



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ ВОРОНЕЖСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ

Направление подготовки 15.04.02 ~~Технологии~~ **Технологии** машины и  
оборудование

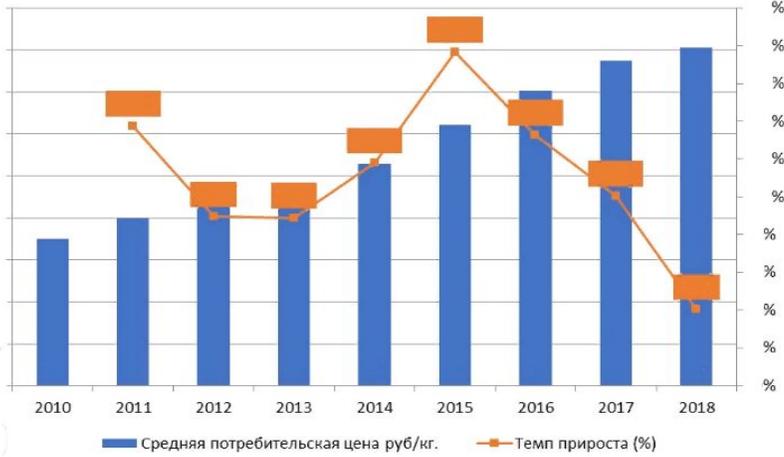
# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРЕКАЧИВАЕМОГО ЛЬДА И РАЗРАБОТКА ТЕХНИКИ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент Овсянников  
В.Ю

Обучающийся студент группы Мм-176 Лапшина Д.С.

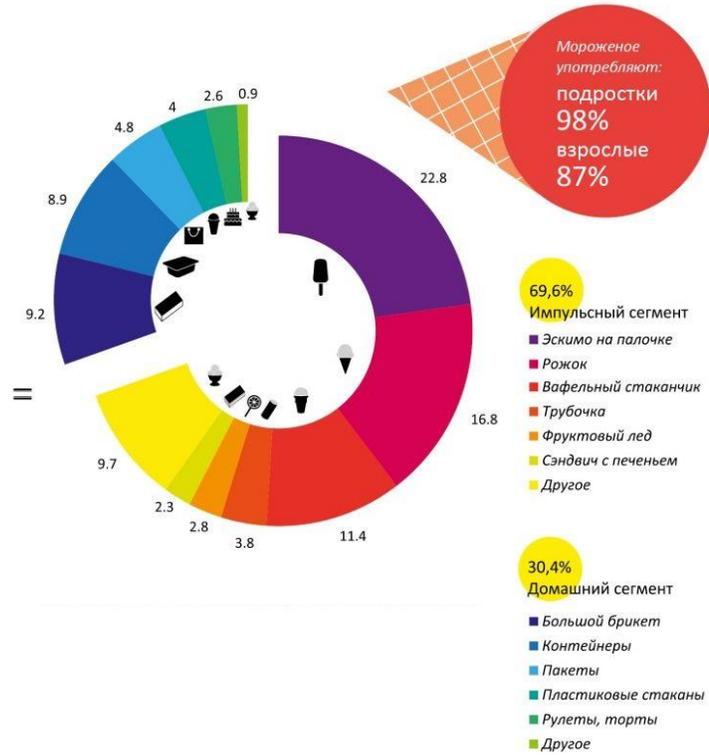
Воронеж -  
2019

# АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ



Динамика средних потребительских цен за 1 кг мороженого

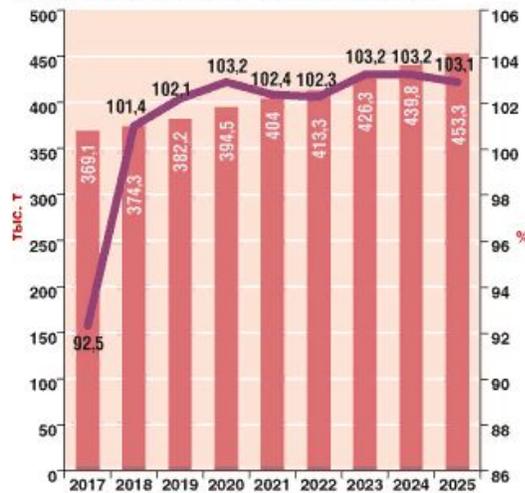
Структура рынка мороженого по сегментам, %



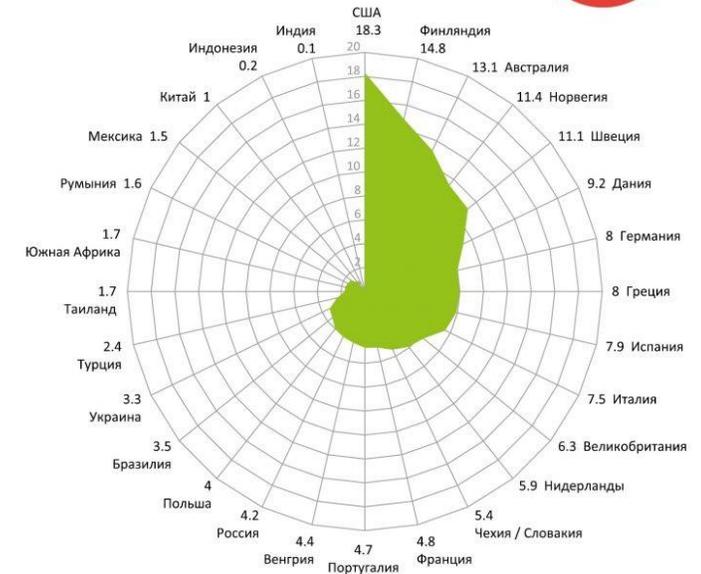
Мороженое употребляют: подростки 98% взрослые 87%

Россия 4,2 л/год

ПРОГНОЗ ОБЪЕМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ МОРОЖЕНОГО в 2017–2025 годах, тыс. т



Объем видимого потребления в рамках базового сценария развития, тыс. т  
в % к предыдущему году



Потребление мороженого в мире на человека, л/год

# ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

ЦЕЛЬ  
РАБОТЫ

исследование процесса получения  
перекачиваемого  
льда и разработка техники для его  
осуществления

ЗАДАЧИ  
РАБОТЫ

1

Анализ способов и оборудования для  
получения перекачиваемого льда

2

Изучение основных свойств и  
характеристик перекачиваемого льда.

