

Автореф

Б44

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

БЕЛЬЧЕНКО Владимир Михайлович

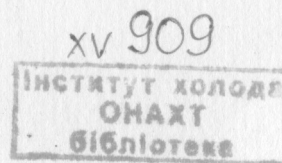
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЕЙ
С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ИНТЕОБРАЗОВАНИЯ.

Специальность 05.04.03 - Машины и аппараты холодильной и
криогенной техники и систем кондиционирования.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса 1990



Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
ЧЕПУРНИКОВ В.П.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Захаров Ю.В.
- кандидат технических наук, доцент
Онищенко В.П.

Ведущая организация - ВНИИ "Биотехника", г.Одесса

Защита диссертации состоится "28" января 1991 г.
в "11.00" часов на заседании специализированного совета
К.068.27.01 при Одесском институте низкотемпературной техники
и энергетики по адресу: 270057, г. Одесса, ул.Петра Великого,
1/3, ОИМТЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "28" января 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
К.Т.Н., доцент

Р.К.Никульшин

20-03-1341

Подписано к печати 26.12.90.
Заказ 2165-90.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основной задачей настоящего времени является удовлетворение потребностей населения в продуктах питания. Создание современных теплообменных аппаратов эффективно работающих в условиях инееобразования в течение длительного времени является сложной научно-технической задачей, что нашло свое отражение в Постановлении ЦК КПСС и СМ СССР от 22.11.87г. №1311 "О мероприятиях по увеличению производства и повышению технического уровня оборудования для перерабатывающих отраслей Агропромышленного комплекса в 1988-1995 гг."

Благодаря развитию ЭВМ все большее значение в технике и технологии приобретают системы автоматизированного проектирования (САПР). Для обеспечения функционирования систем автоматизированного проектирования необходимо создание соответствующих методик и прикладных программ для расчета конкретных конструкций.

В проведенных ранее исследованиях, посвященных изучению процессов инееобразования на трубах с шайбовым оребрением, либо не учитывались некоторые факторы, либо в предлагаемых зависимостях включались величины, определение которых затруднительно, что не позволяет достаточно точно определять параметры инея, образующегося на теплообменной поверхности.

Цель работы. Основной целью работы является изучение процесса инееобразования, анализ степени влияния отдельных факторов на этот процесс; создание методик, программ и программных комплексов, имеющих как научное, так и прикладное значение, позволяющих моделировать реальные режимы работы воздухоохладителей с шайбовым оребрением.

Задачи исследования. Разработка и создание исследовательского стенда для постановки физического эксперимента процесса инееобразования; разработка и создание программных комплексов обработки и анализа экспериментальных данных; проведение экспериментальных работ, обработка полученных данных и анализ фактических материалов с последующим созданием моделей процесса инееобразования; разработка на базе отдельных моделей процессов программного комплекса для проектных работ.

Научная новизна. Полученные математические модели процессов теплообмена протекающих при инееобразовании позволяют вести расчеты теплообменных аппаратов с шайбовым оребрением при переменных значениях температуры воздуха, относительной влажности, скорости воздушного потока меняющихся во времени. Произведена ко-

личественная и качественная оценка процесса инееобразования на теплообменной поверхности в исследованном диапазоне изменения параметров.

Основные научные положения, защищаемые в работе.

1. Положение зоны максимальной интенсивности инееобразования по глубине пучка определяется значением относительной влажности набегающего потока.

2. Плотность инея линейно зависит от его толщины и, в основном определяется температурой кипения хладагента, температурой, относительной влажностью и массовой скоростью охлаждаемого воздуха.

Научный результат. Методы анализа и обработки экспериментальных данных с помощью дисперсионного анализа, разработанные в рамках математической статистики, могут применяться для факторного анализа процесса инееобразования, что показано на примере пучков биметаллической литой поверхности (БЛП), выполненной способом литья под давлением.

Проведенная серия экспериментальных исследований по пятифакторному (с полурепликой) ротационному плану Бокса в диапазоне: температура кипения $T_0 = 235...231^\circ\text{K}$, температура входящего воздуха $T_B = 255...243^\circ\text{K}$, относительная влажность воздуха на входе $\varphi = 80...100\%$, массовая скорость воздуха на входе $(w \cdot \rho) = 3...9 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$ и время работы аппарата $\tau = 1...5$ часов, позволили получить зависимости, для определения оптимальных геометрических и режимных параметров воздухоохладителей с БЛП. Сформулированы рекомендации по конструктивному оформлению и режимам работы вышеуказанных теплообменных аппаратов.

Практическая ценность работы. Эмпирические зависимости полученные в результате экспериментальных исследований, позволяют определять геометрические и режимные параметры для расчетов реальных теплообменных аппаратов, используемых для охлаждения воздуха, в условиях инееобразования.

Результаты работы использовались ВНИИ "Биотехника", ВПО "Нектар".

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 работ.

