



На правах рукописи

А.В. Малсугенов

Малсугенов Александр Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ В ПЛАСТИНЧАТЫХ
МАСЛООБРАЗОВАТЕЛЯХ С ЦЕЛЬЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ
КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ

Специальности: 05.18.04 – Технология мясных, молочных,
рыбных продуктов и холодильных производств;
05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых
производств

- 1 ОКТ 2009

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ставрополь, 2009

Работа выполнена в ГОУВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет» (СевКавГТУ).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Чеботарев Евгений Алексеевич

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор
Бредихин Сергей Алексеевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Поволяев Яков Рузиевич


Ведущая организация – ГОУВПО «Воронежская государственная технологическая академия»

Защита диссертации состоится 30 октября 2009 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.245.05 при ГОУВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет» по адресу: 355029, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2, ауд. К 308.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Северо-кавказский государственный технический университет».

Автореферат разослан «20» сентября 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Шипулин В.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Процесс охлаждения в пластинчатых маслообразователях осуществляется в роторно-пластинчатых теплообменниках скребкового типа. Роторно-пластинчатые охладители широко используются при производстве сливочного масла, спредов, животных жиров и других жировых продуктов. При этом область их применения постоянно расширяется.

В современных конструкциях маслообразователей такой теплообменник используется не только в качестве охладителя высокожирной эмульсии, но и как охладитель-структурообразователь, в котором происходит формирование оптимальной структуры продукта. Это обстоятельство определяет основную роль процесса охлаждения в обеспечении качества получаемых жировых продуктов и повышении эффективности работы маслообразователей. При этом снижение затрат мощности на перемешивание высоковязких кристаллизующихся продуктов в процессе их охлаждения, при условии соблюдения всех необходимых технологических режимов, является важным условием снижения себестоимости продукции и повышения объемов производства.

Следует также учитывать, что с учетом постоянно расширяющегося ассортимента выпускаемых жировых продуктов, дальнейшее совершенствование конструкций и технологических параметров работы роторно-пластинчатых охладителей маслообразователей позволит вывести эти технологические аппараты на новый уровень развития, соответствующий этому ассортименту.

Значительный вклад в разработку принципиальных конструкций и технологических параметров работы роторно-пластинчатых охладителей внесли отечественные ученые А.П. Белоусов, Ал.Ан. Виноградов, Ан.Ал. Виноградов, Ф.А. Вышемирский, А.Д. Грищенко, С.С. Гуляев-Зайцев, Г.А. Ересько, В.М. Коваленко, П.В. Никуличев, А.В. Твердохлеб и др.

Таким образом, экспериментально-теоретические исследования процесса охлаждения, с целью совершенствования конструкции и технологиче-

ских параметров работы пластинчатых маслообразователей, являются с научной и практической точек зрения актуальной задачей.

Цель и задачи исследований. Целью настоящей работы является исследование процесса охлаждения в пластинчатых маслообразователях, совершенствование их конструкции и технологических параметров работы.

В соответствии с поставленной целью в процессе исследований решались следующие задачи:

- экспериментально-теоретические исследования высокожирных дисперсных систем, как объекта термомеханической обработки;
- разработка математической модели процесса охлаждения в роторно-пластинчатом охладителе, учитывающей параметры процесса отдельно в каждом продуктоном зазоре;
- экспериментальное исследование влияния параметров механического воздействия, конструктивных особенностей и свойств продукта на работу роторно-пластинчатого охладителя;
- совершенствование существующих и разработка новых конструкций охладителей к пластинчатым маслообразователям;
- совершенствование технологических параметров работы пластинчатых маслообразователей;
- технико-экономическая оценка совершенствования конструкций и технологических параметров работы пластинчатых маслообразователей.

Научная новизна. Схематизирован процесс преобразования высокожирных дисперсных систем в масло в различных моделях пластинчатых маслообразователей. Разработаны номограммы для определения коэффициента эффективной вязкости и теплофизических свойств высокожирных сливок. Исследованы реологические характеристики некоторых видов спредов.

Получена математическая модель процесса охлаждения в роторно-пластинчатом охладителе, позволяющая учитывать параметры процесса отдельно для каждого продуктового зазора и дифференцирование механического воздействия по длине аппарата.

Исследовано влияние ряда факторов на затраты мощности при перемешивании, гидравлическое сопротивление пакета пластин и характер движения модельной жидкости в продуктовом зазоре.

Определены перспективные направления совершенствования конструкций роторно-пластинчатых охладителей, способы их реализации и ожидаемые положительные эффекты. Разработана методика расчета роторно-пластинчатого теплообменника, на основе которой определены оптимальные схемы компоновки. Предложены перспективные конструкции охладителей к пластинчатому маслообразователю.

Усовершенствованы технологические параметры работы пластинчатых маслообразователей. Предложена технологическая схема производства масла, обеспечивающая дифференцированный процесс охлаждения.

Новизна технических решений подтверждена патентом РФ на изобретение № 2332843 «Охладитель сливок к маслообразователю».

Практическая значимость. Разработаны направления совершенствования технологических параметров и конструкции пластинчатого маслообразователя марки ОУА, а также конструкций роторно-пластинчатых охладителей различного назначения. Разработанные рекомендации по совершенствованию технологических параметров и конструкции пластинчатого маслообразователя марки ОУА прошли производственные испытания и внедрены на предприятиях молочной промышленности Ставропольского края.

