чарунки стержневої установки у межах 8-10% об'єму чарунки. Зростання розміру чарунки, а також

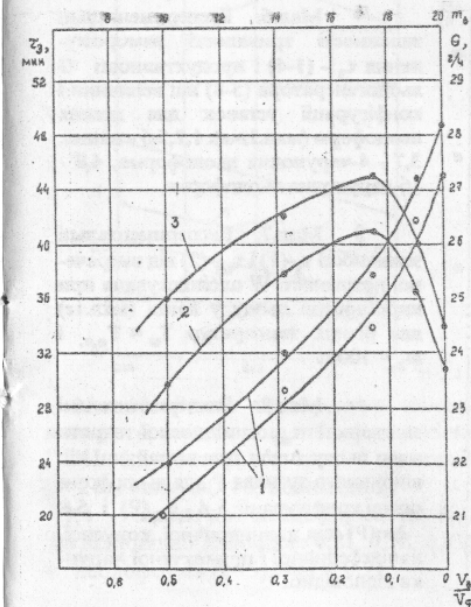


Мал.3. Типові криві хода середньої по об'єму температури води (1,2) і льодоформи (3,4) в першому циклі заморожування в ТЕЛ:

- з фазою переохолодження води;  
- - - без переохолодження.



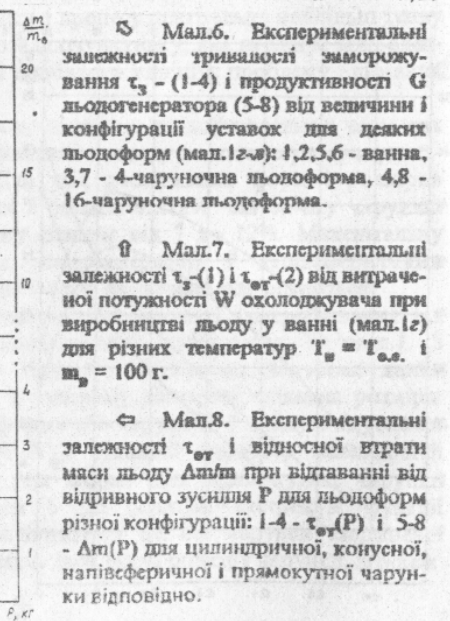
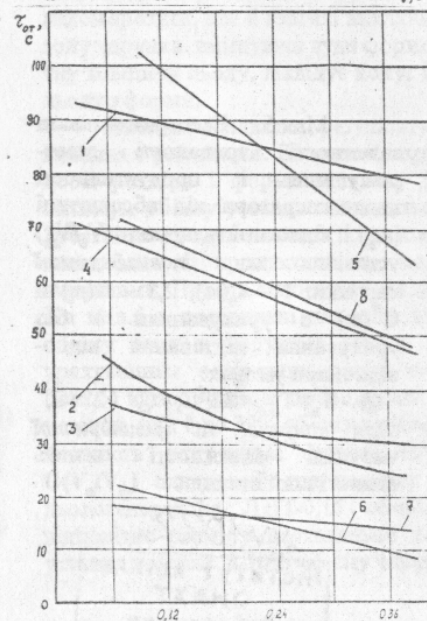
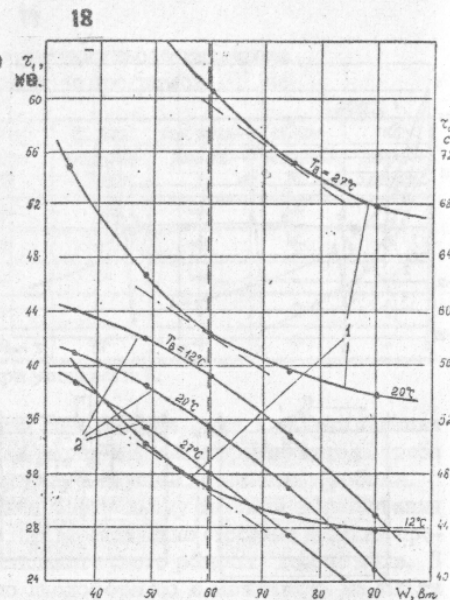
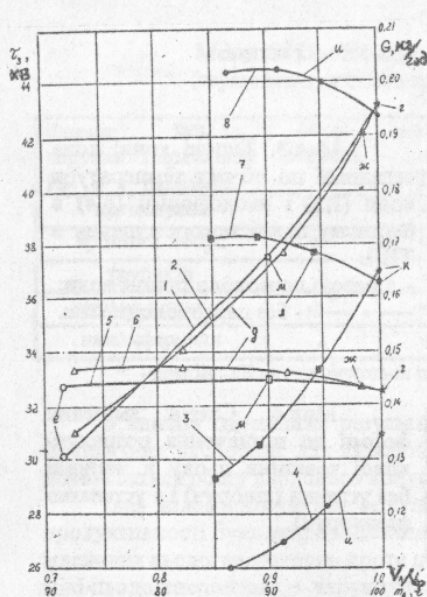
Мал.4. Схема змінених форм до визначення розрахункової товщини льоду в чарунці без уставки (ліворуч) і з установкою (праворуч).



Мал.5. Експериментальні залежності тривалості заморожування і продуктивності льодогенератора від абсолютної ( $m$ ) і відносної величини ( $V/V_0$ ) установки для напівсферичної чарунки: 1 -  $\tau_z(m)$ , 2,3 -  $G(m)$  и  $G^*(m)$  з урахуванням і без урахування відтавання відповідно; при умовах:

● -  $T_{\text{в.о.}} = 22^\circ\text{C}$ , ○ -  $27^\circ\text{C}$ .  
Для конусної та циліндричної чарунки залежності мають аналогічний вигляд.

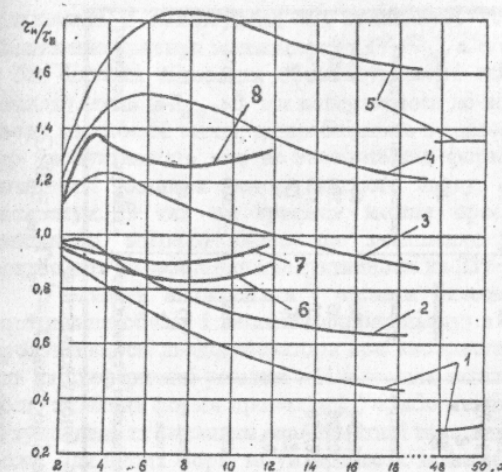
xv1022  
ІНСТИТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
БІБЛІОТЕКА



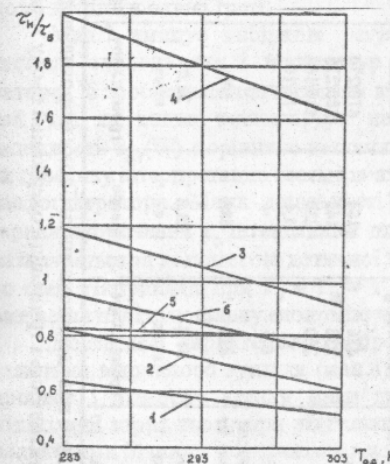
Мал.6. Експериментальні залежності тривалості заморожування  $\tau_z$  (1-4) і продуктивності  $G$  льодогенератора (5-8) від величини і конфігурації установок для деяких льодоформ (мал.12-а): 1,2,5,6 - ванна, 3,7 - 4-чаруночна льодоформа, 4,8 - 16-чаруночна льодоформа.