Апробация работы. Результаты работы частично докладывались: на УП Республиканской конференции "Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств", г. Львов (1988г.); на XI *Lebensmitteltechnischen Kolloquium*, ГДР, г. Кетен (1988г.); на Всесоюзной научно-практической конференции

"Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле и на транспорте", г. Одесса (1989г.); на I conferencia internacional de refrigeracion, climatizacion y energia no convencional, Куба, г. Гавана (1990г.); на Joint Meeting of Commissions B2, C2, D1, D2/3 of the International Institute of Refrigeration Paris IIR/IIF Progress in the Science and Technology of Refrigeration, especially in food processing, ГДР, г. Дрезден (1990г.).

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Диссертация содержит 147 страниц машинописного текста, в том числе 5 таблиц, 44 рисунка. Библиография включает 128 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована необходимость работы и ее актуальность. Сформулированы задачи, посредством решения которых достигается поставленная цель, приведены научные положения, научная новизна, практическая ценность, апробация, объем и структура работы.

В первой главе проведен анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы по тепломассообмену в теплообменных аппаратах работающих в условиях инееобразования. Имеющиеся в литературе зависимости, позволяющие оценить интенсивность названных процессов, приводятся для конкретных условий. Это объясняется нелинейным характером исследуемых явлений, зависящим от многих факторов. Аналитическое решение для подобной задачи, без существенных упрощений, представляется крайне затруднительно, или вообще невозможно без проведения дополнительной корректировки, что в полной мере относится и к имитационному моделированию. Показано, что мы не имеем исчерпывающих сведений о механизме процесса инееобразования. Можно назвать только параметры, определяющие условия протекания процесса и требования к его результатам. В этих условиях целесообразно использовать кибернетический подход ("черный ящик"). Результатом кибернетического подхода явилось создание статистических моделей, получаемых в результате статистической обработки экспериментальных данных.

Обоснована необходимость разработки и создания экспериментального стенда, а также методик и программных комплексов для обработки полученной информации.

Во второй главе рассматривается методика экспериментальных исследований процесса инееобразования. В целях проведения актив-

ных экспериментов был разработан и изготовлен стенд, конструкция которого предусматривает возможность изменения изучаемых факторов, а также объективную, количественную и качественную регистрацию исследуемых параметров.

Проведение исследований с применением математических методов планирования и анализа эксперимента позволяет избежать большинства недостатков, свойственных однофакторным методам экспериментальных исследований.

Зависимость между выходным параметром (откликом) и входными параметрами (факторами) представляет собой функцию отклика и имеет следующий вид:

$$y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5). \quad (I)$$

Уравнению (I) соответствует некоторая гиперповерхность в многомерном пространстве (поверхность отклика), а пространство в котором существует указанная поверхность называется факторным пространством.

Настоящая экспериментальная работа связана с варьированием следующих пяти факторов: температуры кипения хладагента (X_1), температуры воздуха на входе в воздухоохладитель (X_2), относительной влажности (X_3) и массовой скорости (X_4) воздуха, а также времени протекания процесса (X_5). При планировании эксперимента были учтены требования к независимым переменным: совместимость и некоррелированность.

Проведенный литературный обзор и поисковые эксперименты показали, что линейного приближения для описания процесса инеобразования недостаточно и поэтому было принято решение проводить экспериментальные исследования методом ротационного плана второго порядка с использованием матрицы планирования Бокса (таблица I) для пятифакторного эксперимента с полурепликой, так как этот метод дает возможность предсказывать значение функции отклика с дисперсией одинаковой на равных расстояниях от центра плана.

Кодирование факторов осуществлялось по формуле:

$$X_i = \frac{C_i - C_{0i}}{\Delta C_i}, \quad (2)$$

факторы, их кодированные значения, интервалы и уровни варьирования приведены в таблице I.

Для проведения экспериментов был разработан и изготовлен стенд "Аэродинамическое кольцо". Основным элементом стенда является кольцевой воздушный канал, в котором и осуществляется циркуляция влажного воздуха. Нижний воздуховод имеет разнопрофильное

Таблица 1.

Номер экспери- мента по плану Бокса	Ф а к т о р ы									
	Темпер. кипения хладагента		Темпер. воздуха на входе		Относит. влажн. воздуха		Массовая скорость воздуха		Время экспери- мента	
	X1	°K	X2	°K	X3	%	X4	кг/с·м ²	X5	сек
1	+	234	+	252	+	95	+	7,5	+	14400
2	-	234	-	252	+	95	+	7,5	-	7200
3	+	234	+	246	+	95	+	7,5	+	7200
4	-	234	-	246	+	95	+	7,5	-	7200
5	+	234	+	252	-	85	-	7,5	+	14400
6	-	234	-	252	-	85	-	7,5	-	7200
7	+	234	+	246	-	85	-	7,5	+	7200
8	-	234	-	246	-	85	-	7,5	-	7200
9	+	234	+	252	+	95	+	4,0	+	14400
10	-	234	-	252	+	95	+	4,0	-	7200
11	+	234	+	246	+	95	+	4,0	+	7200
12	-	234	-	246	+	95	+	4,0	-	7200
13	+	234	+	252	-	85	-	4,0	+	14400
14	-	234	-	252	-	85	-	4,0	-	7200
15	+	234	+	246	-	85	-	4,0	+	7200
16	-	234	-	246	-	85	-	4,0	-	7200
17	+	234	+	249	0	90	0	6,0	0	10800
18	-	234	-	249	0	90	0	6,0	0	10800
19	0	234	0	243	0	90	0	6,0	0	10800
20	0	234	0	255	0	90	0	6,0	0	10800
21	0	234	0	249	0	80	0	6,0	0	10800
22	0	234	0	249	+2	100	0	6,0	0	10800
23	0	234	0	249	0	90	-2	3,0	0	10800
24	0	234	0	249	0	90	+2	9,0	0	10800
25	0	234	0	249	0	90	0	6,0	0	3600
26	0	234	0	249	0	90	0	6,0	0	10800
27	0	234	0	249	0	90	0	6,0	0	10800
28	0	234	0	249	0	90	0	6,0	0	10800
29	0	234	0	249	0	90	0	6,0	0	10800
30	0	234	0	249	0	90	0	6,0	0	10800
31	0	234	0	249	0	90	0	6,0	0	10800
32	0	234	0	249	0	90	0	6,0	0	10800