Рекомендации по совершенствованию конструкций роторно-пластинчатых охладителей приняты к использованию при разработке теплообменников во ВНИМИ и ОАО НИИ «МИР-ПРОДМАШ» (г.Москва).

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на XX Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» (Ярославль, 2007), региональной научно-технической конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в технике, экономике и образовании» (Невинномысск, 2006 г.), региональных научно-технических конференциях «Вузовская наука

– Северо-Кавказскому региону» (Ставрополь, 2007, 2008 г.), научно-технических конференциях по результатам работы профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Северо-Кавказского государственного технического университета (Ставрополь, 2006, 2007, 2008 и 2009 гг.), представлены в материалах конкурса «СТАРТ-2009» (г.Краснодар).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, включая 1 статью в журнале, рекомендованном ВАК РФ и 1 патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 189 страницах, в том числе основной текст на 173 страницах, и состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы (170 наименований), 10 приложений и включает 19 таблиц и 71 рисунок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследований, его научное и практическое значение, определена цель работы и сформулированы основные положения диссертации.

В первой главе «Анализ состояния вопроса и задачи исследований» систематизированы литературные данные о теплофизических и структурно-механических свойствах высокожирных дисперсных систем, проведен анализ применимости предлагаемых различными авторами формул. Рассмотрена роль термомеханической обработки в процессе получения сливочного масла, а также особенности термомеханической обработки в процессе получения масла с комбинированной жировой фазой. При этом особое внимание уделено стадийности процесса маслообразования.

Рассмотрены конструктивные особенности роторно-пластинчатых охладителей, применяемых в различных моделях пластинчатых маслообразователей. Проанализировано влияние отдельных конструктивных параметров роторно-пластинчатых охладителей на интенсивность теплообмена и затраты

мощности при перемешивании, изложены основы технологического расчета подобных теплообменников.

По результатам анализа изученной литературы обосновано выбранное направление и сформулированы задачи исследований.

Во второй главе «Организация работы и методы исследований» сформулирована методология и разработана общая схема проведения исследований (рисунок 1). Разработана экспериментальная установка (рисунок 2), позволяющая исследовать влияние различных параметров на затраты мощности, потери давления и характер движения модельной жидкости в роторно-пластинчатом охладителе. Определены методы исследований.

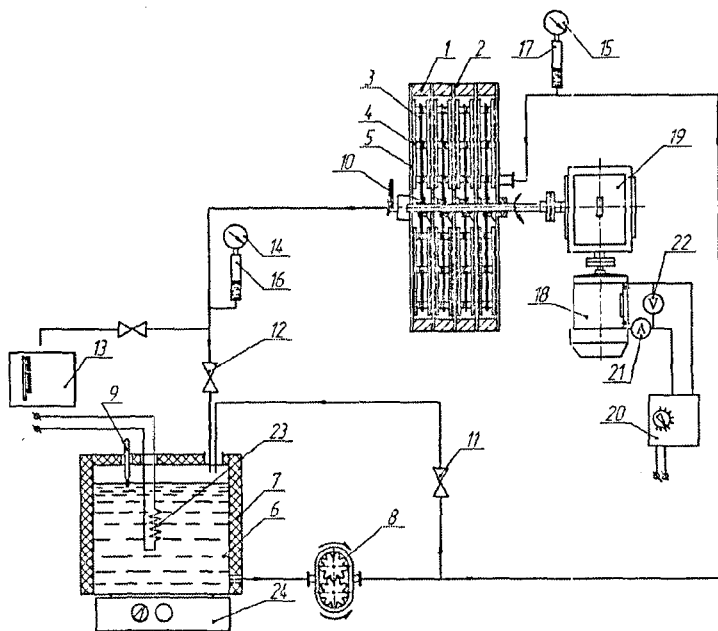


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки: 1 – продуктовая секция; 2 – пластина; 3 – рабочие органы; 4 – скребки; 5 – пластина из оргстекла; 6 – емкость для модельной жидкости (масло МС-20); 7 – теплоизоляция; 8 – шестеренчатый насос; 9, 10 – термометры; 11, 12 – вентили; 13 – мерная емкость; 14, 15 – манометры; 16, 17 – разделительные емкости; 18 – двигатель постоянного тока; 19 – червячный редуктор; 20 – трансформатор; 21 – амперметр; 22 – вольтметр; 23, 24 – нагревательные приборы