3

Исследование процесса льдообразования  
при охлаждении соленых вод.

4

Исследование процесса получения  
перекачиваемого льда.

5

Разработка конструкции льдогенератора  
перекачиваемого льда и методики инженерного  
расчета.

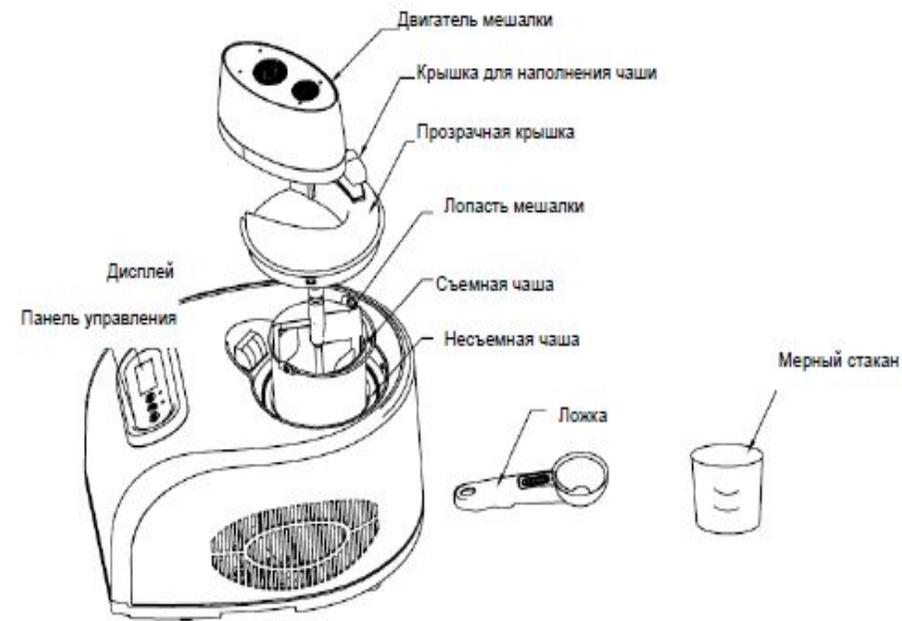
# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ ФРИЗЕРА «GASTRORAG» ICM-1518