сечения. На участке $\phi 0,4$ м вначале, по ходу воздуха установлен первый нагнетатель воздуха (эл.вентилятор ЭВР 6,0/50). Далее по ходу воздуха установлен экспериментальный узел, после которого смонтированы: электроннагреватель, еще один нагнетатель и увлажнитель.

Воздух, поднимающийся в верхнюю ветвь кольца проходит участок стабилизации равный 18-ти диаметрам воздуховода и попадает в измеритель расхода, в качестве которого использовалась камерная диафрагма.

Непосредственно экспериментальный узел собран из БЛП (3 типоразмера), собранных в шахматный пучок. В верхней части экспериментального узла предусмотрено двухстороннее освещение и смотровое окно для визуального наблюдения и фотографирования. В плоскости первого фронтального ряда установлены две трубки скоростного напора для контроля скорости воздуха в указанном сечении. Расход воздуха регулировался посредством изменения числа оборотов электродвигателей вентиляторов при помощи тиристорного регулятора оборотов.

Для поддержания необходимого температурного режима в кольце была разработана и смонтирована холодильная установка позволяющая эксплуатацию как по одноступенчатой (R22), так и по каскадной (R22, R13) схемам. Давление кипения хладагента в экспериментальном узле измерялось образцовым манометром. Температура на входе в экспериментальный узел контролировалась медь-константановыми термодарами и регулировалась с помощью электронагревателя.

Относительная влажность определялась расчетным путем и контролировалась гигрометром "Волна 1М", после соответствующей термической обработки воздуха. Контроль влажности осуществлялся до и после экспериментального узла.

После реализации рабочей матрицы при двух параллельных сериях экспериментов были получены значения функций отклика для каждой серии. Воспроизводимость процесса проверялась по критерию Кохрена:

$$C = \frac{S_u^2 \max}{\sum_{i=1}^n S_u^2} \leq G(0,05; f_n; f_u); \quad (3)$$

где $S_u^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{uj} - \bar{y})^2}{m - 1}$ - дисперсия, характеризующая рассеяние результатов опытов на u -м сочетании уровней факторов.

Адекватность модели оценивалась по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_{ад}}{S_0} \quad (4)$$

Условие адекватности: рассчитанное значение F - критерия меньше соответствующего табличного при заданном уровне значимости.

Оценка значимости коэффициентов регрессии производилась с помощью критерия Стьюдента. Коэффициент считался значимым, если выполнялось неравенство:

$$|b_i| \geq b_i = t(0,05; y) \cdot S y / \sqrt{n}; \quad (5)$$

Используя приведенные положения, а также положения теории регрессионного анализа, положенного в основу обработки экспериментальных данных, разработан (на языке "С") блок программ "FACTOR.C" для персональных ЭВМ типа IBM (XT, AT).

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных согласно ротационному плану Бокса, динамики инеобразования на фронтальном ряду теплообменного пучка. Обработка полученных результатов программным комплексом "FACTOR.C" позволила получить в закодированном виде зависимость моделирующую в исследуемом диапазоне режимных параметров процесс