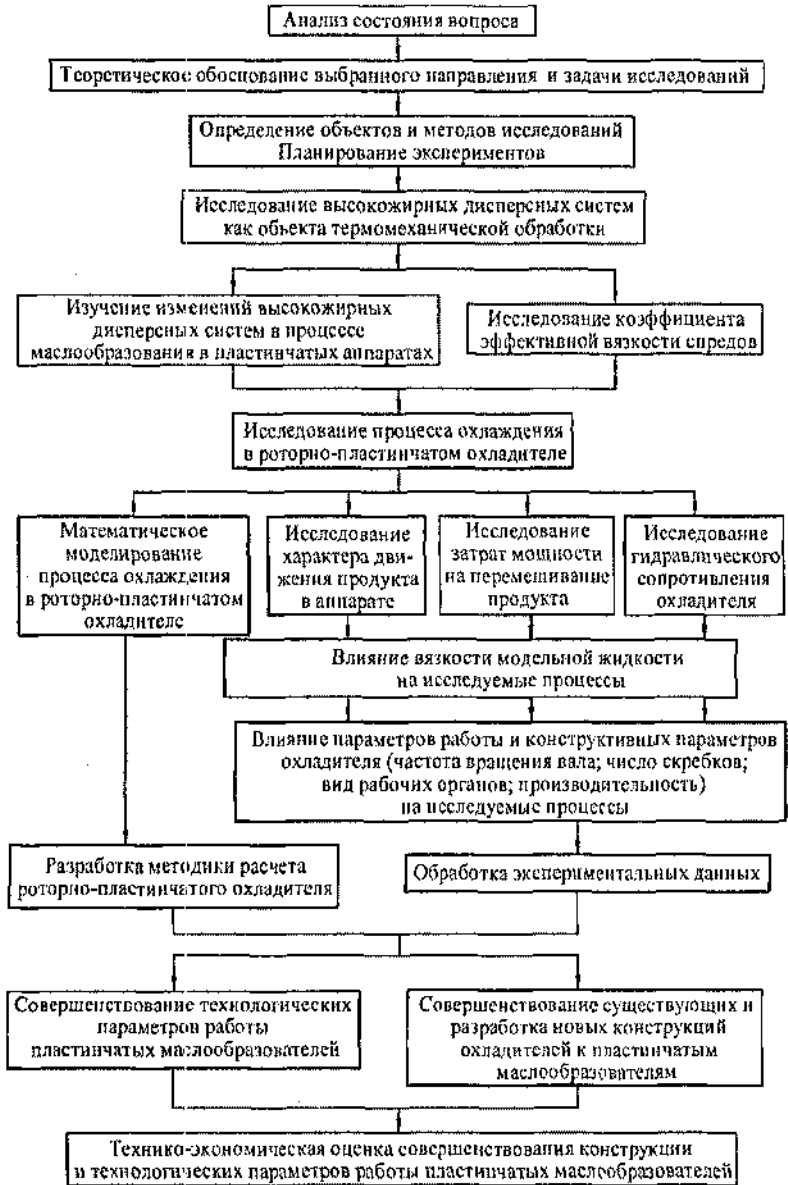


Рисунок 1 – Общая схема проведения исследований

Реологические характеристики спредов исследовались на ротационном вискозиметре «Реотест RV2». Экспериментальные данные обрабатывались с использованием программы Excel.

В третьей главе «Исследование высокожирных дисперсных систем как объекта термомеханической обработки» изучены изменения высокожирных дисперсных систем в процессе маслообразования в пластинчатых аппаратах, разработаны номограммы для определения свойств высокожирных сливок и исследованы реологические характеристики некоторых видов спредов.

В результате систематизации и анализа данных об особенностях процесса маслообразования при выработке масла различной жирности в различных моделях пластинчатых маслообразователей, процесс маслообразования был представлен в виде цепочки последовательных преобразований высокожирной дисперсной системы из одного вида в другой. Это позволило описать промежуточные состояния этих систем, а также промежуточные стадии процесса с целью дифференциации охлаждения по температурным напорам и интенсивности механического воздействия в роторно-пластинчатом охладителе.

По формулам из справочной литературы разработаны номограммы для определения теплофизических свойств и коэффициента эффективной вязкости высокожирных сливок.

Исследование коэффициента эффективной вязкости спредов проводилось при температурах от 12 °С до 55 °С и в диапазоне изменений градиента скорости деформации от 0,15 с⁻¹ до 1310 с⁻¹. Установлено, что с увеличением температуры спреда уменьшается отклонение его вязкостных свойств от ньютоновского поведения, уменьшается степень влияния градиента скорости деформации на коэффициент эффективной вязкости продукта и соответственно возрастает влияние градиента скорости деформации на величину напряжения сдвига.

Установлено, что коэффициент эффективной вязкости спредов уменьшается при увеличении содержания немолочных жиров (особенно при температурах кристаллизации).

В результате обработки экспериментальных данных для определения коэффициента эффективной вязкости спредов $\eta_{эф}$ получено уравнение

$$\eta_{эф} = A \cdot e^{-b \cdot t} \cdot \dot{\gamma}^{(c \cdot t - d)}. \quad (1)$$

Значения коэффициентов A , b , c и d представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов уравнения (1)

Наименование спреда	Коэффициенты			
	A	b	c	d
«Сенгилеевский»	1083,8	0,1867	0,0144	0,9126
«Ставропольский»	173,61	0,1475	0,0092	0,6754
«Ставропольский» (шоколадный)	262,73	0,1567	0,0111	0,7905

В четвертой главе «Исследование процесса охлаждения в роторно-пластинчатом теплообменнике» разработана математическая модель процесса, учитывающая не только граничные параметры процесса, но и значения этих параметров отдельно в каждом продуктовом зазоре.

Составлено математическое описание процесса охлаждения, в результате которого установлена связь между изменяющейся температурой продукта и поверхностью теплопередачи. Особенностью математического описания является то, что параметры процесса охлаждения определяются для промежуточного значения температуры продукта $t_{пр}^*$ (рисунок 3).

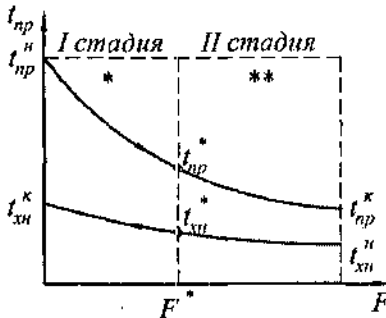


Рисунок 3 – График к определению параметров процесса охлаждения, соответствующих промежуточному значению температуры продукта $t_{пр}^*$

Процесс охлаждения, в этом случае, условно разделяется на две стадии: I стадию, в результате которой продукт охлаждается до температуры t_{np}^* и II стадию, в ходе которой продукт охлаждается до конечной температуры t_{np}^k , при этом II стадия влияет на I вследствие противоточного движения продукта и хладоносителя в охладителе.

