

Автор ер.
ТЗІ
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

на правах рукописи

Переучет 1987

ТЕЛЕЖЕНКО ЛЮБОВЬ НИКОЛАЕВНА

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАМОРАЖИВАНИЯ ЖИДКИХ
И ПЕРЕОБРАЗНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ В КРУПНОЙ
КОНСЕРВНОЙ ТАРЕ

Специальность 05.18.13 - технология консервированных
пищевых продуктов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1980

ав

Работа выполнена в Одесском технологическом институте
пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова

Научные руководители: Кандидат технических наук, доцент
Е.Г. КРОТОВ
Доктор технических наук, профессор
Б.Л. ФЛАУМЕНБАУМ

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
И.Г. АЛЯМОВСКИЙ
Кандидат технических наук, доцент
А.И. ШИЯНОВ

АХТ 15.05.12
Интенсификация проце



013400

Двтор. | v 013499
Г 31 | тележенко Л.Н.
интенс. процесса зам. ноля 1980 г.
1980 814

о-исследовательский
дуктов детского пита-
енными комплексами
впромкомплекс), г.Одесса

Д 068.35.01 при
вой промышленности
л. Свердлова, 112.

библиотеке института.

я 1980 г.

А.Ф. ЗАГИБАЛОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Перспективными планами развития плодоовощной промышленности СССР предусматривается значительное увеличение производства быстрозамороженных полуфабрикатов. Это обусловлено необходимостью их широкого использования как предприятиями общественного питания, так и предприятиями заготовителями в межсезонный период. Своевременная переработка собранного урожая и заготовка полуфабрикатов для использования их в межсезонный период позволит не только снизить потери сельскохозяйственного сырья, но и уменьшить перебои в работе, увеличить выпуск продукции и обеспечить занятость рабочих в течение года.

При реализации продукции потребителям удобна фасовка в крупную тару, однако процесс замораживания в этом случае характеризуется значительной длительностью. Анализ факторов, влияющих на скорость замораживания, показывает, что основное термическое сопротивление приходится на продукт. Снизить его, учитывая консистенцию соков и пюре, можно, применив вращение банки с продуктом в процессе охлаждения и замораживания.

Цель работы заключается в изучении эффективности применения ротации для интенсификации процесса замораживания жидких и пюреобразных пищевых продуктов в крупной консервной таре, определении оптимальных режимов, исследовании качества продуктов замороженных ротационным способом и выработке рекомендаций промышленности.

Научная новизна работы. Разработаны оптимальные режимы замораживания жидких и пюреобразных продуктов в крупной консервной таре ротационным способом. На основании изучения гидродинамики внутри вращающегося цилиндра предложена зависимость, позволяющая расчетным путем определить оптимальную частоту вращения. Выработана методика расчета основных параметров и продолжительности процесса замораживания ротационным способом для любого жидкого или пюре-

v. 0 13499

образного продукта. Изучено влияние различных факторов на степень интенсификации процесса замораживания исследуемых продуктов. Получены математические модели и исследовано качество продуктов при их замораживании ротационным способом.

Практическая значимость. По результатам экспериментальных исследований получены зависимости продолжительности охлаждения и замораживания жидких и пюреобразных продуктов, которые могут быть использованы для практических расчетов, разработаны оптимальные режимы процесса замораживания ряда продуктов в жестяных банках и полиэтиленовых пакетах. Результаты диссертационной работы переданы для внедрения Измаильскому производственно-аграрному объединению консервной промышленности.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 198 страницах машинописного текста (включая 46 рисунков и 22 таблицы) и состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованной литературы (165 наименований) и приложения. В приложении (28 страниц) приведено описание динамики теплообмена в стадии охлаждения, расчет относительного коэффициента теплопроводности для периода замораживания, программа и пример расчета на ЭВМ ЕС 1022, акты дегустации и производственных испытаний.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования процесса замораживания проводили в стационарных условиях, когда банка с продуктом неподвижна, и предлагаемым способом, путем вращения банки с продуктом вокруг продольной оси или вокруг оси, перпендикулярной к продольной. В качестве хладоносителя использовали раствор хлористого кальция. Температура хладоносителя изменялась в пределах от -25 до -40°C . Замораживание осуществлялось контактным способом, путем погружения банки с продуктом в охлаждающую среду либо орошением ее из душирующего устройства. Объектом исследования были пюреобразные

продукты различной консистенции - томатная паста 30%, томатное пюре 15% и вишнево-яблочное пюре, упакованные в жестяные банки № 14 и № 15 и полиэтиленовые пакеты, емкостью 3 кг. Для оценки условий замораживания определяли продолжительность процесса и качество продукта.