Мал.7. Експериментальні залежності  $\tau_z$  (1) і  $\tau_{от}$  (2) від витраченої потужності  $W$  охолоджувача при виробництві льоду у ванні (мал.12) для різних температур  $T_w = T_{о.с.}$  і  $m_p = 100$  г.

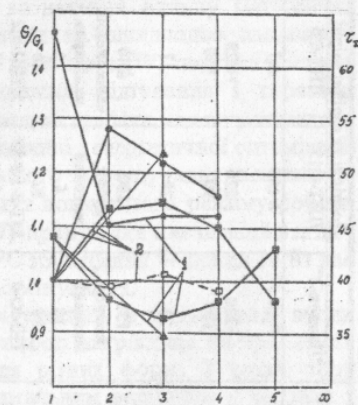
Мал.8. Експериментальні залежності  $\tau_{от}$  і відносної втрати м'яси льоду  $\Delta m/m$  при відтаванні від відривного зусилля  $P$  для льодоформ різних конфігурацій: 1-4 -  $\tau_{от}(P)$  і 5-8 -  $\Delta m(P)$  для циліндричної, конусної, напівсферичної і прямокутної чарунки відповідно.



Мал.11. Розрахункові відносне зменшення тривалості виробництва льоду в залежності від чисельності шарів розбивки при  $T = 20^\circ\text{C}$ : 1...5 - схема а, 1 - ванна, 2...5 - чарунка при  $h/d = 0,21; 0,38; 0,58; 0,83$  відповідно, 6...8 - схема б, 6 - ванна, 7,8 - чарунка при  $h/d = 0,21$  і  $0,58$ .



Мал.10. Вплив температури навколишнього середовища на ефективність ППН: 1,5 - ванна, по схемі б на мал.9 ( $x=10$ ) і схемі а ( $x=5$ ) відповідно; 2,3,4 - чаруночна льодоформа ( $x=10$ );  $h/d$  відповідно дорівнює: 0,21, 0,38, 0,83; 6 - льодоформа ( $x=5$ ),  $h/d = 0,21$ .



Мал.12. Експериментальні залежності  $\tau_z$  - (1)  $G/G_0(x)$  - (2) від кількості шарів при реалізації способу ППН в ванні (●) і конусній чарунці (▲) при умовах  $T_w = T_{о.с.} = 20^\circ\text{C}$ , де: ■ - іспити з центруванням блоку льоду після спливання; □ - без центрування, ▲ - схема а з розбивкою (25%+25%+50%).



Технічні характеристики термоелектричних міні-льодогенераторів

Табл.3

Теміні параметри	Дослідні та серійні збірні				Перспективні конструкції		
	"Льодок-2"	ЛНТ-0,15	ЛНТ-0,5	ЛНТ-0,6	"Льодок-5"	"Льодок-7-2"	"Льодок-авто"
1.Продуктивність по льоду, кг/година	0,38	0,185	0,7	0,66	0,3	0,5	0,12
2.Виспожження, В	~220	~220	~220	~220	~220	~220	~12
3.Номінальна ватрачена потужність, Вт	180	90	350	320	140	250	40
4.Середня тривалість омерзання порції льоду, хв.	23	29	17	30	27	30	35
5.Місткість льододормал, кг	150	100	240	300	-	8x32	75
6.Теплота готування льоду і омерзання м'яса, г	кокус, матовий	кубик, матовий	чашковидб. напівпроз.	водонаповн. зеротвор	чашковидб. прозорий.	кубик, матовий	циліндр матовий
7.Вихід льоду в % від містк.	18	6	15	10	15	16	15
8.Теплота і кількість вогнетонких	99	92	86	100	92	92	90
9.Ватрачена енергія на охолодження термоелектрич. модуля	ТБМО-9	МТ-2-1,8-39	ХТНП-9,2	СР-1,4-71	Імплік	40	немає
10.Теплота застосування (заг.затрач.)	8	5	20	8	ручна	випилювач.	ручна
11.Температура розливу, мм	40	30	50	50	ручна	ручна	ручна
12.Маса, кг	максимал.	ручна	максимал.	максимал.	ручна	ручна	ручна
13.Місткість накопичування льоду (об'єм зберігання), кг	436	164	470/270	190/190	280	400	140
14.Питома ватрачена потужність, Вт/кг	230	146	280/275	350/290	230	300	120
15.Питома маса, кг/годик	200	230	435/168	420/170	280	300	170
16.Можливість заморожування нашої	12	4,4	13/10	8/8	10	12	2
17.Область застосування	0,5	-	1	0,3	466	500	333
	474	486	500	485	33	24	16,7
	31,5	23,8	32,8	24,2	є	є	є
	немає	є	немає	немає	є	є	є
	громад.харч.	універс.	громад.харч.	громад.харч.	громад.харч.	універс.	транспорт

Примітки: 1) Чисел дріб наведені показники блоку морозильного і блоку живлення; 2) Продуктивність і привабливість одержання льоду зведені до умов:  $T_{\text{ж}} = T_{\text{н}} = T_{\text{ср}} = 20^{\circ}\text{C}$ .

відхилення її конфігурації від правильної геометричної форми веде до збільшення кривини залежностей  $\tau_2(V/V_0)$ , а екстремум  $G(V/V_0)$  зміщується в бік більших відносних об'ємів установок і стає розмитим. В граничному випадку, коли  $Md_{\text{ср}} \rightarrow 0$  ми повертаємось до відомої задачі заморожування льоду на плоскій стінці, де необхідність в застосуванні установок зникає, тому що продуктивність вже не залежить від форми і монотонно зростає при зменшенні товщини заморожуваного льоду, а функція  $G(V/V_0)$  втрачає екстремум. З тих же графіків можна прослідкувати інші привабливі залежності, зокрема видно, що зменшення розміру чарунки в 4 рази призводить до зростання продуктивності на 23%, в 16 разів - на 44%.

Вдалося відокремити і оцінити внесок кожного з двох факторів (зменшення об'єму і зміння форма льоду) в загальному ефекті зростання продуктивності льодогенератора при використанні установок. Так, наприклад, для напівсферичної установки з 11 відсотків загального ефекту зростання  $G$  на долю зміння форми припадає 2,5%, або менше 1/4 частки, решта приросту  $G$  зумовлена зменшенням еквівалентної товщини льоду при зменшенні об'єму води. Для інших форм та умов внесок зміння форми в загальному ефекті може досягати однієї треті.

Мал.7 вміщує вибіркові результати визначення впливу потужності системи охолодження і температур середовища на швидкість льодогенератора. Зі зростанням температури кривина графіків  $\tau_2(W)$  помітно росте, в той час як вплив температури на тривалість відтавання і характер залежності  $\tau_{\text{от}}(W)$  порівняно незначний. Наведені графіки можна розглядати як графічну інтерпретацію взаємозв'язку динамічної і енергетичної оптимізації льодогенератора. Межа доцільності подальшого нарощування потужності заради скорочення  $\tau_2$  інтенсивним шляхом для конкретного режиму роботи визначається за допомогою дотичної до  $\tau_2(W)$  прямої, яка має певний нахил до осей. Наприклад, при  $T_{\text{ж}} = T_{\text{н}} = T_{\text{ср}} = 20^{\circ}\text{C}$  збільшення  $W$  понад 60 Вт дає вже незначну і недоцільну економію часу заморожування.