Математическое описание процесса охлаждения до промежуточной температуры продукта можно представить в виде уравнений для определения:

- поверхности теплопередачи F^* , при которой температура продукта достигает значения t_{np}^*

$$F^* = \frac{c_{np}^{cp*} \cdot \text{Пр} \cdot (t_{np}^n - t_{np}^*) + Q_{\text{мех}}^* + Q_{\text{крист}}^*}{\left(\frac{I}{\frac{1}{\alpha_1^*} + \frac{\lambda_{cm}}{\delta_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2^*}} \right) \cdot \left(\frac{\Delta t_{\text{max}} - \Delta t_{\text{min}}^*}{\ln(\Delta t_{\text{max}} / \Delta t_{\text{min}}^*)} \right)}; \quad (2)$$

- минимальной разности температур Δt_{min} в охладителе на I стадии

$$\Delta t_{\text{min}}^* = t_{np}^* - \left(t_{zn}^n + \frac{c_{np}^{cp*} \cdot \text{Пр} \cdot (t_{np}^n - t_{np}^k) - c_{np}^{cp*} \cdot \text{Пр} \cdot (t_{np}^n - t_{np}^*) + Q_{\text{мех}}^{**} + Q_{\text{крист}}^{**}}{c_{xn} \cdot P} \right); \quad (3)$$

Разработана методика решения системы уравнений математического описания. Математическая модель процесса охлаждения, в конечном счете, представляет собой зависимость $t_{np}^* = f(F^*)$, однако необходимое преобразование уравнения (2) из зависимости $F^* = f(t_{np}^*)$ в зависимость обратного вида весьма затруднительно. В данном случае был применен метод графических построений, заключающийся в определении требуемой поверхности теплообмена на I стадии F^* для различных промежуточных температур t_{np}^* и последующего построения соответствующего графика.

В основе данной методики лежит идея расчета не всей требуемой поверхности теплообмена сразу, а последовательного определения поверхностей теплообмена («сегментов») требуемых для охлаждения продукта от начальной тем-

пературы до конечной, через одинаковые температурные интервалы (рисунок 4). В этом случае вся поверхность теплообмена делится на j «сегментов», в каждом из которых температура продукта изменяется на одинаковую величину Δt_{np} .

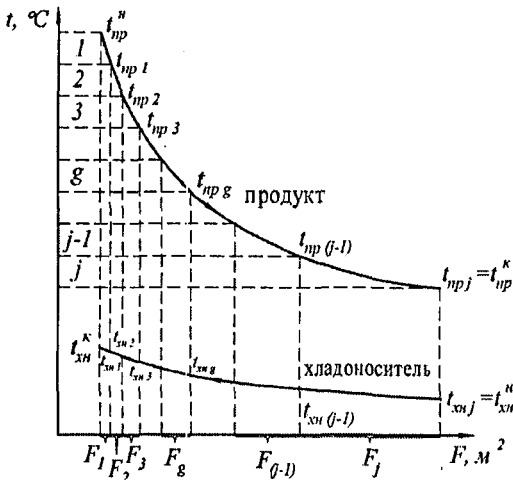


Рисунок 4 – График, иллюстрирующий принцип разделения поверхности охлаждения на j температурных «сегментов»

Установлена адекватность модели объекту путем сравнения расчетных и экспериментальных данных.

Разработанная модель является основой для расчета охладителей с дифференцированием механического воздействия по длине аппарата.

Экспериментально установлено, что вид рабочих органов влияет на затраты мощности на перемешивание. Мощность при вращении дисков, на $5 \div 8 \%$ больше, чем при вращении крестовиц, особенно в области повышенных значений вязкости и частоты вращения (рисунки 5 и 6). Однако, для диапазонов значений частоты вращения и вязкости жидкости, которые характерны для охладителей к пластинчатым маслообразователям, отмеченная особенность практически не влияет на условия процесса охлаждения. Таким образом при выборе вида рабочего органа необходимо руководствоваться в первую очередь гидравлическим сопротивлением.

Установлено, что с увеличением ширины продуктового зазора повышается мощность на перемешивание (рисунок 7).

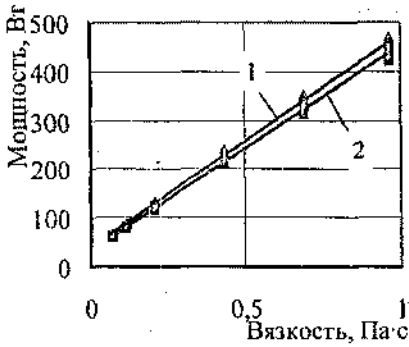


Рисунок 5 – График зависимости потребляемой мощности от динамической вязкости жидкости (при $n = 1,67$ об/с) при использовании дисков (1) и крестовин (2) с пятью парами скребков

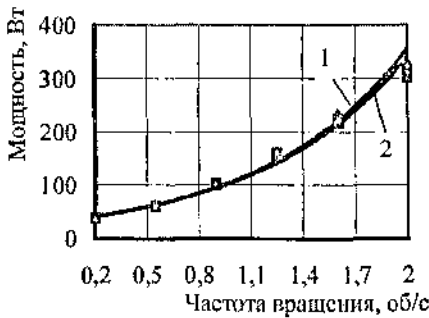


Рисунок 6 – График зависимости потребляемой мощности от частоты вращения рабочих органов при использовании дисков (1) и крестовин (2) с пятью парами скребков