Продолжительность процесса замораживания зависит от многих факторов, поэтому проводились комплексные исследования с предварительным планированием эксперимента. В качестве программы опытов применили Д-оптимальные планы, после реализации которых можно установить степень влияния каждого фактора на продолжительность теплообмена, а полученная при этом информация является достаточным исходным материалом для построения математических моделей исследуемого процесса. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались на ЭВМ "Наири - К" и "Мир" методом наименьших квадратов.

Сравнительную характеристику пищевой ценности продуктов, замороженных стационарным и ротационным способом и стерилизованных в автоклаве, проводили по таким показателям, как сухие вещества, общее содержание сахаров, редуцирующий сахар, кислотность, рН, витамин С, каротин, оптическая плотность и ароматические вещества.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Температурное поле замораживаемых продуктов. Для определения эффективности применения вращения при интенсификации процесса замораживания исследовалось температурное поле продуктов. На рис. I представлены кривые замораживания томатной пасты применительно к ротационному и стационарному способам замораживания. При рассмотрении графиков видно значительное влияние ротации на сокращение длительности процесса замораживания. Если время замораживания продукта в центре находящейся в покое банки № 15 составляет 9,4 ч.

то при ротации это время сокращается до 4,3 ч. То же можно сказать относительно томатной пасты, фасованной в банку № 14. Анализ кривых замораживания показывает также, что при ротационном замораживании достигается не только значительное сокращение длительности процесса, но и более однородная термическая обработка продукта. Это видно при сопоставлении кривых замораживания томатной пасты в центре тары и на периферии. Для стационарного процесса разница в скорости и общем времени замораживания чрезвычайно велика, при ротационном замораживании параметры процесса применительно к периферии и центру между собой отличаются мало.

Исследования, проведенные по изучению интенсифицирующего действия вращения банки с продуктом вокруг оси, перпендикулярной к продольной, показали, что эффективность от применения такого вида вращения несколько выше, чем при вращении банки вокруг продольной оси. Однако в этом случае возникают осложнения конструктивного плана, поэтому дальнейшие исследования по изысканию оптимальных режимов замораживания проводили при условии вращения банки с продуктом вокруг продольной оси.

Результаты, полученные при замораживании продуктов в полимерной упаковке и в жестяной таре аналогичны. Вместе с тем исследовать характер теплообмена значительно удобнее, используя металлическую тару с последующим введением поправочного коэффициента, учитывающего изменение теплопроводности упаковочного материала.

Темп охлаждения и скорость замораживания. Исследование скорости теплообмена при замораживании пюреобразных продуктов ротационным способом проводилось по стадиям.

Для периода охлаждения определялся темп охлаждения, для периода льдообразования - скорость замораживания. Кроме того, определялась скорость всего процесса теплообмена применительно к стационарному и ротационному способам замораживания.

Анализ полученных данных (табл. I) показывает, что применение

вращения интенсифицирует процесс охлаждения в 3-5 раз. Темп охлаждения при этом возрастает для томатной пасты в жестяной банке № 15 с $0,9 \cdot 10^{-4}$ с до $4,6 \cdot 10^{-4}$ с. Скорость замораживания увеличивается в два раза, а весь процесс теплообмена в 2,5-3 раза.