Общий вид фризера

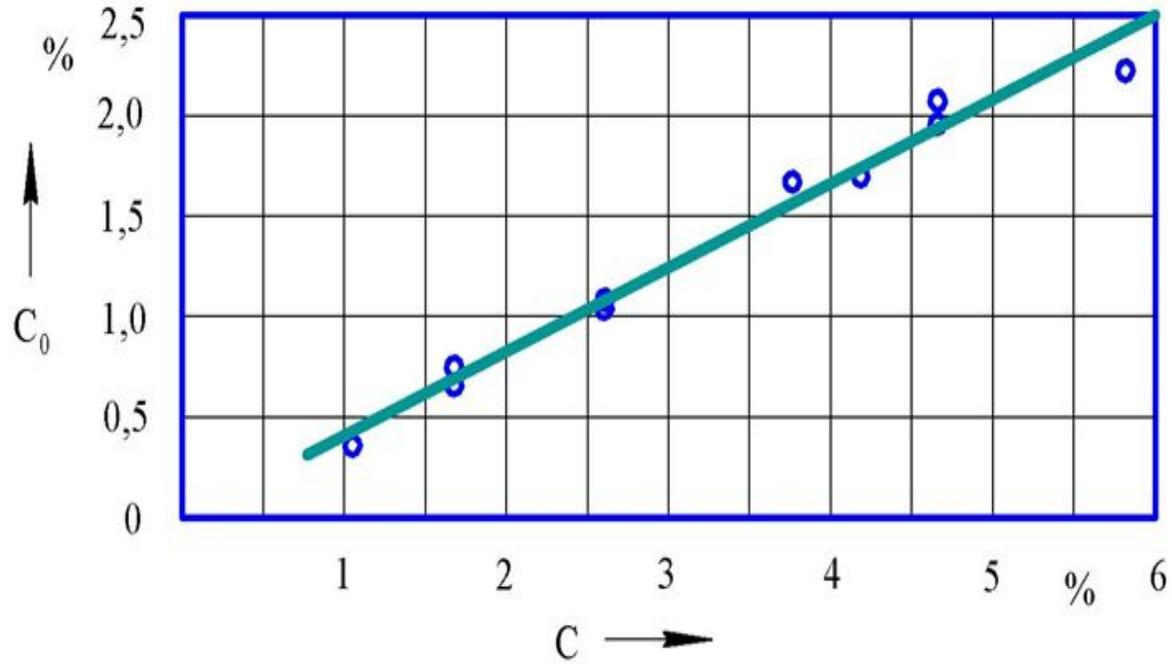


Составные части фризера

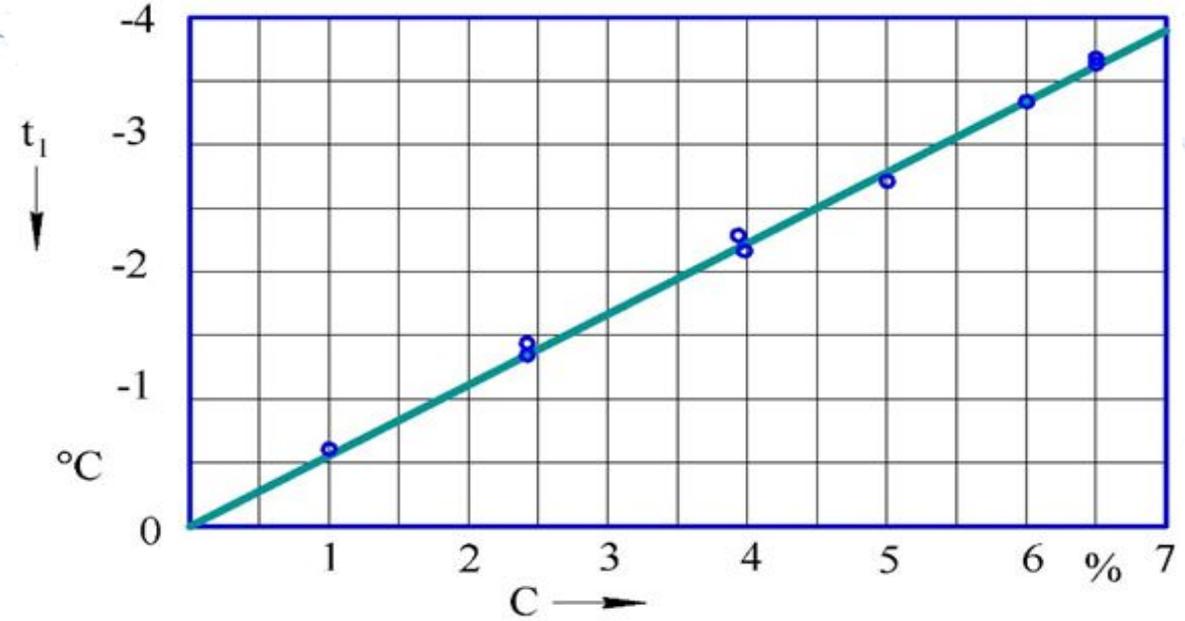


Фризер в разобранном виде

# ИЗМЕНЕНИЕ СОЛЕННОСТИ И КРИОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛЕННОЙ ВОДЫ

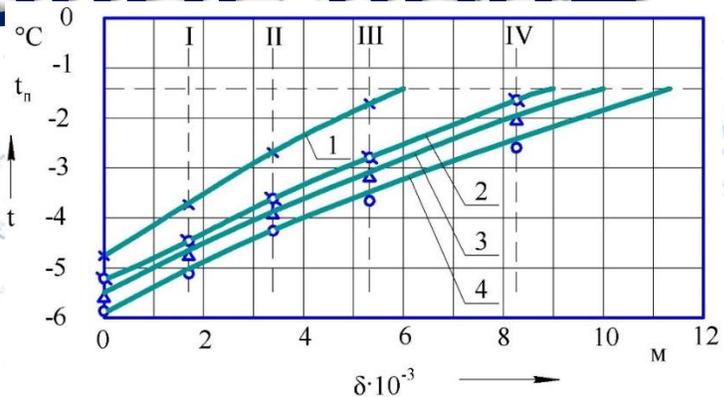


Зависимость солёности льда  $C_0$ , % от начальной концентрации раствора  $C$ , % при температуре кипения хладагента минус 8...9 °С и условиях свободной конвекции

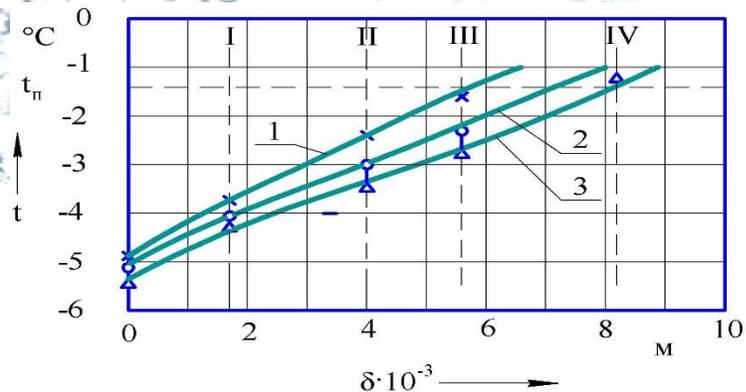


Зависимость температуры замерзания соленой воды  $t_1$ , °С от ее концентрации  $C$ , %

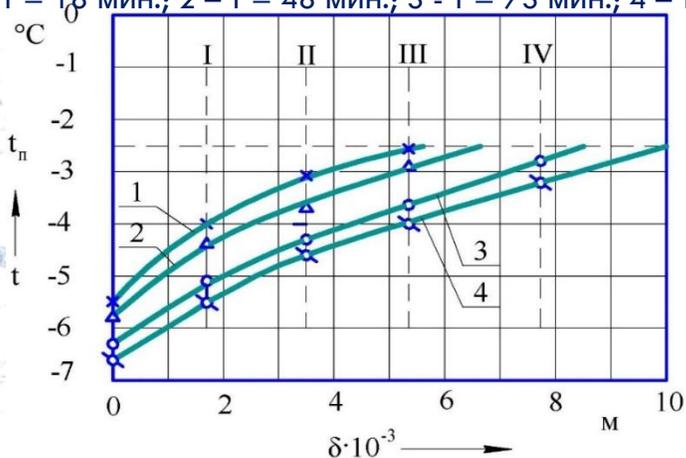
# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В СЛОЕ ПЬЛДА



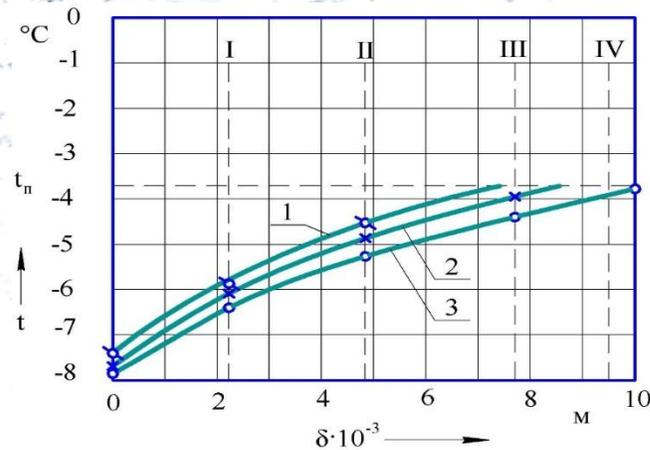
В процессе льдообразования при начальной концентрации раствора  $C_p = 1,7\%$ , начальной температуре раствора  $t_p = 1,0\text{ }^\circ\text{C}$  и продолжительности льдообразования:  
 1 –  $t = 18$  мин.; 2 –  $t = 48$  мин.; 3 –  $t = 73$  мин.; 4 –  $t = 130$  мин.



В процессе льдообразования при начальной концентрации раствора  $C_p = 1,7\%$ , начальной температуре раствора  $t_p = 1,5\text{ }^\circ\text{C}$  и продолжительности льдообразования:  
 1 –  $t = 40$  мин.; 2 –  $t = 72$  мин.; 3 –  $t = 105$  мин.