Досліджені характеристики процесу відтавання, в тому складі вплив величини відливного зусилля (мал.8) і потужності нагрівника на тривалість процесу і відносну втрату маси льоду для різних форм. З точки зору мінімізації втрат льоду при відтаванні оптимальним варіантом є чарунка з нахиленими бічними поверхнями з докладанням підйомного зусилля 120...160 грамів на чарунку або 6...8 г/г льоду.

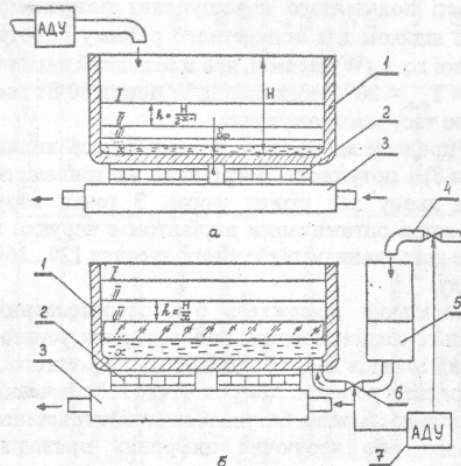
Для проведення експериментальних досліджень був спроектований універсальний стенд (мал.2) і декілька спеціалізованих лабораторних установок. Загалом було досліджено понад 10 типів льододорм (мал.1), до кожного з котрих виготовлено від 1 до 4 комплектів установок. Метрологічне забезпечення комплексу проведених теплофізичних досліджень базувалося на використанні серійних повірених вимірювальних або керуючих цифрових приладів.



Вимірювання температури здійснювалося приладами Ц7701 та Ц7702, КСП-4 з комплектами тарірованих хромель-копелевих термодар; току, напруги, витраченої потужності - приладами В7-20, Ц4301, Б5-21, ЛПС-35. Дозування порцій води і вторинне вимірювання об'єму одержаного льоду здійснювалося лабораторною мензуркою з ціною розподілу 1 мл. Відносні розрахункові похибки визначення величин склали: температури - 1,8%, току - 1,5%, напруги - 1,5%, часу наморозування - менш 1%, часу відтавання - менш 2%, об'єму і маси води і льоду - 3,5%.

### Розділ III. Пошарно-підйомне наморозування льоду у міні-льодогенераторах

Для прискорення процесу одержання льоду автором запропонований спосіб пошарно-підйомного наморозування (далі - ППН), суть якого полягає в тому, що воду в ємкість подають дискретно, порціями; після заморожування шару льоду нагрівають ємкість до відтавання шару від стінок, подають чергову порцію води, лід спливає, знову наморозують шар води під льодом до його змерзання з попереднім шаром і повторюють цикл до нарошування таким чином блоку льоду необхідної товщини. Основною відмінною цього способу від аналогів є наявність фаз відтавання та спливання. Найбільш технічно досяжною є реалізація ППН в термоелектричних льодогенераторах. На мал.9 наведені основні розрахункові схеми реалізації способу з рівномірною і нерівномірною (з подвоєнням) розбивкою товщини чи об'єму води по шарах.



Мал.9. Принципова схема реалізації ППН: а - подача води зверху з нерівномірною (за законом подвоєння) розбивкою загальної товщини  $H$  по шарах  $h$ ; б - подача води знизу з рівномірною розбивкою; 1 - ємкість (ванна чи форма), 2 - ТЕО, 3 - теплообмінник, 4 - заливочна трубка, 5 - ресивер, 6 - вентиль, 7 - пристрій дозування води

Априорі ефективність способу заснована на тому, що товщина льоду входить у основну розрахункову формулу Планка у квадраті. За цієї логікою при зменшенні товщини в  $x$  разів час повинен зменшитися в  $x^2$  разів, а поділ товщини на  $x$  шарів, зменшує загальний час у  $x$  разів при умові постійності температури джерела холоду. Остання умова в міні-льодогенераторах, як правило, не виконується, а багаторазове відтавання привносить додаткові втрати. Тому виникає потреба у розрахунковій та експериментальній перевірці ефективності ППН. Від загальної методики розрахунок ППН відрізняється врахуванням теплообміну вже наморозуваного льоду з новою порцією води та деякими іншими особливостями.

Вираз для тривалості заморожування першого шару має вигляд:

$$(\tau_2)_1 = \frac{\rho_{\text{л}} (h_1)^2}{2\lambda_{\text{л}} [(T_0 - T_{\text{н}}) + 0,5(T_{\text{н}} - T_{\text{н}})(\tau_2)_1 k(\tau_2)_1]}; \quad (20)$$

Вирішуючи його відносно  $(\tau_2)_1$ , знаходимо  $(\tau_2)_1$ , а потім  $(T_{\text{н}})_1$

$$(T_{\text{н}})_1 = T_{\text{н}} - (T_{\text{н}} - T_{\text{н}})(\tau_2)_1 / (\tau_2)_1; \quad (21)$$

Час, на який потребує танення шару льоду  $\delta_0$ , визначимо з теплового балансу відтавання (22) при умові, що товщина шару, який ми плавимо, не залежить від конструктивних і режимних параметрів і відома з експериментальних даних.

$$\tau_{\text{от}} = \frac{F \delta_0 \rho_{\text{л}} \{r + c_{\text{л}} [T_0 - (T_{\text{н}})_1]\} + F \delta_0 \rho_{\text{ф}} c_{\text{ф}} [T_0 - (T_{\text{н}})_1 + 2]}{0,5 [Q_{\text{т}} (T_{\text{н}})_1 + Q_{\text{т}} (T_0 + 2)]}; \quad (22)$$

У припущенні, що уся теплота нової порції води витрачається на танення попереднього шару льоду, товщина  $\delta_1$  шару, що додатково тане під час заливки, визначається:

$$\delta_1 = \frac{k \rho_{\text{л}} c_{\text{л}} (T_{\text{о.с.}} - T_0)}{\rho_{\text{л}}}; \quad (23)$$

Товщина другого і наступних заморожуваних шарів складає:

$$h_2 = h_1 + \delta_0 + \delta_1; \quad (24)$$

Час  $\tau_2$  отримання другого шару визначається аналогічно першому з підстановкою  $h_2$  замість  $h_1$ . Загальний час наморозування шару товщиною  $H$  розраховується:

$$\tau_{\text{н}} = \sum_{i=1}^x (\tau_{\text{охл.}} + \tau_2 + \tau_{\text{зам}} + \tau_{\text{от}}), \quad (25)$$

Результати розрахункової оптимізації способу для деяких базових варіантів наведені на мал.10-11. На мал.12 зображені результати експериментального дослідження ППН в ванні та конусній чарунці. Максимальний ефект збільшення продуктивності, що складає в середньому 10...15%, спостерігається при кількості шарів розбивки 3-4 (мал.12), в той час коли розрахунок дає для оптимального значення відносного часу значно більшу кількість шарів. В експерименті не вдалося дослідити ППН при більшій кількості шарів у зв'язку з проявом ефекта розрихлення й розмиву верхнього шару льоду новими порціями води. Разом зі зменшенням параметра  $h/d$  ефективність ППН зростає, досягає свого максимуму у випадку необмеженої ванни, коли бічним теплообміном можна знехтувати. Відмічено також зростання ефективності ППН при збільшенні температури навколишнього середовища для усіх проведених дослідів, що яскраво та кількісно добре узгоджується з розрахунками (мал.10).