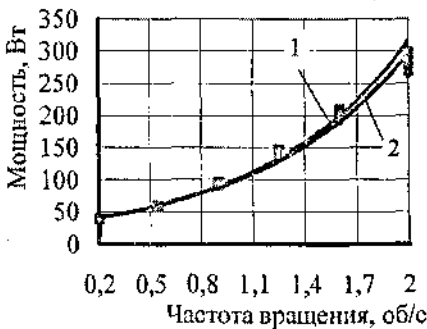
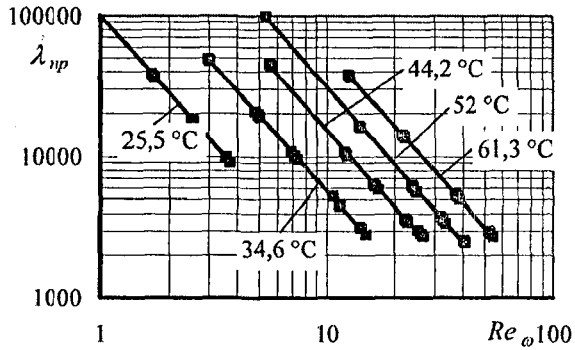


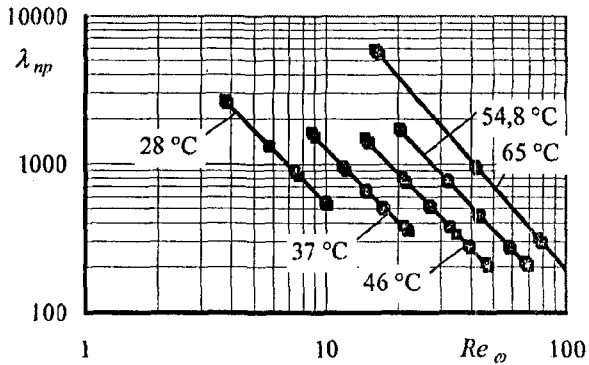
Рисунок 7 – График зависимостей мощности расхода на перемешивание от частоты вращения рабочих органов при ширине продуктового зазора: 1 – 18 мм; 2 – 16 мм

Результаты исследований гидравлического сопротивления, в виде зависимостей приведенного коэффициента гидравлического сопротивления $\lambda_{гп}$ от критерия подобия Рейнольдса, учитывающего режим поступательного

движения жидкости Re_ω (при использовании дисков и крестовин с 5-ю парами скребков), представлены на рисунке 8.



а



б

Рисунок 8 – Графики зависимостей приведенного коэффициента гидравлического сопротивления от критерия подобия Рейнольдса, для одного продуктового зазора, при использовании в качестве рабочих органов крестовин (а) и дисков (б) с 5-ю парами скребков

Зависимость $\lambda_{пр} = f(Re_\omega)$ для всех рассматриваемых случаев имеет линейный характер, что свидетельствует о том, что режим движения модельной жидкости на протяжении всех экспериментов оставался ламинарным. Как для крестовин, так и для дисков графики, соответствующие различным температу-

рам (для конкретного количества скребков) параллельны друг другу, но не лежат на одной прямой.

Полученные зависимости описываются уравнением вида

$$\lambda_{np} = A \cdot \eta^b \cdot Re_{\omega}^c. \quad (4)$$

Значения коэффициентов A , b и c представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов уравнения (4)

Вид рабочего органа	Количество пар скребков	Коэффициенты		
		A	b	c
Крестовина	2	41824	-1,32	-1,65
	3	43554	-1,66	-1,8
	4	42904	-1,67	-1,78
	5	50467	-1,6	-1,8
	6	46148	-1,66	-1,78
Диск	2	5844	-1,43	-1,67
	3	6016	-1,63	-1,63
	4	4727	-1,85	-1,73
	5	6088	-1,64	-1,67
	6	4877	-1,83	-1,69

В результате дальнейших преобразований получена зависимость, позволяющая определить потери давления Δp в одном продуктивном зазоре пакета пластин

$$\Delta p = A \frac{\omega^{(2+b)} \cdot \rho^{(1+b)} \cdot d_{\text{пла}}^{(b-1)} \cdot l_{\text{к}}}{2 \cdot \eta^b}. \quad (5)$$

Установлено, что, при использовании дисков гидравлическое сопротивление выше, чем при использовании крестовин, а количество установленных на рабочих органах скребков практически не влияет на потери давления. В ходе экспериментов зависимости гидравлического сопротивления охладителя от частоты вращения рабочих органов не обнаружено.

В процессе исследований характера движения модельной жидкости (масла МС-20) в продуктивном зазоре при использовании крестовин отмечалось небольшое застывание жидкости в периферийной зоне продуктового зазора, а при использовании дисков застойных зон обнаружено не было.

Установлено, что внутри продуктового зазора происходит активное вращение потока жидкости, увлекаемого вращающимися рабочими органами, с увеличением числа скребков, частоты вращения и вязкости вращение потока интенсифицируется.