Таблица I

Исследование скорости процесса при различных способах замораживания продуктов

Вид продукта	Упаковка ж/б №	Способ замораживания	Темп охлаждения	Скорость замораживания	Скорость всего процесса теплообмена
			$\cdot 10^4$, с	$\cdot 10^6$, м/с	$\cdot 10^6$, м/с
Томатная паста	14	стационарный	2,0	11,4	8,3
	14	ротационный	4,6	23,8	17,8
	15	стационарный	0,9	9,2	6,0
	15	ротационный	4,6	31,8	14,0
Томатное пюре	14	стационарный	2,0	12,5	8,9
	14	ротационный	5,4	25,0	19,2
	15	стационарный	1,8	11,3	8,5
	15	ротационный	5,4	23,3	19,4
Вишнево-яблочное пюре	14	стационарный	2,3	14,7	10,4
	14	ротационный	6,5	33,3	25,0
	15	стационарный	1,8	14,0	10,0
	15	ротационный	5,4	31,8	25,1

Изыскание оптимальных режимов ротационного процесса замораживания. При предлагаемом способе замораживания полуфабрикатов регулируемыми параметрами, влияющими на скорость протекания процесса, являются: частота вращения, степень наполнения банки, начальная температура продукта и температура охлаждающей среды. Математические модели исследуемых продуктов, связывающие продолжительность процесса замораживания с характером режима термообработки, получены после реализации Д - оптимальных планов и имеют ряд важных особенностей, которые облегчают технологический анализ.

Максимальные числовые значения имеют коэффициенты при показателях частоты вращения и степени наполнения банки, что указывает на определяющее значение этих факторов при интенсификации теплообмена. Влияние начальной температуры продукта и температуры охлаждающей среды на скорость замораживания незначительно. Поскольку значительное уменьшение степени наполнения банки ведет к нерациональному использованию тары, то по сути варьирование лишь одного фактора, а именно частоты вращения, оказывает наиболее существенное влияние на интенсификацию теплообмена и сокращение продолжительности процесса.

Степень наполнения банки при ротационном способе замораживания жидких и пюреобразных пищевых продуктов целесообразно варьировать в пределах 0,8 - 0,85.

Исследование зависимости продолжительности процесса замораживания от частоты вращения показало, что с увеличением частоты вращения интенсивность теплообмена возрастает, но эта возможность не беспредельна. Значение оптимальной частоты вращения зависит от вида продукта и размеров тары. Для томатной пасты в жестяной банке № 14 и № 15 эта зависимость имеет вид, представленный на рис.2. Аналогичный характер имеют кривые продолжительности процесса замораживания от частоты вращения для всех исследуемых продуктов. Значение оптимальной частоты вращения для

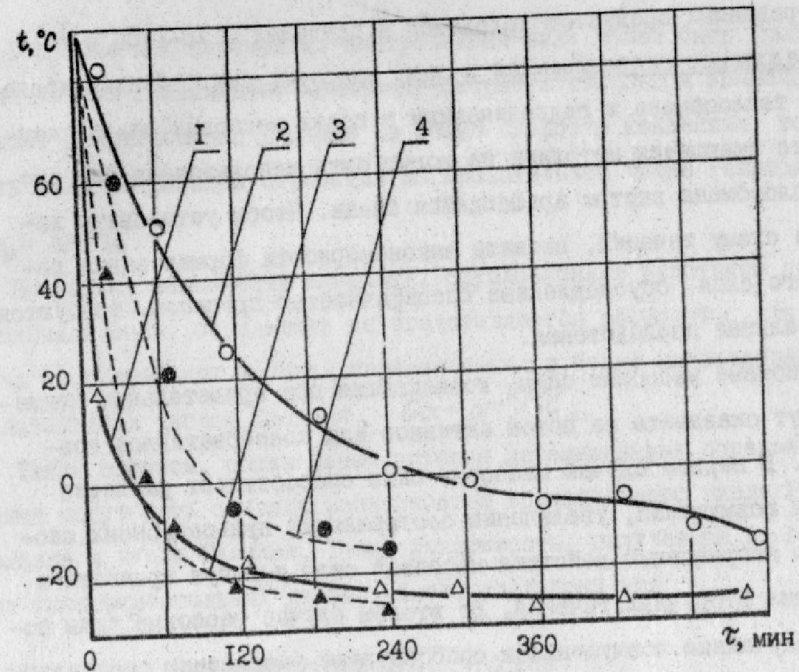


Рис.1. Кривые замораживания томатной пасты в ж/б №15
1, 2 - изменение температуры периферии и центра банки при стационарном способе; 3, 4 - при ротационном способе.