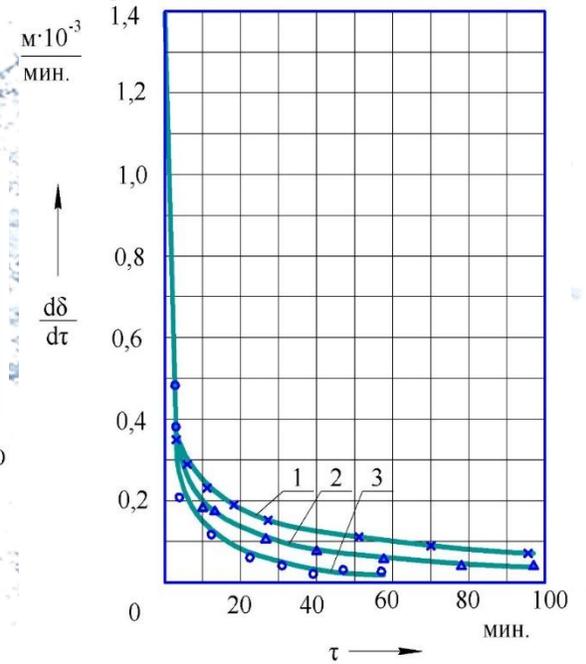
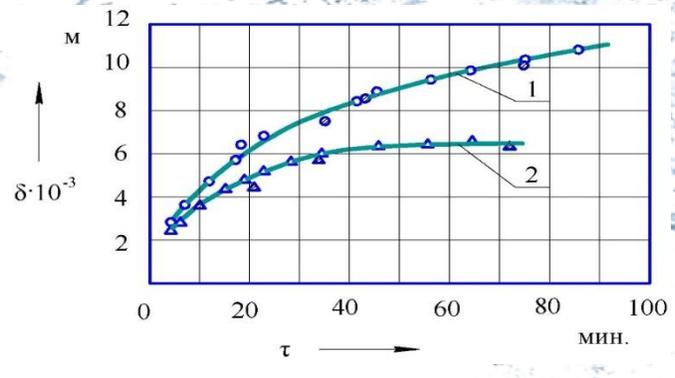
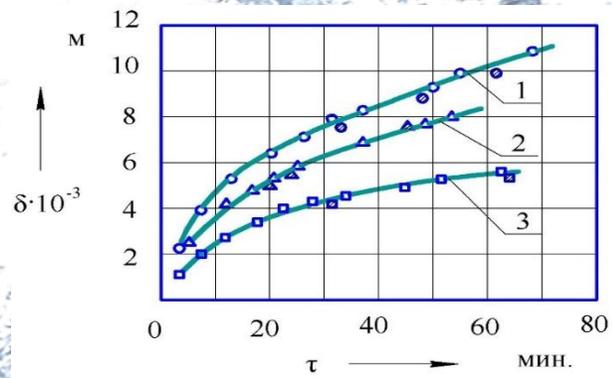
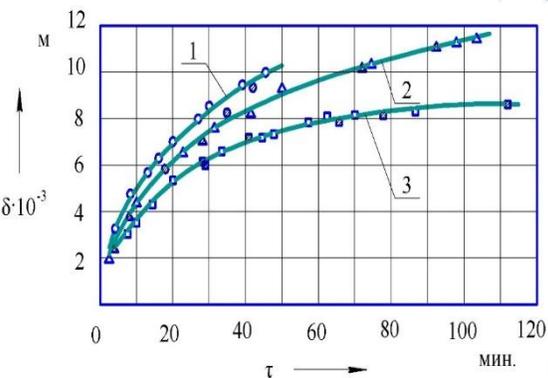


В процессе льдообразования при начальной концентрации раствора  $C_p = 3,8\%$ , начальной температуре раствора  $t_p = -1,3\text{ }^\circ\text{C}$  и продолжительности льдообразования:  
 1 –  $t = 14$  мин.; 2 –  $t = 27$  мин.; 3 –  $t = 40$  мин.; 4 –  $t = 52$  мин.



В процессе льдообразования при начальной концентрации раствора  $C_p = 5,8\%$ , начальной температуре раствора  $t_p = -2,0\text{ }^\circ\text{C}$  и продолжительности льдообразования:  
 1 –  $t = 27$  мин.; 2 –  $t = 46$  мин.; 3 –  $t = 82$  мин.

# КИНЕТИКА НАМОРАЖИВАЕМОГО СЛОЯ ЛЬДА



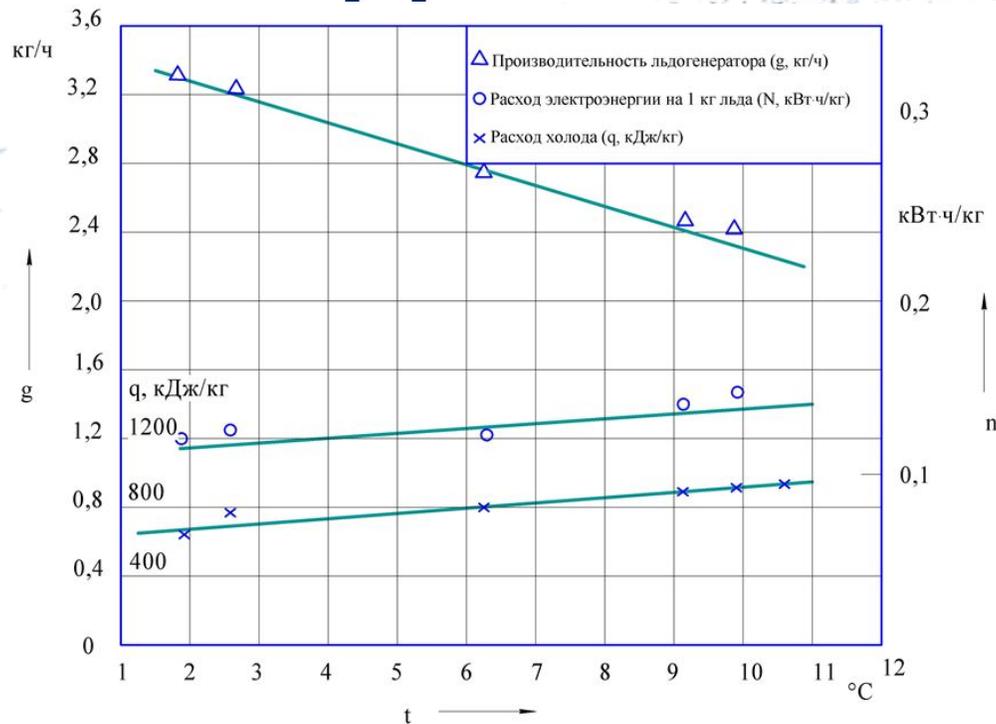
Зависимость толщины намораживаемого слоя льда от времени для раствора с концентрацией  $C = 1,7\%$  и начальной температурой: 1 –  $t_p = 0,2\text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 –  $t_p = 1,0\text{ }^\circ\text{C}$ ; 3 –  $t_p = 2,2\text{ }^\circ\text{C}$ .