Проанализировано влияние данных факторов на условия процесса охлаждения. Данный анализ показал, что:

- усилие прижатия скребков зависит от многих факторов и соответственно меняется при изменении режима работы пластинчатого маслообразователя, таким образом, необходимо разработать рабочие органы, обеспечивающие постоянное усилие прижатия скребка, не зависящее от режима работы;

- вращение потока продукта является неотвратимым побочным результатом вращения рабочих органов, который отрицательно влияет и на усилие прижатия скребков, и на интенсивность перемешивания снятого скребком охлажденного слоя с остальной массой продукта, следовательно, необходимо либо максимально снизить данное вращение, либо использовать его в пользу процесса охлаждения.

В пятой главе «Совершенствование существующих и разработка новых конструкций охладителей к пластинчатым маслообразователям» проанализированы основные недостатки конструкций роторно-пластинчатых охладителей, сформулированы направления совершенствования, описаны способы их реализации и ожидаемые положительные эффекты (рисунок 9).

С целью повышения производительности пластинчатого маслообразователя типа ОУА при выработке спредов и сливочного масла с повышенным содержанием влаги, предлагается в 3-х крайних (со стороны обработника) охлаждающих пластинах заглушить каналы для входа и выхода хладоносителя таким образом, чтобы хладоагент проходил через отверстия не циркулируя в пластинах, одновременно с этим необходимо увеличить расход хладоносителя и (или) снизить его температуру. С целью более интенсивного механического воздействия в последних трех продуктовых отсеках вместо за-

водских четырехлепестковых крестовин предложено установить пятилепестковые.



Рисунок 9 – Основные направления совершенствования роторно-пластинчатых охладителей, способы их реализации и ожидаемые положительные эффекты

Для более плавной корректировки технологического режима при сезонных колебаниях состава молочного жира, рекомендовано дополнительно дифференцировать частоту вращения валов охладителя и обработчика.

Запатентована (патент РФ № 2 332 843) конструкция охладителя сливок к маслообразователю, состоящего из чередующихся охлаждающих пластин, имеющих центральные и периферийные отверстия, и продуктовых секций, внутри которых установлены турбулизаторы со скребковыми ножами, причем число скребковых ножей, установленных на турбулизаторах, увеличивается по ходу движения продукта, турбулизаторы установлены с возможностью увеличения частоты вращения по ходу движения продукта за счет

снабжения охладителя несколькими ведущими валами, расположенными один внутри другого.

На основе разработанной методики расчета роторно-пластинчатого охладителя, определены оптимальные схемы компоновки для запатентованной конструкции охладителя, позволяющие снизить затраты мощности на перемешивание.

Разработана конструкция двухроторного пластинчатого охладителя, позволяющая: снизить гидравлическое сопротивление в аппарате, уменьшить толщину стенки охлаждающих пластин, устранить возможные застойные зоны.

Предложены новые конструкции рабочих органов к роторно-пластинчатому охладителю, позволяющие: охлаждать продукт в более тонком слое, интенсифицировать процесс теплопередачи, вести процесс охлаждения при низкой частоте вращения рабочих органов; снизить термоинерционность охладителя.

В шестой главе «Совершенствование технологических параметров работы пластинчатых маслообразователей» предложены способы совершенствования технологических параметров работы пластинчатых маслообразователей. Основные направления совершенствования представлены на рисунке 10.

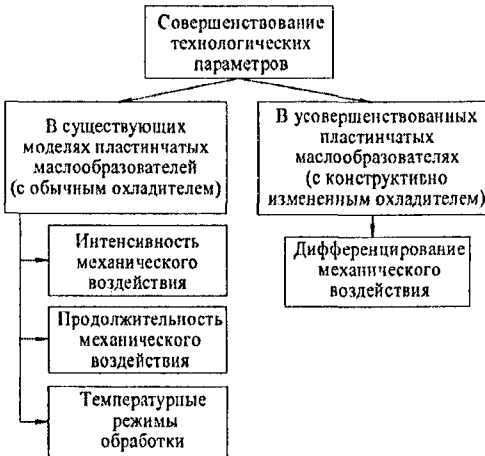


Рисунок 10 – Основные направления совершенствования технологических параметров работы пластинчатых маслообразователей

Для существующих моделей пластинчатых маслообразователей предложен ряд конкретных мер, включающих выбор производительности, хладоносителя, температурного режима, что позволяет оптимизировать технологические параметры в зависимости от вида вырабатываемого продукта и сезона года.

Предложен дифференцированный процесс охлаждения, обеспечивающий более быструю дестабилизацию и смену фаз, заключающийся в разделении процесса охлаждения на следующие стадии:

- *стадия ускоренного охлаждения*, на данной стадии продукт охлаждается от начальной температуры до температуры начала массовой кристаллизации глицеридов молочного жира ($22 \div 23$ °С);

- *стадия замедленного охлаждения*, на данной стадии продукт охлаждается до конечной температуры при минимально возможном уровне механического воздействия с целью сохранения стабильности дисперсной системы.

Реализовать на практике метод 2-х ступенчатого охлаждения позволяет предложенная конструкция охладителя сливок к маслообразователю, с возможностью дифференцирования механического воздействия на продукт по длине аппарата.

Другим способом реализации данной схемы, является включение в состав существующей линии поточного производства масла, методом преобразования высокожирных сливок, дополнительного охладителя (рисунок 11).