Експериментально встановлено, що при реалізації ППН важливу роль відіграє режим заливки і послідовність проведення операцій заливки чергового шару по відношенню до моментів перемикання режимів роботи джерела холоду (охолодження-нагрів), що пов'язано з витратою теплоти чергової порції на плавлення льоду. Умова мінімуму втрат часу та маси льоду під час відтавання виконується при заливці чергової порції води в одній точці у куті ванни зі швидкістю 10...15 мл/с одночасно з перемиканням термобатарей в режим охолодження. В момент цього перемикання і початку заливки середня температура льодоформи, що контролюється, повинна складати  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ .

#### Розділ IV. Інтенсифікація процесів льодоутворення і супутніх процесів у міні-льодогенераторах шляхом використання різних фізичних ефектів

Розділ присвячений дослідженню інших методів і засобів інтенсифікації процесів, що відбуваються у міні-льодогенераторах та ілюстрований багатьма прикладами нових технічних рішень, теплових схем і способів роботи.

##### Засоби (загальні напрями)

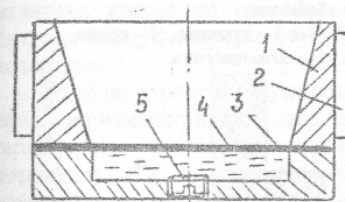
1. Ефект розширення води при кристалізації
2. Накладення магнітних і електр. полів
3. Використання сферичних водонаповнених зероторів
4. Акумуляція холоду та тепла в елементах конструкції міні-льодогенератора
5. Електрогідрравлічний ефект
6. Ефект пам'яті форми металу
7. Рухомі та деформуємі поверхні, сільфони
8. Інші ефекти

##### Задачі, що вирішуються

1. Прискорення кристалізації
2. Забезпечення або прискорення процесу відтавання і зняття льоду
3. Збільшення ефективності роботи холодильної машини
4. Автоматизація роботи льодогенератора
5. Індикація закінчення процесів та рівня
6. Забезпечення супутніх процесів
7. Покращання якості готуемого льоду
8. Універсальне джерело тиску
9. Інші цілі

Найбільш універсальним з точки зору кола вирішуваних задач можна вважати ефект розширення води і солевих розчинів при кристалізації, який традиційно вважався пкідливим, або в кращому випадку - некорисним. Значна частина допоміжних та супутніх процесів може бути реалізована або інтенсифікована за його допомогою, а також забезпечена автоматизація, індикація закінчення окремих процесів.

Найповніше можливості використання цього ефекту розглянуті на прикладі організації процесу відтавання. На мал.13 зображений елемент льодоформи 1 з "подвійним дном", де під еластичною перегородкою 3 знаходиться 2...5%-вий розчин 4 солі  $\text{NaCl}$ . Розчин замерзає трохи пізніше, ніж вода в основній чарунці, і при розширенні виштовхує готовий кусень льоду з форми. Це рішення реалізоване в конструкції льодогенератора "Льодок-2".

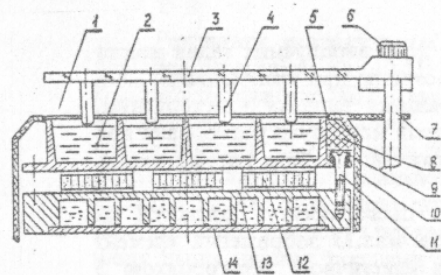


Мал.13. Принципова схема дії льодогенератора з механічним відривом льоду від форми за рахунок ефекту розширення: 1 - льодоформа, 2 - джерело холоду, 3 - перегородка, 4 - розчин  $\text{NaCl}$ , 5 - регулювальний винт-заглушка.

Прискорення процесу кристалізації досягається накладенням зовнішніх магнітних та електричних полів за рахунок спрямованої орієнтації диполей води у магнітному полі. Допільність застосування джерела поля зростає при організації комплексної дії на лід і холодильну машину, зокрема термоелектричну або термогальваноманітну.

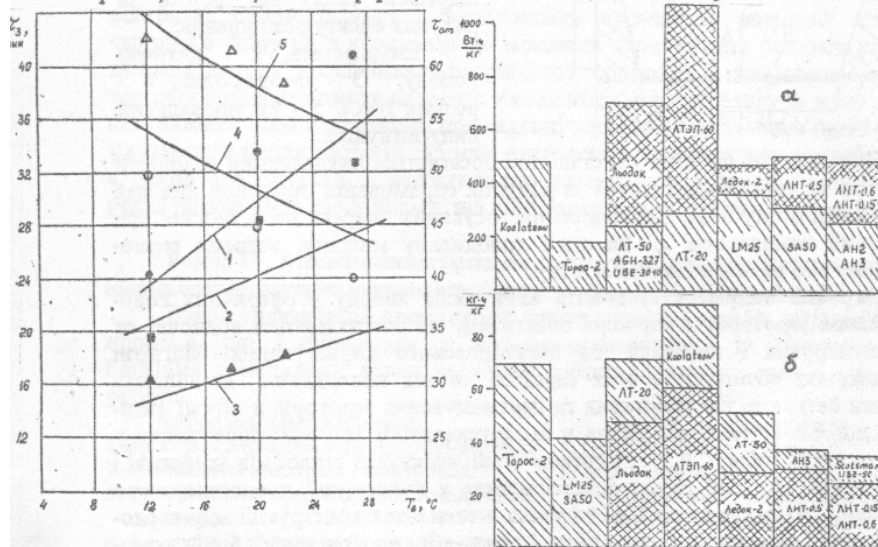
Окремий напрямок становить акумуляція холоду у сферичних водонаповнених зероторах з харчової пластмаси, які розглядаються водночас як зйомна чарунка і кусковий лід багаторазового користування. Магнітні елементи, які розміщують в їх середині чи під поверхнею, дозволяють створити безконтактне обертання та перемішування зероторів в об'ємі антифризу під час їх заморожування в льодогенераторі або розморожування у напої чи іншій рідині, й таким чином інтенсифікувати теплообмін усередині і зовні зеротора. Таке рішення використане у конструкції льодогенератора "Льодок-6". Акумуляція холоду чи тепла в елементах конструкції міні-льодогенераторів, наприклад в тілі льодоформи або на "теплому" боці термобатарей, дозволяє провести відтавання без додаткових витрат потужності.

Для прискорення відтавання та збільшення ефективності роботи холодильної машини крім того доцільно вживати деформуємі або рухомі поверхні льодоформи, сільфони, залучати ефект пам'яті форми металу, електрогідрравлічний ефект, т.і. Наведені також приклади застосування у льодогенераторах ефекту випаровування, термосифонів, теплових труб, відцентрових сил.