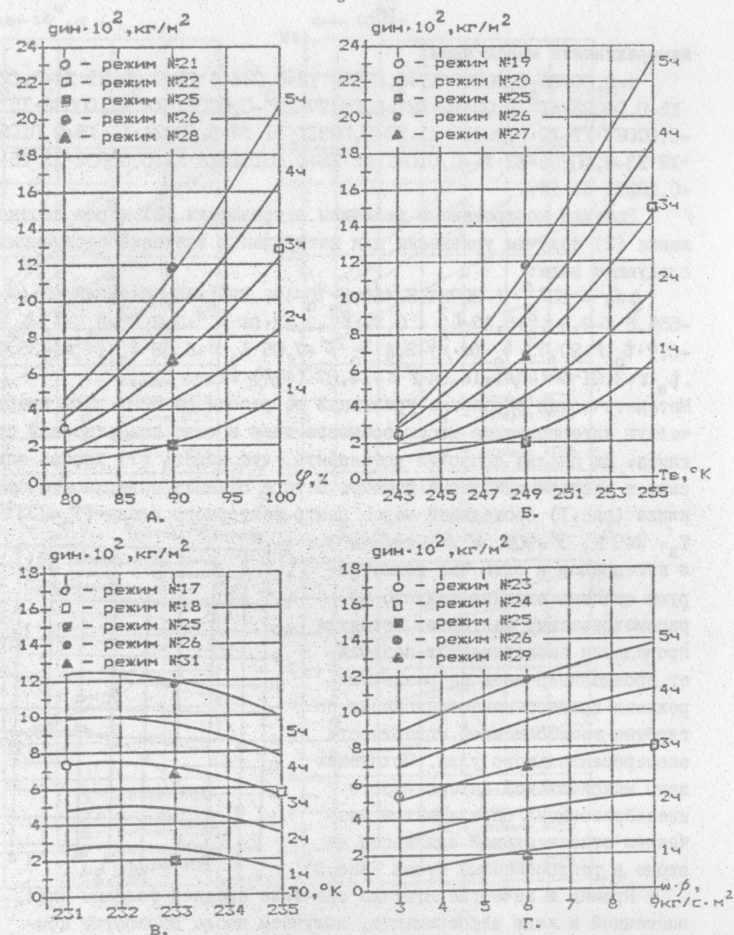


Рис. 1. Динамика изменения образовавшейся удельной массы инея в зависимости от: А - относительной влажности воздуха; Б - температуры охлаждаемого воздуха; В - температуры кипения хладагента; Г - массовой скорости воздуха.

намораживания массы инея:

$$\begin{aligned} y = & 0,06765 - 0,00359 \cdot X_1 + 0,03158 \cdot X_2 + 0,02446 \cdot X_3 + 0,00731 \cdot X_4 + 0,02378 \cdot \\ & \cdot X_5 - 0,00023 \cdot X_1^2 + 0,00492 \cdot X_2^2 + 0,00177 \cdot X_3^2 - 0,00057 \cdot X_4^2 + 0,00032 \cdot X_5^2 - \\ & - 0,00063 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,00035 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,00311 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,00024 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,01058 \cdot \\ & \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,00296 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,01062 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,00151 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,00802 \cdot X_3 \cdot X_5 + \\ & + 0,00211 \cdot X_4 \cdot X_5. \end{aligned} \quad (6)$$

Заменяя кодированные величины в уравнении (6) через соотношение (2) получим уравнение для натуральных значений переменных в следующем виде:

$$\begin{aligned} \delta_{\text{ин}} = 10^{-4} \cdot (-20784,5 - 450,5 \cdot t_0 - 496,8 \cdot t_B + 58,56 \cdot \varphi + 842,93 \cdot (\omega \cdot \rho) - \\ - 555,8 \cdot \tau - 2,3 \cdot t_0^2 + 5,47 \cdot t_B^2 + 0,71 \cdot \varphi^2 - 2,53 \cdot (\omega \cdot \rho)^2 + 3,2 \cdot \tau^2 - 2,1 \cdot t_0 \cdot t_B + \\ + 0,7 \cdot t_0 \cdot \varphi + 20,73 \cdot t_0 \cdot (\omega \cdot \rho) - 2,4 \cdot t_0 \cdot \tau + 7,05 \cdot t_B \cdot \varphi + 6,58 \cdot t_B \cdot (\omega \cdot \rho) + 35,4 \cdot \\ \cdot t_B \cdot \tau + 2,01 \cdot \varphi \cdot (\omega \cdot \rho) + 16,04 \cdot \varphi \cdot \tau + 14,07 \cdot (\omega \cdot \rho) \cdot \tau). \end{aligned} \quad (7)$$

Математическая обработка уравнений регрессии на ПЭВМ дала графическую интерпретацию массы осевшего инея в виде поверхностей отклика. Их анализ позволил установить, что модель (7) хорошо описывает экспериментальные данные. Четыре сечения поверхности отклика (рис.1) проходящей через центр факторного плана ($T_0 = 233^\circ\text{K}$, $T_B = 249^\circ\text{K}$, $\varphi = 90^\circ$, $\omega \cdot \rho = 6 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$) с интервалом в один час иллюстрируют степень влияния каждого из рассматриваемых факторов. Методика проведения экспериментов позволяет проанализировать на различных режимах процесс инеобразования по глубине теплообменной поверхности экспериментального узла. Положение зоны максимальной интенсивности инеобразования определяется значением относительной влажности на входе в теплообменный пучок (рис.2).

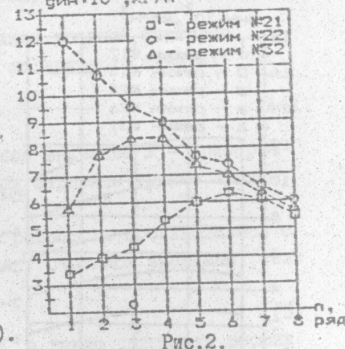


Рис.2.