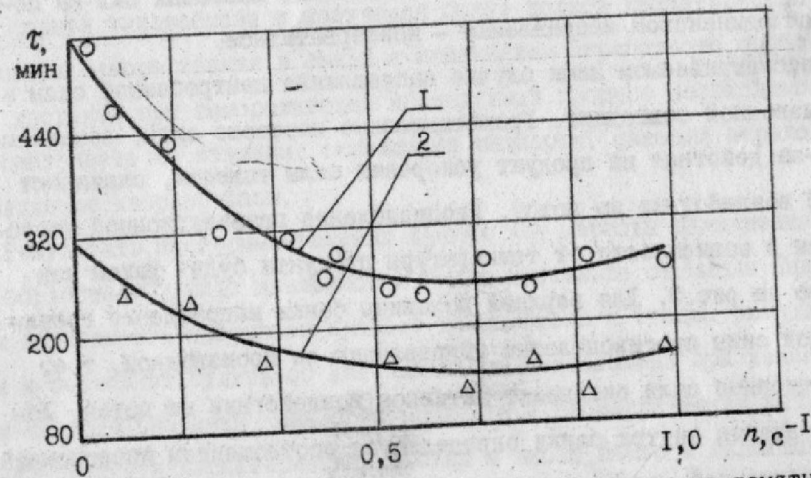


Рис.2. Зависимость продолжительности замораживания томатной пасты от частоты вращения
1 - для ж/б № 15; 2 - для ж/б № 14.

рассматриваемых продуктов находится в пределах $0,75-1,06 \text{ с}^{-1}$.

Исследование гидродинамики в поле массовых сил. Анализ исследований теплообмена и гидродинамики в полях массовых сил показывает, что имеющиеся методики не могут быть использованы для расчета теплообмена внутри вращающейся банки. Чтобы установить характер и схему течений, выявить закономерности формирования пограничного слоя, обусловленные специфичностью процесса, требуются дополнительные исследования.

Инерционные массовые силы, возникающие при вращательном движении, могут оказывать на поток активное или консервативное воздействие. В первом случае массовые силы способствуют развитию случайных возмущений, увеличению составляющих пульсационных скоростей по направлению действия массовой силы и могут привести к образованию вторичных течений. Во втором случае массовые силы подавляют случайные возмущения и способствуют уменьшению составляющих пульсационных скоростей по направлению действия массовой силы. Исследованиями В.К. Лукина показано, что при противоположном направлении векторов массовой силы и ее производной по нормали к поверхности имеет место активное воздействие массовых сил на поток, при одинаковом направлении - консервативное.

В рассматриваемом нами случае направление центробежной силы и ее производной совпадают. Гравитационные массовые силы, возникающие из-за действия на продукт ускорения силы тяжести, оказывают сложное воздействие на поток. Распределение гравитационной массовой силы в зависимости от температуры продукта будет таким как показано на рис.3. Для верхней половины банки направление гравитационной силы противоположно направлению ее производной, т.е. гравитационные силы оказывают активное воздействие на поток. Характер течения внутри банки определяется соотношением инерционной и гравитационной массовых сил.

В обобщенных переменных центробежная сила может быть представлена числом Рейнольдса. Поскольку скорость свободной конвекции не окажет практического влияния на общую скорость конвекции, то по сути влияние ротации отразится во вращательном числе Рейнольдса

$$Re_g = nr^2 / \nu_k.$$

Поскольку компоненту скорости, обусловленную действием гравитационной силы, определить не представляется возможным, для анализа экстремальных условий перемешивания в банке целесообразно пользоваться числом Галилея $Ga = gr^3 / \nu_k^2$.

Таким образом, оптимальные условия перемешивания содержимого банки могут быть описаны зависимостью вращательного числа Рейнольдса и числа Галилея. Такая зависимость, полученная на основании экспериментальных данных, имеет следующий вид

$$Re = 0,094 \sqrt{Ga} - 0,689 \quad (I)$$

По этой зависимости расчетным путем может быть найдено значение оптимальной частоты вращения любого подобного продукта.