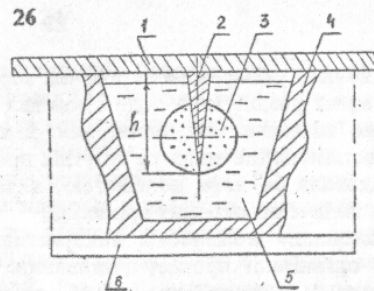
Мал.14. Схема теплового блоку льодогенератора ЛНТ-0,15: 1 - льодоформа, 2 - чарунка з водою, 3 - рухома кришка, 4 - стержень, 5 - ущільнення, 6 - фіксатор кришки, 7 - вісь, 8 - теплоізоляція, 9 - втулка, 10 - корпус, 11 - стяжка, 12 - термоелектричний модуль, 13 - проточний водяний теплообмінник.

Мал.15. Схема реалізації способу по авт.свід. № 1527456: 1 - кришка, 2 - голка або стержень, 3 - ягода, 4 - льодоформа, 5 - вода чи напій, 6 - охолоджувач.



Мал.16. Залежності тривалості заморожування і відтавання від температури проточної води льодогенераторів: 1,4 -  $t_{зам}(T_w)$  і  $t_{от}(T_w)$  дослідного збірця ЛНТ-0,15 без стабілізації току живлення з урахуванням залежності  $I(T_w)$ ; 2 -  $t_{зам}(T_w)$  серійного ЛНТ-0,15 з стабілізацією току; 3,5 -  $t_{зам}(T_w)$  і  $t_{от}(T_w)$  збірця ЛНТ-0,5; 1,5 - розрахунок за програмою FIL009; ● ▲ - експериментальні точки;

Мал.17. Порівняльні діаграми енергетичних і техніко-економічних показників компресійних і термоелектричних міні-льодогенераторів: а - питома витрачена потужність, б - питома маса.



## Розділ V. Створення ефективних пристроїв для виробництва харчового льоду

Накопичений досвід створення і дослідження міні-льодогенераторів дозволяв розробити класифікацію міні-льодогенераторів (оскільки в нечисельних останніх монографіях і довідниках по малому холоду і льодотехніці міні-льодогенераторам присвячено в кращому випадку 1-2 абзаци), запропонувати методологію проектування міні-льодогенераторів у вигляді загального алгоритму і конкретних практичних рекомендацій щодо вибору і розрахунку окремих вузлів. З метою виконання розробок на високому науково-технічному рівні з залученням теорії рішення вивахідницьких задач Г.С.Альтшуллера, була розроблена розгорнута матриця нових технічних рішень, що узагальнює і систематизує понад 300 патентних джерел по способах і пристроях одержання харчового льоду. Матриця використовується у НДІДПЕ під час державної науково-технічної експертизи.

Були виготовлені і з успіхом пройшли випробування макетні і дослідні збірці термоелектричних міні-льодогенераторів для торгівлі та побуту (табл.3). Під час їх проектування були використані згадані методики розрахунку, а випробування продемонстрували задовільний збіг експериментальних і розрахункових даних. За своїми техніко-економічними показниками створені конструкції перевершують попередніх, а за питомими масою і об'ємом вони кращі ніж компресійні аналоги (мал.17).

В льодогенераторі ЛНТ-0,5 досягнена рекордна для ТЕЛ швидкість, завдяки вибору оптимальної форми льоду і організації двостороннього зустрічного заморожування. Під час випробувань льодогенератора значна увага приділялася експериментальній оптимізації співвідношення потужностей верхньої та нижньої секцій термоелектричної батареї з метою забезпечення надійності роботи в автоматичному режимі та виконання умови  $t \rightarrow \min$  при  $Q_{\text{от}} = \text{const}$ .

Вперше в СНД серійне виробництво термоелектричного льодогенератора ЛНТ-0,15 у двох модифікаціях (з ручним і автоматизованим підйомом кришки та видачею льоду) розпочатий на Астраханському машинобудівному заводі "Прогрес" (Росія). Принципова будова льодогенератора показана на мал.14, результати випробувань - на мал.16. До комплексу льодогенератора входять змінні пливкозійомні кришки трьох типів, що дає змогу одержувати у ньому під різної форми, заморожувати соки, напої, готувати з напоїв льодяники на спеціальних паличках, які також додані до комплексу виробу.

Аналіз даних, одержаних під час випробувань дослідних та серійних збірок, показує, що залежності  $t=f(T_w)$ ,  $t=f(T_{\text{от}})$ ,  $t=f(T_{\text{от}})$  та  $t=f(Q_{\text{от}})$ , носять лінійний або близький до нього характер в досить широкому діапазоні досліджуваних параметрів (мал.16), причому серед температурних залежностей



найбільше продуктивність ТЕЛ залежить від температури охолоджуючої термобатарей проточної води.

Льодогенератор ЛНТ-0,6, в порівнянні з іншими розробками, є апаратом безперервної дії. Водонаповнені сферичні зеротори з завантажувального бункера потрапляють в камеру з антифризом, де заморожуються протягом обертів барабана крізь камеру, і поштучно видаються безпосередньо у посуд споживача. Відсутність відтавання також дає певні переваги цій конструкції.

Окремий підрозділ присвячений перспективним конструкціям міні-льодогенераторів. Основними напрямками подальшого вдосконалення міні-льодогенераторів є відмова від використання проточної води, розширення функціональних можливостей льодогенераторів, покращання якості готуемого льоду. Важливим етапом на цьому шляху слід вважати перехід до модульного принципу побудови ТЕЛ. Прикладом тому є нова розробка універсального за призначенням ТЕЛ "Льодок-7-2", яка перекриває діапазон продуктивностей від 4 до 16 кг/добу. В табл.3 наведені характеристики двосекційного варіанту цього льодогенератора.

Під час аналізу можливостей автоматизації міні-льодогенераторів і принципових схем ТЕЛ розглянуті найпростіші випадки реалізації програмного забезпечення, спеціальні вимоги до джерел живлення, датчиків, виконавчих елементів та пристроїв захисту, що визначають як робото-спроможність, так і параметри виробу в цілому.

#### Розділ VI. Нові технології приготування харчового льоду

Для різних напоїв з урахуванням рекомендацій щодо оптимальних температур їх дегазації уточнені норми витрат льоду (для більшості - в бік збільшення до 15...20 грамів на 200 мл напою), наведені методики розрахунку кінцевої температури напою та тривалості повного розтавання льоду, і, відповідно, тривалості підтримання напою в холодному стані.

Проаналізовані вимоги стандартів різних країн до якості льоду, що готується у формах побутових холодильників. Експериментально досліджені можливості збільшення його прозорості під час одержання в чарувочних формах без застосування примусової циркуляції води. Встановлено, що розташування у центрі чарунки порожистого стержня чи трубки призводить до збільшення показника прозорості у декілька разів. А використання уставки, що обертається, дозволяє одержати майже повністю прозорий лід. З урахуванням оцінок збільшення вартості льодогенераторів, що виробляють лід з більшим показником прозорості, межею економічної доцільності, за винятком спеціальних умов, запропоновано вважати лід з 90%-вою прозорістю.

Логічним завершенням технологічного напрямку досліджень стали розроблені способи одержання фігурного, кольорового, багатшарового льоду

та льоду з харчовими залученнями і додатками. Так у більшості конструкцій міні-льодогенераторів, зокрема у ЛНТ-0,15, можлива реалізація способу одержання кольорового кускового льоду (мал.15) з замороженою ягодою (вишня, ялина, полуниця, виноград, лісові ягоди), що розташовується у центрі чарунки на кінці загостреного стержня або голки. Коли об'єм ягоди сягає 20...30% об'єму чарунки, що відповідає реальним пропорціям, забезпечується комплекс умов максимальності параметрів: продуктивності, швидкодії та прозорості, а також механічна міцність куска і його естетична привабливість. Декоративний лід з чередуванням кольорових шарів пропонується готувати за допомогою способу ППН.

#### ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. За сукупністю динамічних, енергетичних, масо-габаритних, технологічних та цінових характеристик перевагу у виборі системи охолодження міні-льодогенератора слід віддавати:

при продуктивності до 0,5 кг/год - термоелектричному охолоджувачу,

при продуктивності понад 2 кг/год - компресійній машині.

у діапазоні продуктивностей 0,5...2 кг/год прийнятні обидві системи охолодження, причому термоелектричні льодогенератори перевершують компресійні за цитовими масо-габаритними і техніко-економічними показниками, що є пріоритетними для переносних і компактних варіантів виконання та епізодичного режиму роботи.

2. Конкурентноспроможність термоелектричного міні-льодогенератора в порівнянні з компресійним визначається комбінацією метода одержання льоду в чарувочній льодоформі з тепловим відтаванням реверсуванням току живлення ТЕО при відмові від використання безперервного обігу води через льодоформу.

3. Стадії переохолодження води і спонтанної об'ємної кристалізації у чарунках, що спостерігаються при малих темпах охолодження, суттєво не впливають на загальну тривалість циклу приготування льоду і можуть не враховуватися у інженерних розрахунках.

4. Охолодження води і кристалізація, як основні розрахункові процеси виробництва льоду в міні-льодогенераторі, незалежно від форми одержуваного льоду, чарунки і поверхні заморожування, з достатньою для інженерної практики точністю описується модифікованою формулою Планка, при умові обов'язкового врахування наступних факторів:

- 1) залежності у часі температури і холодовидатності системи охолодження у вигляді її узагальненої вантажної характеристики;
- 2) впливу ефекту змінення форми льоду при збільшенні об'єму в процесі кристалізації у вигляді поправок до розрахункової товщини льоду.



5. Найбільш доступним і ефективним засобом збільшення швидкості і енергетичної ефективності міні-льодогенераторів, що не пов'язаний з нарощуванням потужності системи охолодження, є зменшення еквівалентної товщини одержуваного куска льоду шляхом оптимізації форми чарунки і льоду за допомогою орієнтованих формозадаючих установок.

Експериментально встановлено, що для усіх досліджених геометричних форм чарунок в діапазоні змінення коефіцієнта форми  $0,2 < h/d_{\text{сн}} < 2$  оптимальний розмір уставки складає 8...12% від об'єму чарунки, що відповідає максимальному ефекту приросту продуктивності в межах від 7 до 12%. При використанні охолоджуваних установок та зустрічного двостороннього наморозування ефект збільшення швидкості досягає 35%.

6. Запропонований і теоретично обґрунтований спосіб пошарно-підйомного наморозування льоду в ваннах и чаруночних формах. Розрахунково і експериментально показана ефективність його застосування в термоелектричних міні-льодогенераторах при кількості шарів розбивки товщини льоду не більш, ніж чотири. Експериментально підтверджений ефект збільшення продуктивності міні-льодогенератора від застосування ППН склав в середньому 10%.

7. Експериментально встановлені фактори, що впливають на ефективність застосування ППН і не слідують в явному виді з розрахунково-теоретичної моделі, а саме: швидкість та спосіб заливки чергової порції води, методика і засоби визначення моментів перемикання режимів роботи джерела холоду і початку чергової заливки, нерівномірність розбивки шарів за товщиною чи масою.

8. Інтегралізація процесів виготовлення льоду, а також реалізація деяких допоміжних процесів, і в першу чергу прискореного відтавання та виїмання льоду з форм, у міні-льодогенераторах може бути забезпечена використанням різних фізичних ефектів, серед яких перевагу слід віддавати:

- ефекту збільшення об'єму води при заморожуванні;
- накладенню зовнішніх електричних та магнітних полів як у нерухомому об'ємі води в льодоформі, так і шляхом магнітної обробки води в потоці в різних елементах конструкції гідралічного тракту міні-льодогенератора;
- акумуляції холоду в зероторах та інших елементах конструкції міні-льодогенератора;
- використанню рухомих конструкційних елементів льодоформи у купі з ефектами пам'яті форми металу, електрогідралічним та іншими.

9. Розроблена методика проектування міні-льодогенераторів у купі з банком даних нових технічних рішень, аналізом спроможності їх вживання для вирішення різних задач і запропонованими методами розрахунку є теоретичною базою проектувальника і дозволяє звести до мінімуму НДРівеньку стадію розробки міні-льодогенератора.

10. Розроблені, досліджені і вперше в СНД впроваджені у виробництво базові конструкції настільних напівавтоматичних термоелектричних міні-льодогенераторів універсального використання продуктивністю до 0,2 кг/год, з експрес-методом приготування льоду. Питомі показники створених виробів знаходяться на рівні кращих світових зрізів, завдяки застосуванню напіввідкритої чаруночної льодоформи з рухомою кришкою і уставками, відсутністю бункера-накопичувача льоду та іншими оригінальними технічними рішеннями.

11. Розроблені і експериментально досліджені базові конструкції торговельних міні-льодогенераторів з термоелектричною системою охолодження, що відрізняються поміж собою оригінальними льодоформами і системами відтавання. Визначені основні шляхи і засоби удосконалення міні-льодогенераторів, вперше розроблені підвалини модульного принципу будови ТЕЛ.

12. Розроблені і експериментально досліджені оригінальні технології приготування харчового льоду з особливими якостями: кольорового льоду, льоду з заданим рівнем прозорості, харчовими добавками. Показано, що реалізація цих технологій можлива у розроблених конструкціях міні-льодогенераторів, запропоновані додаткові елементи і пристосування для реалізації цих технологій, розроблені рекомендації що до дозування і рецептури льоду.

Основний зміст дисертації викладений в публікаціях:

1. Бублик І.Н., Філін С.О., Тимошок І.М. Получение пищевого льда с улучшенными потребительскими качествами. - Холодильная техника, 1989, №12, с. 46-52.
2. Гарачук В.К., Гернер В.А., Філін С.О., Смирнов Ю.А. Льодогенераторы малой производительности с магнитной обработкой воды. - Холодильная техника и технология, 1984, вып. 39, с. 11-15.
3. Гарачук В.К., Гернер В.А., Філін С.О., Смирнов Ю.А. Об использовании явления расширения воды при замерзании в льдогенераторах и охладителях. - Холодильная техника и технология, 1984, вып. 38, с. 78-81.
4. Гернер В.А., Філін С.О., Серебряный Г.Л. Совершенствование способа отделения льда от льодоформ. - Холодильная техника, 1988, №10, с. 41-42.
5. Гернер В.А., Філін С.О., Серебряный Г.Л. Динамика тепловых процессов в льдогенераторах малой производительности с различными системами охлаждения. - Холодильная техника и технология, 1990, вып. 50, с. 74-79.
6. Задираха В.Ю., Філін С.О., Мельничук Г.А., Рассмахан Б.М. Экспериментальное исследование бытового термоэлектрического льдогенератора-охладителя напитков с погружными теплообменными элементами. - В сб.: Разработка электробытовых машин, Киев, ЦНТИ "Поиск", 1990, с. 69-78.