Приняв в качестве отклика значение средней толщины инея, оцененной в ходе эксперимента, получаем после обработки комплексом "FACTOR.C" соответствующую закодированную модель, заменив в которой кодированные значения на натуральные, запишем зависимость для определения средней толщины инея на теплообменной поверхности при известных параметрах (t_0 , t_B , φ , $\omega \cdot \rho$, τ):

$$\begin{aligned} \delta_{\text{ин}} = 10^{-6} \cdot (2999,77 + 350,9 \cdot t_0 + 241,08 \cdot t_B + 124,86 \cdot \varphi + 203,11 \cdot \\ \cdot (\omega \cdot \rho) + 136,09 \cdot \tau - 0,52 \cdot t_0^2 - 1,44 \cdot t_B^2 - 0,77 \cdot \varphi^2 - 11,32 \cdot (\omega \cdot \rho)^2 - 37,96 \cdot \tau^2 + \\ + 11,67 \cdot t_0 \cdot t_B - 1,75 \cdot t_0 \cdot \varphi + 2,5 \cdot t_0 \cdot (\omega \cdot \rho) + 2,5 \cdot t_0 \cdot \tau + 1,83 \cdot t_B \cdot \varphi + 3,33 \cdot \\ \cdot t_B \cdot (\omega \cdot \rho) + 2,01 \cdot \varphi \cdot \tau + 16,04 \cdot (\omega \cdot \rho) \cdot \tau). \end{aligned}$$

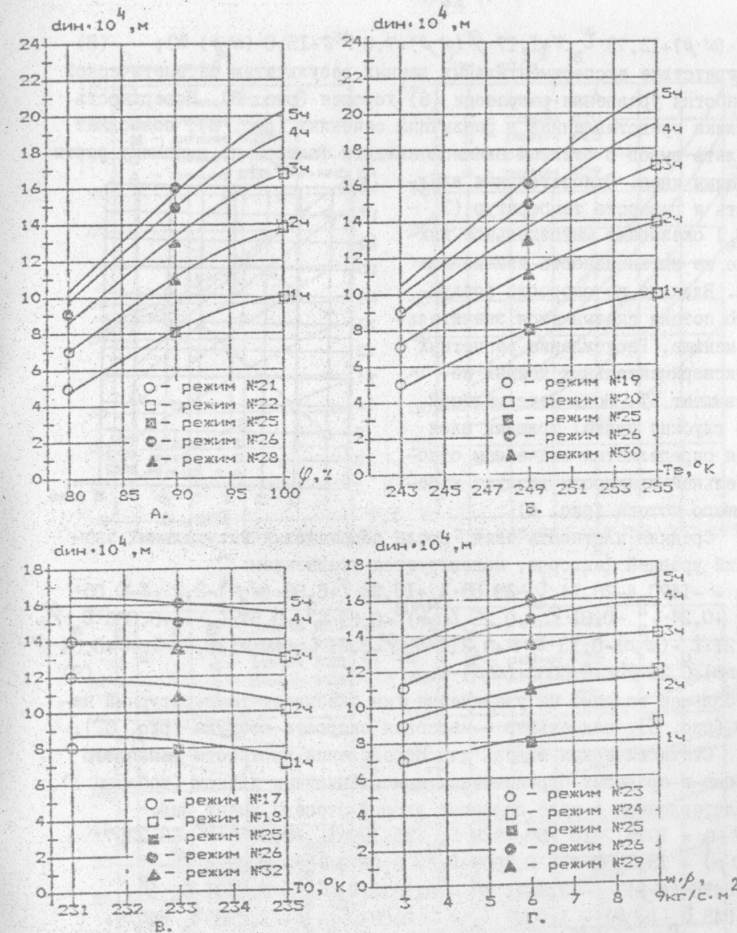


Рис. 3. Динамика изменения толщины инея в зависимости от: А — относительной влажности воздуха; Б — температуры охлаждаемого воздуха; В — температуры кипения хладагента; Г — массовой скорости воздуха.

$\dot{t}_B \cdot (\omega \cdot \rho) + 13,75 \cdot \dot{t}_B \cdot \tau + 1,17 \cdot \varphi \cdot (\omega \cdot \rho) + 7,0 \cdot \varphi \cdot \tau + 15,0 \cdot (\omega \cdot \rho) \cdot \tau$; (8)

Соответствие экспериментальных данных результатам математической обработки уравнения регрессии (8) хорошее (рис. 3). Поверхность отклика представленная в различных сечениях (рис. 3), позволяет сделать вывод о степени влияния каждого фактора на динамику роста толщины инея. Относительная влажность и разность температур ($T_B - T_0$) оказывают максимальное влияние на интенсивность изменения $d_{ин}$. Влияние же скорости воздушного потока сказывается значительно меньше. Расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 5%. Зона максимальной (по глубине пучка) толщины слоя инея определяется значением относительной влажности воздуха набегающего потока (рис. 4).