Расчет продолжительности замораживания. Для построения расчетных формул теплообмена и получения более полной характеристики процесса замораживания в связи с изменением агрегатного состояния продукта при замораживании исследуемый процесс необходимо рассматривать по стадиям: охлаждение жидкости, фазовый переход, охлаждение твердой фазы.

Результаты экспериментальных данных для периода охлаждения были обработаны в виде зависимости числа Нуссельта от числа Пекле. Эта зависимость описывает процесс теплообмена в стадии охлаждения и позволяет судить об интенсивности теплообмена при изменении частоты вращения, вязкости продукта и геометрических размеров банки. Все эти характеристики входят в число Пекле и являются определяющими факторами ротационного способа обработки. На рис.4 представлены зависимости, полученные для исследуемых продуктов

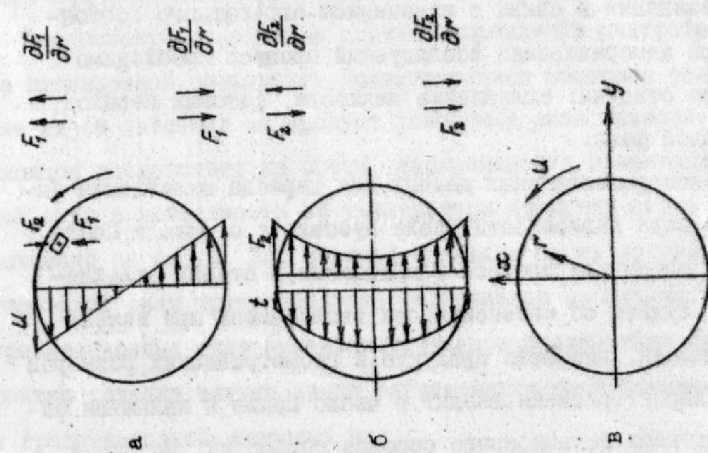


Рис.3. Исследование гидродинамики про- дукта внутри вращающегося цилиндра. F_1 - центробежная сила; F_2 - сила гравитации.

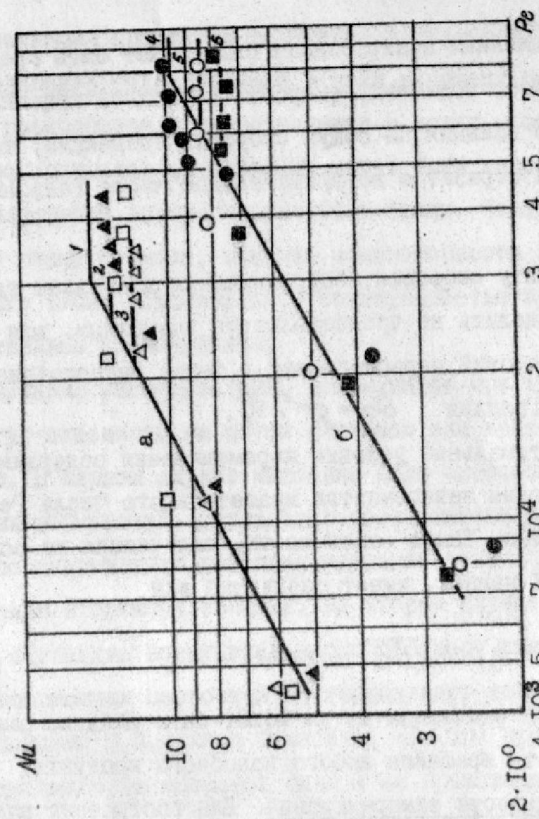


Рис.4. Описание периода охлаждения в виде зависимости числа Нуссельта от числа Пекле 1, 4 - для томатной пасты; 2, 5 - томатного пюре; 3, 6 - вишнево-яблочного пюре.