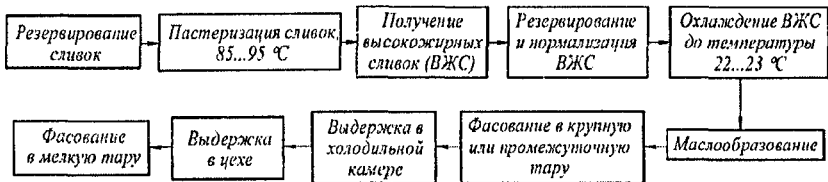


Рисунок 11 – Схема технологического процесса производства масла с использованием дифференцированного процесса охлаждения

Предложен способ предварительного охлаждения «теплой» водой ($15 + 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$) равнозначный по эффективности охлаждению рассолом, за счет отсутствия кристаллизации продукта на теплообменной поверхности.

В седьмой главе «Технико-экономическая оценка совершенствования конструкции и технологических параметров работы пластинчатых маслообразователей» определена экономическая эффективность оптимизации схем компоновки и совершенствования существующей конструкции охладителя пластинчатого маслообразователя, за счет изменения схемы движения хладоносителя.

Ожидаемый экономический эффект в зависимости от вида вырабатываемого жирового продукта составляет от 312540 до 415720 рублей в год.

ВЫВОДЫ

1. Анализ источников информации позволил систематизировать данные о свойствах высокожирных дисперсных систем, как объектах термомеханической обработки, обозначить роль термомеханической обработки в целом и процесса охлаждения в частности, как основного фактора формирования структуры продукта, проанализировать особенности конструкции и параметров работы пластинчатых маслообразователей, сформулировать основы их технологического расчета.

2. Схематизирован процесс преобразования высокожирных дисперсных систем в масло, что позволило описать промежуточные состояния этих систем, а также промежуточные стадии процесса с целью дифференциации охлаждения по температурным напорам и интенсивности механического воздействия в роторно-пластинчатом охладителе.

3. Разработаны номограммы для определения коэффициента эффективной вязкости и теплофизических свойств высокожирных сливок. Исследованы реологические характеристики некоторых видов спредов, получены формулы для расчета коэффициента эффективной вязкости спредов в зависимости от температуры и градиента скорости деформации. Установлено влияние

на коэффициент эффективной вязкости спредов содержания немолочных жиров.

4. Разработана математическая модель процесса охлаждения в роторно-пластинчатом охладителе, позволяющая учитывать параметры процесса индивидуально для каждого продуктового зазора, а также дифференцирование механического воздействия по длине аппарата.

5. Экспериментально исследовано влияние ряда факторов на затраты мощности при перемешивании, гидравлическое сопротивление пакета пластин и характер движения модельной жидкости в продуктовом зазоре. Получены математические зависимости гидравлического сопротивления продуктового зазора от вида рабочего органа, числа скребков и вязкости перекачиваемой жидкости. Изучено влияние вида рабочего органа, его частоты вращения, числа скребков и вязкости на характер движения модельной жидкости в продуктовом зазоре. Проанализировано влияние данных факторов на условия процесса охлаждения.

6. Определены перспективные направления совершенствования конструкций роторно-пластинчатых охладителей, способы их реализации и ожидаемые положительные эффекты. Запатентована (патент РФ № 2 332 843) конструкция роторно-пластинчатого охладителя, обеспечивающего дифференцирование механического воздействия по длине аппарата. На основе разработанной методики расчета роторно-пластинчатого охладителя, определены оптимальные схемы компоновки для запатентованной конструкции охладителя, позволяющие снизить затраты мощности на перемешивание.

7. Предложены перспективные конструкции охладителей к пластинчатым маслообразователям, позволяющие интенсифицировать процесс теплопередачи, снизить мощность на вращение рабочих органов, уменьшить гидравлическое сопротивление в аппарате и его термоминерционность. Разработаны рекомендации по совершенствованию конструкций роторно-пластинчатых охладителей, которые приняты к использованию при разработке теплообменников во ВНИМИ и ОАО НИИ «МИР-ПРОДМАШ» (г.Москва).

8. Сформулированы и обоснованы рекомендации по совершенствованию технологических параметров работы пластинчатых маслообразователей модели ОУА, направленные на улучшение качества продукта, повышение производительности аппаратов и предотвращение аварийных ситуаций, за счет использования более рациональных и оптимальных параметров термомеханического воздействия. Рекомендации внедрены на предприятиях молочной промышленности Ставропольского края. Предложен дифференцированный процесс охлаждения, обеспечивающий более быструю дестабилизацию и смену фаз.

9. Дана оценка экономической эффективности некоторых предложений по совершенствованию конструкции и технологических параметров работы пластинчатых маслообразователей. Ожидаемый экономический эффект в зависимости от вида вырабатываемого жирового продукта составляет от 312540 до 415720 рублей в год.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Малсугенов, А.В. Развитие конструкций пластинчатых маслообразователей [Текст] / А.В. Малсугенов // Материалы XXXV научно-технической конференции по результатам работы профессорско-преподавательского состава аспирантов и студентов Северо-Кавказского государственного технического университета за 2005 год. Том 1. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2006. – С. 94-95.

2. Чеботарев, Е.А. Математическая модель процесса перемешивания высокожирных сливок в охладителе пластинчатого маслообразователя [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов, Н.Г. Чеботарева // Сборник трудов региональной научно-технической конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в технике, экономике и образовании». – Невномысск: изд-во Сев.-Кавказ. гос. технич. ун-та, 2006. – С. 47-50.

3. Чеботарев, Е.А. Факторная модель процесса охлаждения высокожирных сливок в пластинчатом маслообразователе [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов, Н.Г. Чеботарева // Материалы XXXVI научно-технической конференции по результатам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2006 год. Том 1. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2007. – С. 126-127.