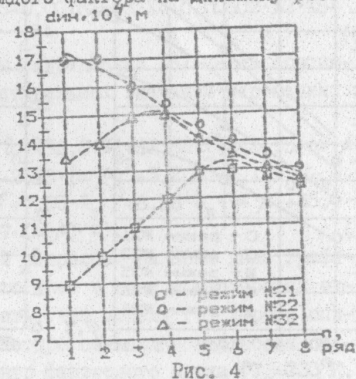


Рис. 4

Средняя плотность инея, после подстановки натуральных значений уровней факторов, моделируется уравнением:

$$\begin{aligned} \rho_{ин} = & -1470,4 - 28,14 \cdot \dot{t}_B - 29,55 \cdot \dot{t}_0 + 10,92 \cdot \varphi + 8,98 \cdot (\omega \cdot \rho) - 2,27 \cdot \tau - 0,05 \cdot \dot{t}_0^2 + \\ & + 0,24 \cdot \dot{t}_B^2 - 0,01 \cdot \dot{t}_0^2 + 0,25 \cdot (\omega \cdot \rho)^2 - 0,09 \cdot \tau^2 - 0,57 \cdot \dot{t}_0 \cdot \dot{t}_B + 0,086 \cdot \dot{t}_0 \cdot \varphi + \\ & + 0,21 \cdot \dot{t}_0 \cdot (\omega \cdot \rho) - 0,13 \cdot \dot{t}_0 \cdot \tau + 0,214 \cdot \dot{t}_B \cdot \varphi + 0,21 \cdot \dot{t}_B \cdot (\omega \cdot \rho) + 0,89 \cdot \dot{t}_B \cdot \tau + 0,04 \cdot \varphi \cdot \\ & \cdot (\omega \cdot \rho) + 0,32 \cdot \varphi \cdot \tau + 0,0053 \cdot (\omega \cdot \rho) \cdot \tau. \end{aligned} \quad (9)$$

Наибольшее влияние на увеличение $\rho_{ин}$ оказывает температурный напор (рис. 5), наименьшее – массовая скорость воздуха (рис. 5Г).

Статистическая модель для определения плотности теплового потока в пределах ограниченного композиционного плана (таблица I), представленная в виде полинома второй степени, имеет вид:

$$\begin{aligned} q = & 1075,7413 + 57,4928 \cdot \dot{t}_0 + 25,189 \cdot \dot{t}_B + 8,8753 \cdot \varphi + 63,2367 \cdot (\omega \cdot \rho) + \\ & + 13,7758 \cdot \tau + 0,8609 \cdot \dot{t}_0^2 + 0,3279 \cdot \dot{t}_B^2 - 0,0394 \cdot \dot{t}_0 \cdot \dot{t}_B - \\ & - 0,8476 \cdot (\omega \cdot \rho)^2 - 3,6211 \cdot \tau^2 - 0,1524 \cdot \dot{t}_0 \cdot \dot{t}_B + 0,0481 \cdot \dot{t}_0 \cdot \varphi - \\ & - 1,045 \cdot \dot{t}_0 \cdot (\omega \cdot \rho) - 1,0047 \cdot \dot{t}_0 \cdot \tau - 0,084 \cdot \dot{t}_B \cdot \varphi + 1,298 \cdot \dot{t}_B \cdot (\omega \cdot \rho) + \\ & + 0,14 \cdot \dot{t}_B \cdot \tau - 0,48 \cdot \varphi \cdot (\omega \cdot \rho) - 0,41 \cdot \varphi \cdot \tau - 0,01 \cdot (\omega \cdot \rho) \cdot \tau. \end{aligned} \quad (10)$$

Плотность теплового потока сначала увеличивается, а затем уменьшается (рис. 6). Максимальная q наблюдается в интервале 1...3 часа. Проведенные эксперименты вне факторного пространства (по τ) показали, что стабилизация удельной тепловой нагрузки не наступает и после 10 часов, что является результатом пониженной интенсивности инеобразования в рассматриваемом температурном диапазоне.