при их охлаждении в жестяной банке № 14 и № 15. Наклонные участ- ки описывают теплообмен до достижения оптимальной частоты враще- ния, значение которой характеризуется изломом и переходом зави- симости в автомобильную область. Так как для каждого продукта су- ществует определенная оптимальная частота вращения, то графиче- ское изображение представленной зависимости характеризуется не- сколькими горизонтальными отрезками. В связи с этим, описание процесса теплообмена при ротационном охлаждении продуктов инте- ресно в пределах от минимально эффективной частоты вращения до достижения автомобильной области. Поскольку речь идет об одном и том же технологическом процессе, более ценным было бы получение обобщенной зависимости, что возможно введением в уравнение без- размерного конструктивного параметра. В этом случае теплообмен для периода охлаждения может быть представлен зависимостью

$$Nu = 0,25 \sqrt{Pe} / \left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0,2 \quad (2)$$

при расчете которой на ЭВМ получены также дополнительные статисти- ческие оценки, показывающие, что ошибки, характеризующие исследу- емую зависимость формулой данного вида, невелики, входящие в это уравнение переменные тесно коррелированы с функцией откликом и соответственно этому доля объясненной вариации всюду превышает 90%. Для периода замораживания и охлаждения твердой фазы расчет продолжительности процесса можно проводить по формуле Р.Планка с учетом интенсифицирующего влияния ротации, которое найдет отра- жение в эффективном коэффициенте теплопроводности. Нами исследо- вано влияние различных параметров на изменение теплопроводности при вращении банки с продуктом и на основании экспериментальных данных получены зависимости относительного коэффициента тепло- проводности от вязкости продукта, частоты вращения, радиуса тары и степени ее наполнения.

При получении зависимости общего вида доля объясненной вариации снижается до 62,7. Вместе с тем, для практических расчетов и прогнозирования аналогичных процессов это уравнение применимо с достаточной степенью точности и имеет вид

$$\lambda, \lambda = 16,70667 R - 1,59141 n^2 + 181,06296 \sqrt{f} - 3,82736 f + 3,59912 n + 6,62429 \quad (3)$$

Исследование изменений качества продуктов при ротационном способе замораживания. Ротационный способ характеризуется большой скоростью замораживания, что позволяет значительно сократить время термообработки и, соответственно, уменьшить химические, ферментативные и микробиологические изменения. Кроме того, перемешивание слоев продукта позволяет получить более равномерное распределение температур по толщине продукта, что в свою очередь позволяет избежать перемораживания периферийных слоев. Чтобы установить влияние этих факторов на качество продуктов исследовали изменение химического и витаминного состава выпускаемой продукции при ее замораживании различными способами и при хранении. Для сравнения исследовали изменение качества томатной пасты, томатного пюре и вишнево-яблочного пюре при их стерилизации. Изменение показателей качества томатной пасты, томатного и вишнево-яблочного пюре в банке № 14 при замораживании в скороморозильном и ротационном аппаратах и при стерилизации представлено в табл. 2.

Из полученных результатов видно, что снижение содержания общего сахара при стерилизации преобразных продуктов составляет для томатной пасты 9,5%, для томатного пюре - 8,3%, а для вишнево-яблочного пюре - 4,3%, тогда как для этих же продуктов, замороженных ротационным способом, снижение содержания общего сахара соответственно составляет - 1,4%, 2,1% и 0,43%. Это объясняется тем, что под воздействием высоких температур сахароаминные реакции активируются и, соответственно, уменьшается общее количество

Таблица 2

Исследование изменений качества продуктов при различных способах обработки

Показатели	После замораживания			Стерилизованный продукт
	Свеже-приготовленный продукт	ротационным способом	в скороморозильном аппарате	
	Томатная паста 30%			
Сухие вещества, %	30,0	30,0	30,0	30,0
Общий сахар, %	14,8	14,6	14,2	13,4
Кислотность, %	2,45	2,45	2,48	2,50
pH	4,15	4,15	4,17	4,17
Витамин С, мг/100г	32,5	31,8	29,3	25,2
Каротиноиды, мг/100г	42,5	42,5	42,3	41,9
	Томатное пюре 15%			
Сухие вещества, %	15,0	15,0	15,0	15,0
Общий сахар, %	9,6	9,4	9,1	8,8
Кислотность, %	1,80	1,83	1,86	1,91
pH	4,00	4,05	4,08	4,10
Витамин С, мг/100г	26,70	26,20	25,80	22,30
Каротиноиды, мг/100г	24,80	24,60	24,50	24,00
	Вишнево-яблочное пюре			
Сухие вещества, %	24,00	24,00	24,00	24,00
Общий сахар, %	23,20	23,10	22,80	22,20
Кислотность, %	0,70	0,72	0,73	0,77
pH	3,20	3,23	3,25	3,26
Витамин С, мг/100г	3,20	3,10	2,90	1,80