Зависимость толщины намораживаемого слоя льда от времени для раствора с концентрацией  $C = 3,8\%$  и начальной температурой: 1 –  $t_p = -1,3\text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 –  $t_p = 0,2\text{ }^\circ\text{C}$ ; 3 –  $t_p = 1,1\text{ }^\circ\text{C}$ .

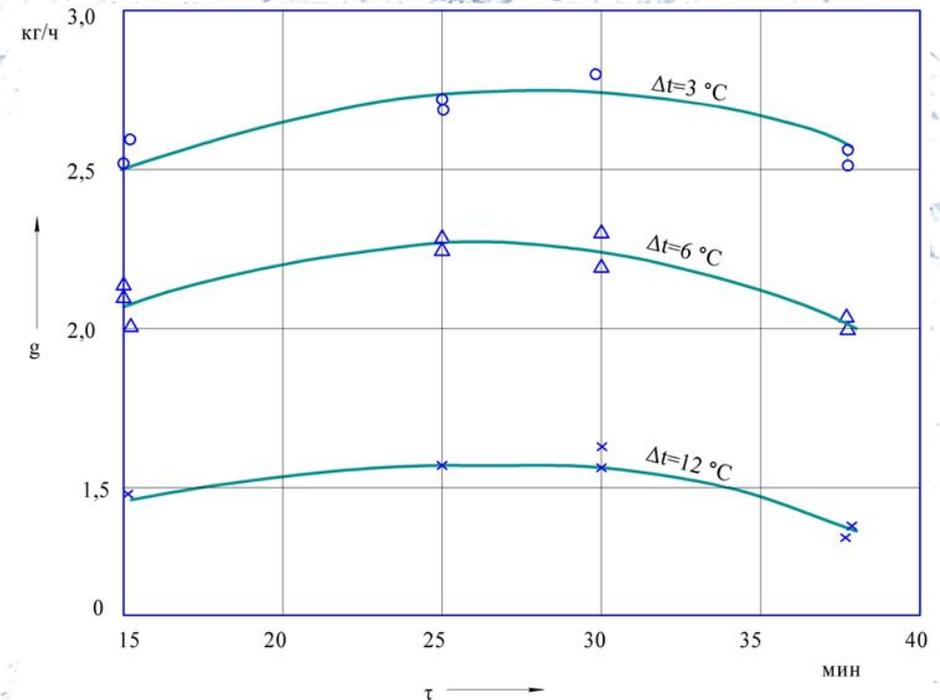
Зависимость толщины намораживаемого слоя льда от времени для раствора с концентрацией  $C = 5,8\%$  и начальной температурой: 1 –  $t_p = -2,0\text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 –  $t_p = -1,6\text{ }^\circ\text{C}$ .

Изменение скорости затвердевания в зависимости от времени для раствора с постоянной начальной температурой  $t_3 = 1,0\text{ }^\circ\text{C}$  и концентрацией соли: 1 –  $C = 0\%$ ; 2 –  $C = 1,7\%$ ; 3 –  $C = 3,8\%$ .

# ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ

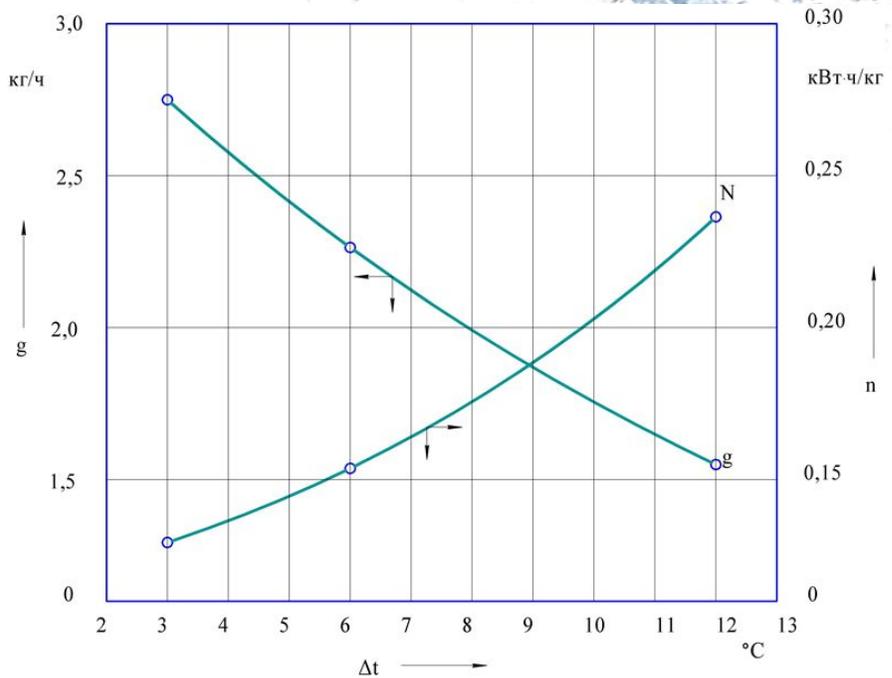


Зависимость производительности  $g$ , кг/ч, удельных затрат энергии  $n$ , кВт·ч/кг и расхода холода  $q$ , кДж/кг от начальной температуры охлаждаемого раствора  $t$ , °C при скорости вращения мешалки равной  $10 \text{ мин}^{-1}$