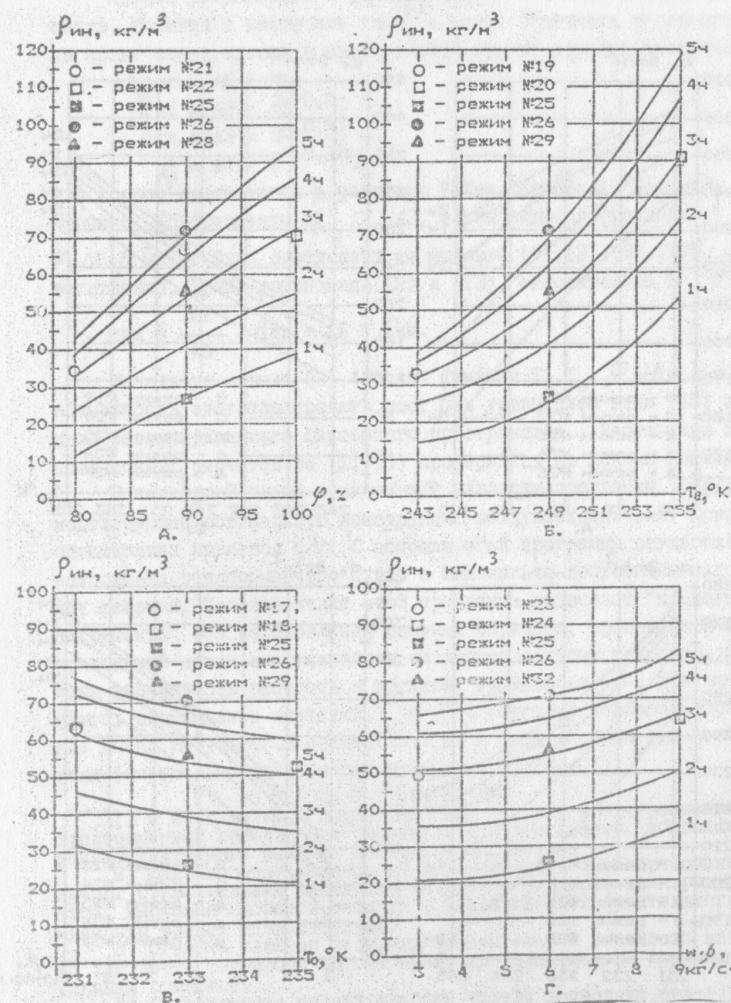


Рис. 5. Динамика изменения плотности инея в зависимости от: А – относительной влажности воздуха; Б – температуры охлаждаемого воздуха; В – температуры кипения хладагента; Г – массовой скорости воздуха.

I4

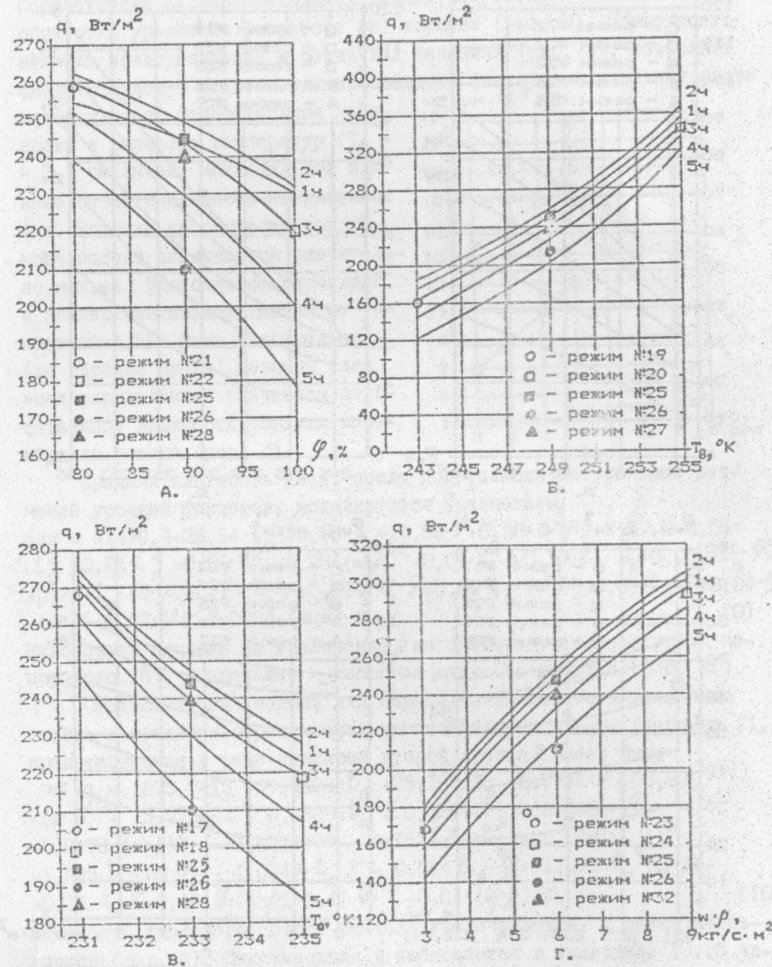


Рис. 6. Динамика плотности теплового потока в зависимости от: А - относительной влажности воздуха; Б - температуры охлаждаемого воздуха; В - температуры кипения хладагента; Г - массовой скорости воздуха.

I5

Анализ результатов в рамках плана, позволяет утверждать, что масса, толщина и плотность инея, а также плотность теплового потока могут определяться в произвольный момент времени зависимостями:

$$d_{\text{ин}} = A1 \cdot \tau; \quad (I1)$$

$$\lambda_{\text{ин}} = A2 \cdot \tau^{0,5}; \quad (I2)$$

$$\rho_{\text{ин}} = A3 \cdot \tau^{0,5}; \quad (I3)$$

$$q = A4 \cdot \tau^{-0,18}; \quad (I4)$$

что хорошо согласуется с работами Уайта, Кремерса, Ломакина, Чепурного. Коэффициенты $A1, A2, A3, A4$, являющиеся функциями T_0, T_b , φ, ω, ρ могут быть определены из моделей (7), (8), (9), (10), соответственно. Решив уравнения (I2) и (I3), относительно τ , получаем:

$$\rho_{\text{ин}} \equiv \frac{A2}{A3} \cdot d_{\text{ин}} = A5 \cdot d_{\text{ин}}. \quad (I5)$$

Используя модели (8), (9), как функции $T_0, T_b, \varphi, \omega, \rho$ и τ мы имеем возможность экстраполировать рост $\rho_{\text{ин}}$ уравнением вида (I5) за пределы рассматриваемого факторного пространства. Результаты экстраполических расчетов по (II-I5) проверялись по данным Хмаладзе.