7. Кирпач Н.С., Филин С.О. Работает лёд. - Техника и наука, 1986, № 11, с.47-48.
8. Филин С.О., Кирпач Н.С. Экспериментальное исследование переходных процессов в комбинированной компрессионно-термоэлектрической охлаждающей системе. - Промышленная теплотехника, 1986, т.8, № 4, с. 85-89.
9. Филин С.О. Методы повышения быстродействия компрессионно-термоэлектрических охлаждающих устройств. - В кн.: Тепловые процессы в элементах энергетических устройств. - Киев, Наукова думка, 1987, с. 62-68.
10. Филин С.О. Приближённый расчёт времени получения льда в ячеистых формах. - Холодильная техника и технология, 1994, вып. 56, с. 9-12.
11. Филин С.О., Задирака В.Ю. Расчёт термоэлектрических холодильников по нагрузочным характеристикам источника холода. - Инж.физ.журн., т. 60, № 2, 1991, с. 339-342.
12. Филин С.О., Задирака В.Ю., Тимошок И.М., Журбенко С.О. Послойно-подъёмный способ намораживания льда. - Холодильная техника, 1990, № 7, с. 31-36.
13. Филин С.О. Малогабаритный настольный льдогенератор. - Общественное питание. 1989, № 10, с.13-14.
14. Филин С.О. Термоэлектрические льдогенераторы: расчёт, проектирование, опыт промышленного освоения. - Journal of Thermoelectricity, 1997, №1.
15. Филин С.О., Смирнов Ю.А. Пути и средства совершенствования льдогенераторов малой производительности. - В кн.: Теплофизические исследования элементов энергетических установок. - Киев: Наукова думка, 1986, с. 147-152.
16. Филин С.О. Омызаемые коммутирующие элементы термоэлектрических охладителей и льдогенераторов. - В кн. Новые способы преобразования энергии и теплозащита. - Киев, Наукова думка, 1987 - с.230-233.
17. Филин С.О., Кирпач Н.С. Выбор режимов работы льдогенератора с комбинированной системой охлаждения. - Холодильная техника, 1985, № 6, с. 29-32.
18. А.с. СССР № 960499. Термоэлектрический льдогенератор / В.А.Гернер, С.О.Филин, Ю.А.Смирнов - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 35, 1982.
19. А.с. СССР № 976231. Льдогенератор / С.О.Филин, Н.И.Додельцева - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 43, 1982.
20. А.с. СССР № 1013710. Льдогенератор / Гернер В.А., Ю.А.Смирнов, С.О.Филин - МКИ F25C1/14, Оpubл. в БИ № 15, 1983.
21. А.с. СССР № 1043438. Льдогенератор / В.К.Гарачук, В.А.Гернер, С.О.Филин и др. - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 25, 1983.
22. А.с. СССР № 1050437. Льдогенератор / С.О.Филин, Ю.А.Смирнов - МКИ H01L47/08, Оpubл. в БИ № 39, 1983.
23. А.с. СССР № 1067311. Потужной термоэлектрический охладитель / С.О.Филин - МКИ F25B21/02, Оpubл. в БИ № 2, 1984.

24. А.с. СССР № 1076715. Термоэлектрический льдогенератор / В.К.Гарачук, В.А.Гернер, С.О.Филин и др. - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 8, 1984.
25. А.с. СССР № 1075062. Льдогенератор / В.А.Гернер, С.О.Филин, Ю.А.Смирнов - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 7, 1984.
26. А.с. СССР № 1093880. Льдогенератор / В.К.Гарачук, В.А.Гернер, Ю.А.Смирнов, С.О.Филин - МКИ F25C1/22, Оpubл. в БИ № 19, 1984.
27. А.с. СССР № 1112198. Термоэлектрический охладитель / Ю.А.Смирнов, С.О.Филин - МКИ F25B21/02, Оpubл. в БИ № 33, 1984.
28. А.с. СССР № 1177615. Каскадный охладитель / Н.С.Кирпач, С.О.Филин - МКИ F25B25/00, Оpubл. в БИ № 33, 1985.
29. А.с. СССР № 1189799. Гидравлический домкрат / С.О.Филин, И.Л.Шварцман - МКИ B66F1/08, Оpubл. в БИ № 41, 1985.
30. А.с. СССР № 1191698. Способ производства льда в термоэлектрическом льдогенераторе / С.О.Филин - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 42, 1985.
31. А.с. СССР № 1195152. Комбинированный охладитель / С.О.Филин - МКИ F25C25/00, Оpubл. в БИ № 44, 1985.
32. А.с. СССР № 1196627. Каскадный охладитель / Кирпач Н.С., С.О.Филин, С.И.Нагорный - МКИ F25B25/00, Оpubл. в БИ № 45, 1985.
33. А.с. СССР № 1196630. Льдогенератор / В.А.Гернер, С.О.Филин, Ю.А.Смирнов - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 45, 1985.
34. А.с. СССР № 1200090. Способ производства кубического льда в льдогенераторе / С.О.Филин, Ю.А.Смирнов, Н.С.Кирпач - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 47, 1985.
35. А.с. СССР № 1206582. Холодильная камера / С.О.Филин, Н.С.Кирпач - МКИ F25D21/06, Оpubл. в БИ № 3, 1986.
36. А.с. СССР № 1206629. Индикатор отрицательных температур / С.О.Филин, Г.М.Щеголев, Н.С.Кирпач - МКИ G01K11/06, Оpubл. в БИ № 3, 1986.
37. А.с. СССР № 1229533. Теплоаккумулирующая насадка / С.О.Филин, Н.С.Кирпач - МКИ F25B21/00, Оpubл. в БИ № 17, 1986.
38. А.с. СССР № 1231372. Теплоаккумулирующая насадка и способ её изготовления / С.О.Филин, Н.С. Кирпач, О.В.Цымарная - МКИ F28D19/02, Оpubл. в БИ № 18, 1986.
39. А.с. СССР № 1382818. Гидравлический домкрат / С.О.Филин, В.Г.Звездицкий - МКИ B66F3/24, Оpubл. в БИ № 11, 1988.
40. А.с. СССР № 1401233. Льдогенератор / С.О.Филин, В.А.Гернер, Г.Л.Серебряный - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 21, 1988.
41. А.с. СССР № 1406430. Льдогенератор / С.О.Филин - МКИ F25C1/12, Оpubл. в БИ № 24, 1988.
42. А.с. СССР № 1469356. Индикатор границы льда / С.О.Филин, Т.В.Филина - МКИ G01F23/00, Оpubл. в БИ № 12, 1989.

43. А.с. СССР № 1500814. Льдогенератор пищевого льда / С.О.Филин, Т.В.Филина - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 30, 1989.

44. А.с. СССР № 1508062. Способ производства льда в термоэлектрическом льдогенераторе / С.О.Филин, С.А.Лавров и др. - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 34, 1989.

45. А.с. СССР № 1513347. Льдогенератор / С.О.Филин, В.Ю.Задирака и др. - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 37, 1989.

46. А.с. СССР № 1527456. Способ производства пищевого льда / И.Н.Бублик, С.О.Филин, И.М.Тимошок - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 45, 1989.