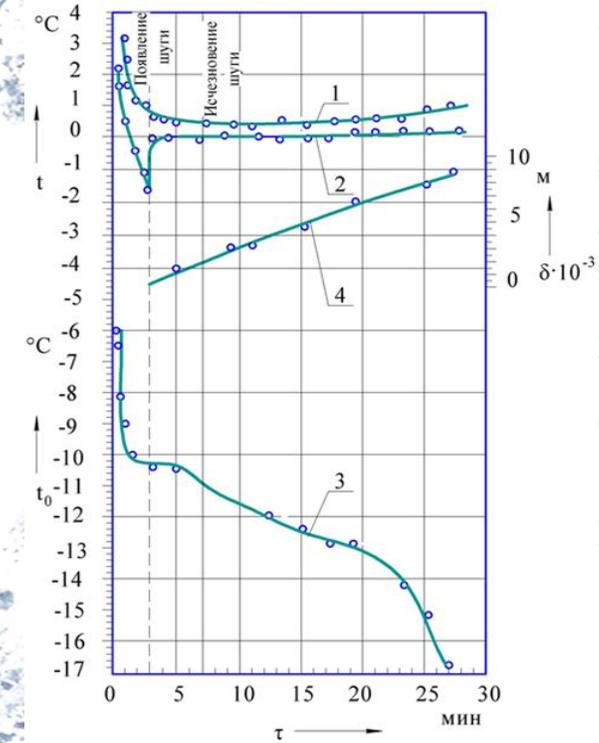


Зависимость производительности  $g$ , кг/ч от продолжительности цикла  $\tau$ , мин. и увеличения температуры воздуха, охлаждаемого конденсатор при начальной температуре раствора  $8^\circ\text{C}$ , концентрации соли  $3,8\%$  и скорости вращения мешалки равной  $10 \text{ мин}^{-1}$

# ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ



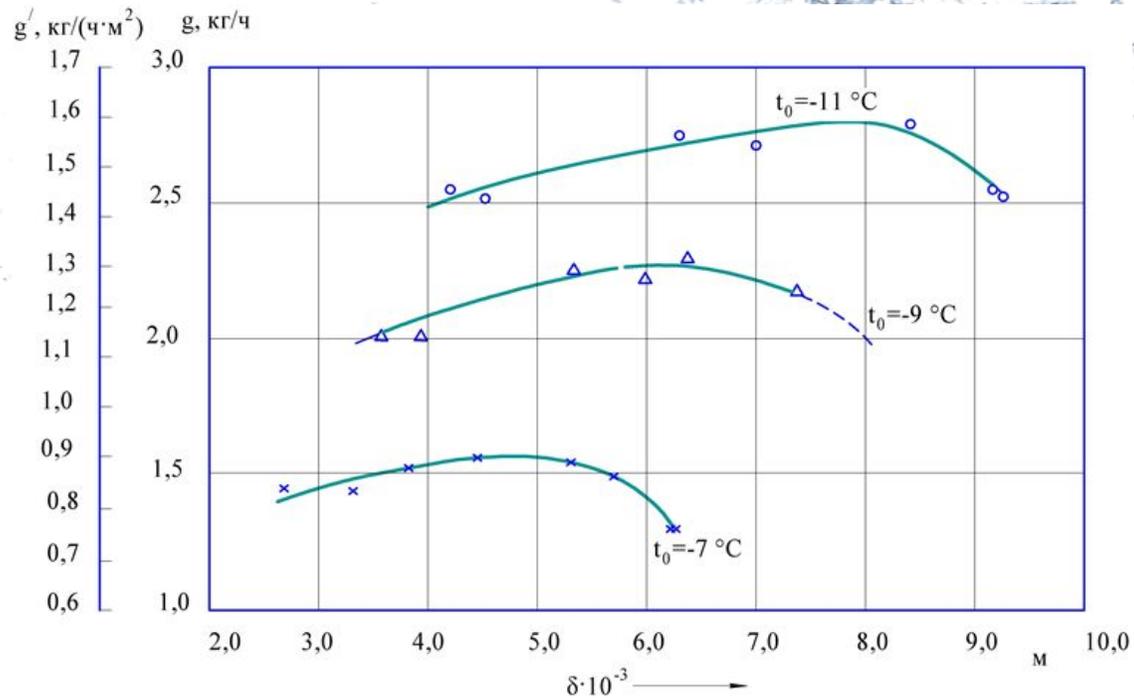
Зависимость производительности  $g$ , кг/ч и удельных затрат энергии  $n$ , кВт·ч/кг от увеличения температуры воздуха  $\Delta t$ , охлаждаемого конденсатор при начальной температуре раствора 8 °С, концентрации соли 3,8 % и скорости вращения мешалки 10 мин<sup>-1</sup>



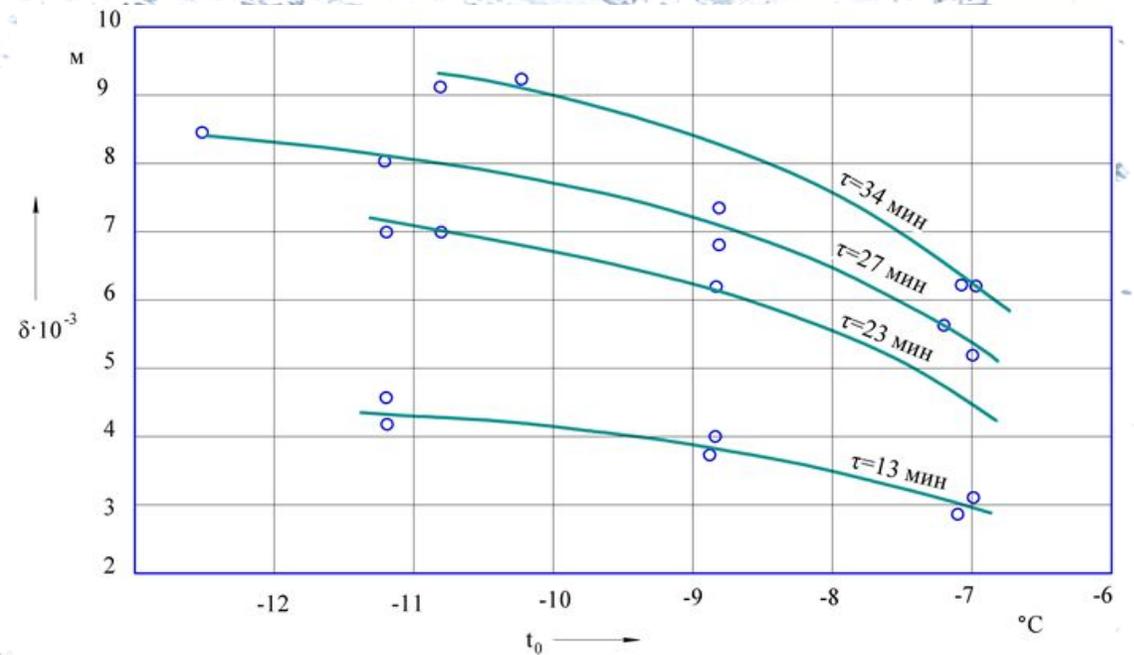
Зависимость температуры раствора  $t$ , °С толщины слоя льда  $\delta$ , м и температуры кипения хладагента от времени намораживания льда  $\tau$ , мин.:

- 1–температура воды в верхней части цилиндра; 2–температура раствора в нижней части цилиндра; 3–температура кипения хладагента; 4–толщина

# ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

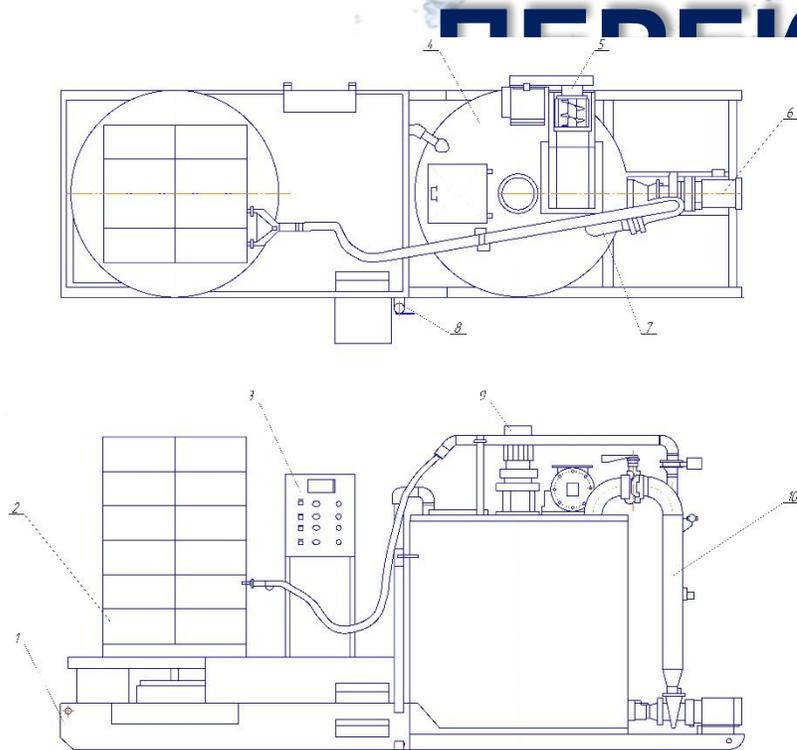


Зависимость удельных производительностей  $g$  и  $g'$  от толщины льда  $\delta$ , м и температуры кипения  $t_0$ , °C при начальной температуре раствора 12 °C без перемешивания

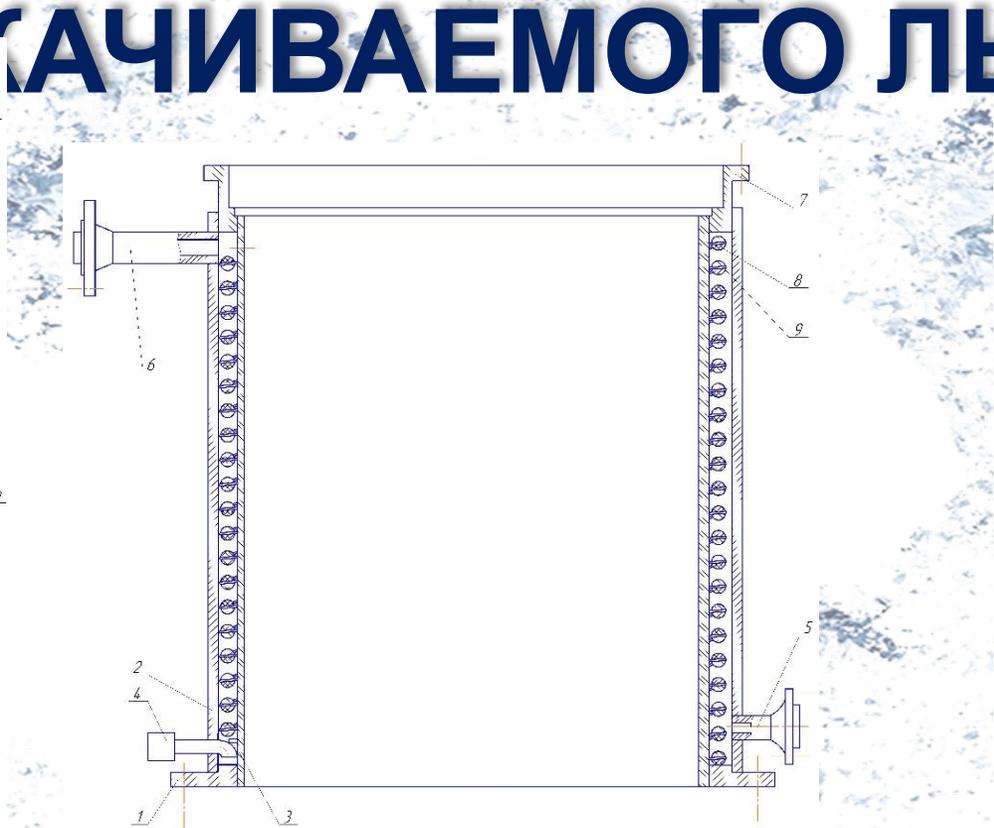


Зависимость толщины льда  $\delta$ , м от температуры кипения хладагента  $t_0$ , °C и продолжительности намораживания льда  $\tau$  при температуре поступающего раствора 12 °C без перемешивания