В четвертой главе представлен алгоритм программы "SEKTIOMI.C", моделирующей оптимальную конструкцию воздухоохладителя. Критерием оптимизации является Q/V . С помощью этой программы осуществляется компоновка теплообменного пучка с минимально-допустимым шагом между ребрами. Использование этой программы позволяет "проводить эксперименты" без изготовления опытных образцов, проводить целенаправленный поиск и оптимизацию по любому другому критерию. Появляется возможность работать в областях труднодоступных для эксперимента; определение значений T_b и φ в середине теплообменного пучка. Вывод результатов осуществляется в виде удобном для пользователя (специально разработана программа "GROGA.C").

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. С максимальной интенсивностью процесс инеобразования на теплообменной поверхности протекает при достижении набегающего потока охлаждаемого воздуха состояния насыщения.
2. Максимальное влияние на интенсивность инеобразования оказывают относительная влажность воздуха и разность температур ($T_b - T_0$); массовая скорость воздуха в живом сечении фронтального ряда аппарата влияет незначительно.
3. Степень влияния величины относительной влажности воздуха на плотность теплового потока прямо пропорциональна времени протекания процесса.
4. Предложенные математические модели позволяют определять массу инея, его толщину и плотность образовавшегося слоя, а также плотность теплового потока. Разработана методика для расчета полученных величин за пределы рассматриваемого факторного пространства.
5. Разработанный универсальный комплекс программ "FACTOR.C" позволяет обрабатывать результаты многофакторного (не более 7) эксперимента (как полнофакторного, так и с полурепликацией), выполненного с применением методов ротационного планирования.

xv 909

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
Библиотека

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
Библиотека

6. Для более экономичной работы воздухоохладителей необходимо расширить типоразмерный ряд БШ. Оптимальным нам видится дополнительное создание оребренных труб с шагом между ребрами: 0,008; 0,009; 0,011; 0,012; 0,014; 0,015; 0,017; 0,018; 0,019 метра.

7. При реализации поточного метода холодильной обработки продукта выбор конструктивных параметров необходимо осуществлять в соответствии с конкретными значениями T_0 , T_w , φ , ω , τ .

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

1. Бельченко В.М. Алгоритмизация расчетов оптимальных конструкций аппаратов воздушного охлаждения с литой теплообменной поверхностью. III Всесоюзная научно-техническая конференция молодых специалистов по холодильной технике и технологии. Тезисы докладов. Ленинград 1977 - с.116-117.

2. Чепурненко В.П., Бельченко В.М., Войтко А.А. Модульные аммиачные воздухоохладители с биметаллической оребренной поверхностью. // Тезисы VII Республиканской конференции "Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств". - Львов, АН УССР. - 1988, часть I, с. 94-95.

3. Математическая модель работы поверхностного воздухоохладителя в условиях интенсивного инееобразования. В.М.Бельченко, А.А.Войтко, С.В.Холод и др. / Информационный листок о научно-техническом достижении №88-097. - Одесса, ОНТИ, - 1988, 4 с.

4. Разработка и исследование диалогового комплекса программ, имитирующего работу пучка оребренных труб в условиях инееобразования. А.А.Войтко, В.П.Чепурненко, В.М.Бельченко, А.Н.Стогнийчук // Тезисы Всесоюзной научно-практической конференции "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях промышленного комплекса, торговле и на транспорте". - Одесса, ГКНТ СССР, - 1989, секция II, с.21.

5. Бельченко В.М., Парижский О.В., Хмаладзе О.Ш., Бельченко Е.Н. Экспериментальные исследования тепломассообмена и аэродинамики воздухоохладителей с литой биметаллической поверхностью. - Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле и на транспорте. Тезисы докладов. - Одесса 1989. с.53.

6. Cherpurnenko V.P., Belchenko V.M., Voitko A.A. Augmentation de l'effectivite des appareils pour la congelation rapide des vivres. I Conferencia internacional de refrigeracion, climatizacion y energia no convencional. - Habana, Cuba. 1990 - p. 29.

7. Чепурненко В.П., Шевченко В.Э., Войтко А.А., Бельченко В.М. Воздухоохладители типа ВОМ.БШ. // Холодильная техника. - 1990. - № 6. - с.59-60.

8. В.П.Чепурненко, В.М.Бельченко, А.А.Войтко, С.В.Холод. Алгоритм программы, моделирующей оптимальную конструкцию теплообменной секции скороморозильного аппарата. // Холодильная техника и технология: Респ. межвед. научн.-технич. сб. - 1990. - Вып.50 - с.38-41.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

δ - толщина; ρ - удельная масса; q - удельная плотность теплового потока; T - температура, °K; t - температура, °C; φ - относительная влажность воздуха; ω - скорость воздуха; β - плотность; τ - время; y - отклик (результат эксперимента); X - кодированное значение фактора; C - натуральное значение фактора; J - интервал варьирования фактора; G - критерий Кохрена; F - критерий Фишера; S - дисперсия; t - критерий Стьюдента; b - коэффициент полинома.

ИНДЕКСЫ

в - воздух; ин - иней; i - текущий уровень; 0 - нулевой уровень; n - натуральное значение; u - сочетание уровней факторов; ад - адекватность; m - количество измерений на опыте плана.