47. А.с. СССР № 1532777. Устройство для производства льда / С.О.Филин, И.Н.Бублик, В.В.Кваша - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 48, 1989.

48. А.с. СССР № 1546737. Льдоформа / С.О.Филин, В.А.Гернер, И.М.Тимошок - МКИ F25C1/24, Опубл. в БИ № 8, 1990.

49. А.с. СССР № 1596191. Льдогенератор / С.О.Филин, Н.В.Климентов, И.М.Тимошок, Г.Р.Люлев - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 36, 1990.

50. А.с. СССР № 1603157. Морозильное отделение холодильника / С.О.Филин, В.П.Голованов, И.М.Тимошок - МКИ F25D11/00, Опубл. в БИ № 40, 1990.

51. А.с. СССР № 1605112. Льдогенератор кубикового льда / С.О.Филин, И.Н.Бублик, И.М.Тимошок и др. - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 41, 1990.

52. А.с. СССР № 1707459. Льдогенератор кубикового льда / С.О.Филин, И.П.Котов и др. - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 3, 1992.

53. А.с. СССР № 1707462. Бытовой холодильник / С.О.Филин - МКИ F25D11/00, Опубл. в БИ № 3, 1992.

54. А.с. СССР № 1723415. Автомобильный термоэлектрический льдогенератор / С.О.Филин, В.Ю.Задирака, И.П.Мапола и др. - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 12, 1992.

55. А.с. СССР № 1725044. Льдогенератор / С.О.Филин, Ю.А.Смирнов, В.А.Буданов - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 13, 1992.

56. А.с. СССР № 1747821. Способ намораживания льда в термоэлектрическом льдогенераторе / С.О.Филин, В.Ю.Задирака, И.М.Тимошок и др. - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 26, 1992.

57. А.с. СССР № 1753213. Термоэлектрический льдогенератор / С.О.Филин, Ю.А.Смирнов, В.Ю.Задирака - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 29, 1992.

58. А.с. СССР № 1760267. Льдогенератор / С.О.Филин, Ю.А.Спиваков - МКИ F25C1/24, Опубл. в БИ № 33, 1992.

59. А.с. СССР № 1763818. Льдогенератор / С.О.Филин, В.Ю.Задирака, Шаталина И.Н. и др. - МКИ F25C1/12, Опубл. в БИ № 35, 1992.

60. Патент РФ по з-же № 4946306/13. Термоэлектрический льдогенератор / С.О.Филин, В.Ю.Задирака, А.В.Палем и др. - Заявлено 17.06.91.

61. Патент України за заявою № 95052442. Холодоаккумуляційний елемент льдогенератора / С.О.Филин - МКИ F25C1/10, 1996.

62. Wirtschaftspatent DDR № 264128. Wärmespeichereinsatz und Herstellungsverfahren / Kırpaç N.S., Filin S.O., Cumağaja O.V. - F28D19/02, 25.01.89.

### УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

T - температура, К; ΔT - різниця температур, К; Θ - відносна температура, К; Q - кількість теплоти, Вт; Q<sub>0</sub> - холодовидатність, Вт; C - теплоємність, Дж/кг, К; I - сила току, А; U - напруга, В; W - витрачена потужність, Вт; F - поверхня теплообміну, м<sup>2</sup>; V - об'єм, м<sup>3</sup>; S - площа перерізу або поверхні, м<sup>2</sup>; R - термічний (К/Вт) або електроопір (Ом); γ - питома теплота фазового переходу, Дж/кг; Nu, Re, Pr, Gr, Ra, St - критерії Нусельта, Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, Ралей, Стентона відповідно; m - маса, кг; G - витрата, кг/с, м<sup>3</sup>/ч; κ, α - коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>, К; a, b, c, h - лінійні розміри, мм; τ - час, с; δ - товщина шару, мм; ρ - густина, кг/м<sup>3</sup>; ω - витрата текучого середовища, л/год; λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/м, К; ε - холодильний коефіцієнт; x - поточна координата, м; N, n - кількість елементів чи шарів розбивки, шт.

### Індекси та скорочення

л - лід; в - вода; ф - льодоформа; о.с. - навколишнє середовище; х - холодний; г - гарячий (теплій); и - випаровувач; екв - еквівалентна; кр - криоскопічна; ст-ст - стаціонарний; ст - стінка; из - ізоляція; пл - плавлення; тн - теплоносій; опт - оптимальний; н - початкова; к - кінцева; пер - переохолодження; охл - попереднього охолодження; уд - питомих; вн - внутрішній; нар - зовнішній; р - розрахункова; тст - термостата; тб - термобатареї; зал - заливки; з - заморожування; вт - відтавання; конд - конденсації або конденсатору; ТЕЛ - термоелектричний льдогенератор; ЛНТ - льдогенератор настільний термоелектричний; КХМ - компресійна холодильна машина; ППН - пошарно-підйомне наморожування; ТАР - теплоаккумуляюча речовина; БЖК - блок живлення та керування.



## АННОТАЦИЯ

Филин С.О. Интенсификация процессов и создание эффективных устройств получения пищевого льда. Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.04.03 - Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования. Одесская государственная академия холода, Одесса, 1996.

Исследуются процессы намораживания пищевого льда в ячеистых формах и на сложных поверхностях мини-льдогенераторов с компрессионной и термоэлектрической системами охлаждения. Разработана новая инженерная методика расчёта быстродействия и производительности мини-льдогенераторов, базирующаяся на зависимости Планка с учётом особенностей динамики, обобщённых нагрузочных характеристик источников холода и изменения объёма воды при кристаллизации. Эффективными средствами увеличения быстродействия мини-льдогенераторов не за счёт увеличения мощности источника холода являются использование способа послойно-подъёмного намораживания, ориентированных формообразующих вставок и различных физических эффектов. С применением предложенных методик и тепловых схем разработаны конструкции мини-льдогенераторов различного назначения. Результаты используются на АО "ТОМАК" (г. Киев), АТ "Прогресс" (г. Астрахань, Россия) и других предприятиях. Впервые в СНГ освоен серийный выпуск универсального термоэлектрического мини-льдогенератора ЛНТ-0,15.

Ключевые слова: лёд, вода, мини-льдогенератор, термоэлектрическая и компрессионная системы, ячеистая льдоформа, быстродействие, намораживание, оптимизация, конструирование, теплообмен, аккумуляция холода.

## SUMMARY

Филин С.О. Processes intensification and creation of effective mashines for food ice production. The dissertation on award of a degree of the doctor of technical sciences on speciality 05.04.03 - Refrigerating and cryogenic engineering, system of conditioning. Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa, 1996.

It investigated the processes of cube ice production in the cell form of small ice-makers with thermoelectrical, compressional and combine coolers. The proposed mathematical models, software, new heat and functional schemes, defended by more than 40 patents, methods and technologies of freezing, incl. method of layer-up freezing, different means for intensification of freezing and defrosting processes, incl. using of some physic effects, promotes creation of accomplished designs of trade, home, office and transport ice-makers. The results of work are used in AS "TOMAK" (Kiev, Ukraine), AS "Progress" (Russia) and others. At first in post-USSR is begun the output of thermoelectrical universal ice-maker LNT-0,15.

Key words: ice, water, ice-maker, cooler, thermoelectrical and compressional unit, cell form, freezing, rapidity and productivity increasing, heat exchange.