4. Малсугенов, А.В. Номограммы для определения свойств высокожирных сливок [Текст] / А.В. Малсугенов, Е.А. Чеботарев, Н.Г. Чеботарева

Материалы XXXVI научно-технической конференции по результатам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2006 год. Том 1. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2007. – С. 127.

5. Чеботарев, Е.А. Пути модернизации технологического оборудования [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов, Б.А. Саченко // Материалы XXXVI научно-технической конференции по результатам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2006 год. Том 1. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2007. – С. 148.

6. Чеботарев, Е.А. Модель механической обработки высокожирных сливок в охладителе пластинчатого маслообразователя [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов // Сборник трудов XX Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». Том 5. Секция 11. – Ярославль: Изд-во Яросл. гос. техн. ун-та, 2007. – С. 217-219.

7. Чеботарев, Е.А. Математическое моделирование и методика теплового расчета охладителя пластинчатого маслообразователя [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов // Сборник научных трудов СевКавГТУ, серия «Продовольствие». №3. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2007. – С. 79-82.

8. Чеботарев, Е.А. Методика расчета пластинчатых охладителей скребкового типа с дифференцированным числом скребков [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов // Материалы XI региональной научно-технической конференции «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону». Том 1. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2007. – С. 138-139.

9. Чеботарев, Е.А. Пути совершенствования пластинчатых охладителей скребкового типа [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов // Материалы XXXVII научно-технической конференции по итогам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2007 год. Том 1. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2008. – С. 120.

10. Чеботарев, Е.А. Уточненный расчет пластинчатого охладителя скребкового типа [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов // Материалы XXXVIII научно-технической конференции по итогам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2007 год. Том 1. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2008. – С. 120-121.

11. Малсугенов, А.В. Экспериментальная установка для исследования гидромеханических процессов в охладителе пластинчатого маслообразователя [Текст] / А.В. Малсугенов, С.А. Санжаровский // Материалы XII региональной научно-технической конференции «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону». – Ставрополь: СевКавГТУ, 2008. – С. 235.

12. Чеботарев, Е.А. Обзор конструкций и пути совершенствования пластинчатых охладителей скребкового типа [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – № 1(16). – С. 212-215.

13. Малсугенов, А.В. Совершенствование параметров работы пластинчатых маслообразователей [Текст] / А.В. Малсугенов, Е.А. Чеботарев // Материалы XXXVIII научно-технической конференции по итогам работы про-

фессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2008 год. Том 1, – Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. – С. 177.

14. Чеботарев, Е.А. Интенсификация процесса охлаждения в пластинчатом маслообразователе [Текст] / Е.А. Чеботарев, А.В. Малсугенов // Материалы XXXVIII научно-технической конференции по итогам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2008 год. Том 1. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. – С. 177-178.

15. Патент № 2332843 Российская Федерация, МПК А01J 15/12. Охладитель сливок к маслообразователю [Текст] / Чеботарев Е.А., Малсугенов А.В.; Заявл. 05.03.07; опубл. 10.09.08, Бюл. № 25.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$\eta_{эф}$ – коэффициент эффективной вязкости, Па·с; $\dot{\gamma}$ – градиент скорости деформации, с⁻¹; t^* – промежуточное значение температуры, °С; F^* – поверхность теплопередачи при которой температура продукта достигает промежуточного значения t^* , м²; $t_{пр}^{cp*}$ – средняя температура продукта на I стадии, °С; $t_{пр}''$ – начальная температура продукта, °С; $t_{пр}^k$ – конечная температура продукта, °С; Pr – производительность охладителя, кг/с; $c_{пр}^{cp}$ – удельная теплоемкость продукта при его средней температуре в охладителе, Дж/(кг·К); $c_{пр}^{cp*}$ – удельная теплоемкость продукта при $t_{пр}^{cp*}$, Дж/(кг·К); $Q_{мех}^*$, $Q_{мех}^{**}$ – теплота, привносимая в продукт за счет энергии механического перемешивания, соответственно на I и на II стадии, Вт; $Q_{крист}^*$, $Q_{крист}^{**}$ – скрытая теплота кристаллизации, выделяемая на I и на II стадии, Вт; α_j^* – среднее значение коэффициента теплоотдачи со стороны продукта на I стадии, Вт/(м²·К); α_2^* – среднее значение коэффициента теплоотдачи со стороны хладоносителя на I стадии, Вт/(м²·К); $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала охлаждающей пластины, Вт/(м·К); $\delta_{ст}$ – толщина стенки охлаждающей пластины, м; Δt_{max} – максимальная разность температур в охладителе, °С; Δt_{min}^* – минимальная разность температур в охладителе, °С; j – число «сегментов» принимаемое при расчете; $c_{хн}$ – удельная теплоемкость хладоносителя, Дж/(кг·К); P – общий расход хладоносителя, л/с; $\lambda_{пр}$ – приведенный коэффициент гидравлического сопротивления; $Re_{от}$ – критерий подобия Рейнольдса, учитывающий поступательное движение продукта; Δp – потери давления в охладителе, Па; l_k – длина канала, м; $d_{экв}$ – эквивалентный диаметр канала, м; ω – усредненное значение скорости потока по сечению канала, м/с; ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.09.2009

Формат 60x84 1/16 Усл. печ. л. – 1,5 Уч.-изд. л. – 1,0

Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ № 324 Тираж 100 экз.

ГОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет»
355028, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2

Издательство Северо-Кавказского государственного
технического университета

Отпечатано в типографии СевКавГТУ