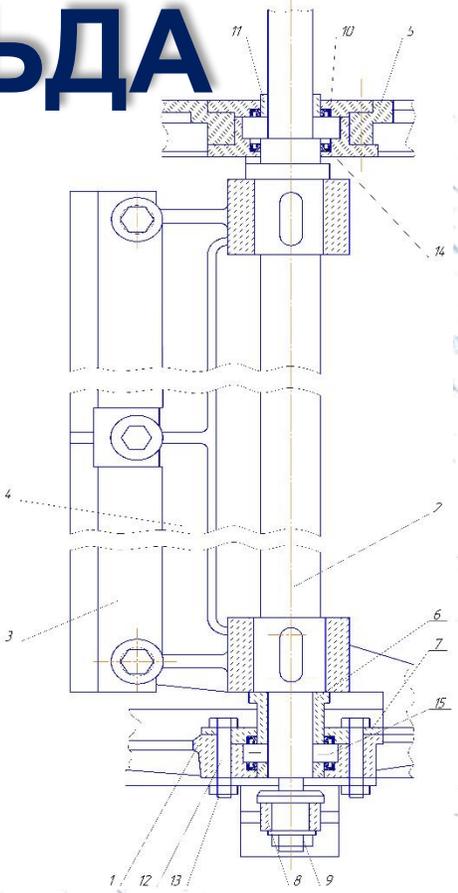
# РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЛЬДОГЕНЕРАТОРА ПЕРЕКАЧИВАЕМОГО ЛЬДА



Льдогенератор перекачиваемого льда:  
 1 – каркас; 2 – стеллаж накопительный;  
 3 – пульт управления; 4 – испаритель;  
 5 – шнековый нагнетатель льда;  
 6 – привод насоса льдоводяной смеси;  
 7 – трубопровод подачи льдоводяной смеси;  
 8 – патрубок подачи воды на орошение;  
 9 – привод ножевого механизма;  
 10 – трубопровод рециркуляции



Испаритель: 1 – фланец; 2 – цилиндр  
 наружный;  
 3 – цилиндр внутренний; 4 – трубка;  
 5 – штуцер подачи хладагента;  
 6 – штуцер отвода паров хладагента;  
 7 – рама опорная; 8 – поплавок;  
 9 – держатель терморезистора



Ножевое устройство для срезания слоя льда:  
 1 – опора нижняя; 2 – опора верхняя; 3 – вал вертикальный;  
 4 – нож; 5 – опора ножа; 6 – втулка опорная; 7 – крышка  
 накладная;  
 8 – втулка концевика; 9 – гайка; 10 – крышка;  
 11 – втулка упорная; 12 – болт; 13 – гайка;  
 14 – манжета; 15 – подшипник

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА

## ЛЬДОГЕНЕРАТОРА

## ПЕРЕКАЧИВАЕМОГО ЛЬДА

Продолжительность замораживания определяется по формуле Фурье:

(1)

По необходимой производительности рассчитываем геометрические размеры ледогенератора:

(2)

$$\tau_z = \frac{10^3 \cdot q_z \cdot \rho_{np} \cdot \delta_{np}}{t_{кр} - t_0} \left( \frac{1}{\alpha_0} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{0,5 \cdot \delta_{np}}{\lambda_{np.z}} + \frac{1}{\lambda_l} \right)$$

Угловая скорость вращения вала, рад/с

$$\Pi = V \cdot \rho_l \cdot \omega,$$

$$\omega = \pi n / 30,$$

(3)

Объем намораживаемого льда, м³:

$$V = S_k \cdot H,$$

(4)

Площадь поперечного сечения намораживаемого льда, м²:

$$S_k = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot h$$

(5)

Тогда

$$V = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot H \cdot h$$

(6)

Для определения геометрических размеров ледогенератора выразим произведение D·H

$$\frac{\Pi}{2 \cdot \pi \cdot \rho_l \cdot \omega \cdot h}$$

$$D \cdot H =$$

(7)

Объем намораживаемого льда на стенках морозильного барабана разработанного ледогенератора V<sub>ф</sub>, м³.

$$V_{\phi} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\phi} \cdot H_{\phi} \cdot h,$$

(8)

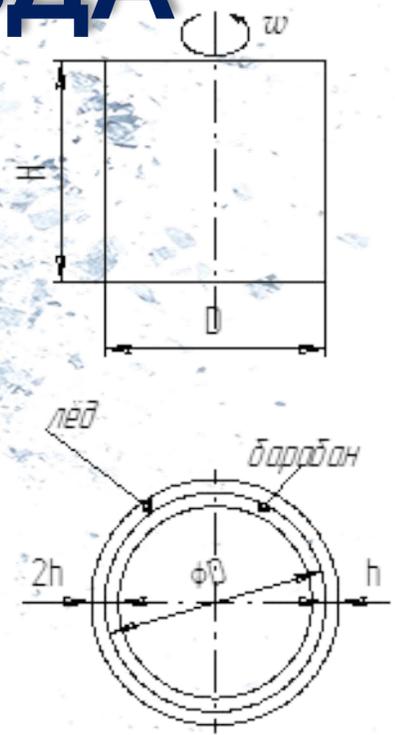


Схема намораживания льда

# ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Проанализированы способы и оборудование для получения перекачиваемого льда. Наиболее распространенным оборудованием для производства льда являются льдогенераторы. Для его получения актуальными остаются теплообменные аппараты с различными способами охлаждения поверхности теплообмена и конструктивным исполнением устройств для перемешивания и срезания вымороженного льда, которые отличаются высокой энергоэффективностью, производительностью, а также просты в конструкции.

Изучены основные свойства и характеристики перекачиваемого льда: плотность, теплопроводность, принципы и характер формирования льда и т.д.

Исследован процесс льдообразования при охлаждении соленых вод. Установлено, что при постоянной концентрации раствора увеличение его начальной температуры приводит к уменьшению толщины затвердевшего слоя, а также при постоянной начальной температуре раствора увеличение концентрации приводит к уменьшению толщины затвердевшего слоя и снижению скорости замораживания.

Исследован процесс получения перекачиваемого льда. Анализ работы холодильного агрегата показал, что экспериментальная установка работала при средних температурах кипения  $t_0 = -11,6 \text{ }^\circ\text{C}$  и конденсации  $t_k = 29 \text{ }^\circ\text{C}$  в период создания перекачиваемого льда, что также можно считать нормальным. Подогрев паров на всасывании составил около  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Разработана методика инженерного расчета льдогенератора перекачиваемого льда. Максимальная производительность разработанного льдогенератора обеспечивает большой запас по производительности. Возможность менять угловую скорость вала с ножом, тем самым изменяя время намораживания и закаливания льда, позволяет в широком диапазоне менять производительность.

**Спасибо за внимание!**

Спасибо за внимание!

**Спасибо за внимание!**