сахаров. При замораживании исследуемых продуктов в скороморозильном аппарате снижение содержания общего сахара несколько больше, чем при замораживании ротационным способом. Это вызвано неравномерной термообработкой и длительным воздействием повышенных тем-

ператур в центральных слоях продуктов. Однако по сравнению со стерилизованными образцами разрушения сахаров значительно меньше.

Увеличение общей кислотности отмечено почти во всех исследуемых образцах. Наиболее значительны эти изменения для вишнево-яблочного пюре и составляют при стерилизации 10%, при замораживании ротационным способом 2,9%. Изменение активной кислотности в исследуемых образцах проходило по-разному. Отсутствие прямой зависимости между изменением рН и общей кислотности в продуктах связано, очевидно, с присутствием в них белков и солей, имеющих определенную буферность. В замороженных образцах томатной пасты и томатного пюре почти не наблюдается уменьшения содержания каротиноидов. В стерилизованных образцах изменение каротиноидов также незначительно и наибольшие потери составляют 3,2%.

Наибольшей лабильностью обладает аскорбиновая кислота, поэтому изменение ее содержания является одной из объективных характеристик условий проведения процесса. Следует отметить, что если для стерилизованных образцов томатной пасты, томатного пюре и вишнево-яблочного пюре потери аскорбиновой кислоты составили 22,5%, 16,5% и 43,8%, то при замораживании этих продуктов в скороморозильном аппарате потери заметно снизились, а именно - до 9,8%, 3,4% и 9,4%. Применение ротационного способа замораживания позволяет в еще большей мере сохранить витамин С. Потери аскорбиновой кислоты в образцах замороженных в ротационном аппарате продуктов составляет соответственно 2,2%, 1,9% и 3,1%. Такой высокой сохранности аскорбиновой кислоты способствует быстрое охлаждение центральных слоев продукта при применении вращения. Значительное замедление окислительно-восстановительных процессов при понижении температуры продукта по всему объему и снижение активности ферментов.

Хроматографические исследования подтверждают высокое содержание ароматических веществ после замораживания. Как видно из по-

лученных хроматограмм, суммарное количество ароматических веществ при замораживании практически не изменяется. При идентификации ароматических веществ было отмечено, что содержание этилкапроната, вторичного бутанола, изобутанола, нормального пропанола и некоторых других сложных эфиров при замораживании уменьшается, а содержание этилформиата и этанола несколько увеличивается.

Расчетные режимы процесса замораживания жидких и пюреобразных продуктов ротационным способом. На основании полученных зависимостей был составлен алгоритм и программа расчета для ротационного способа замораживания жидких и пюреобразных пищевых продуктов. По справочным данным были рассчитаны режимы исследуемого процесса для широкого ассортимента соков и пюре, выпускаемых промышленностью. Данные, полученные расчетным путем, подтверждаются экспериментальными исследованиями и соответствуют представленным положениям о влиянии различных факторов на скорость процесса замораживания. По расчетным режимам на опытно-промышленной установке Измаильского производственно-аграрного объединения консервной промышленности заморожена и заложена на хранение партия продуктов в количестве 1020 банок. Проведен расчет экономической эффективности внедрения ротационного способа замораживания жидких и пюреобразных пищевых продуктов. Расчеты показали, что ожидаемый экономический эффект составит 133,6 тыс. рублей в год.

ВЫВОДЫ

1. Для интенсификации процесса замораживания жидких и пюреобразных пищевых продуктов в крупной консервной таре эффективно применение ротационного способа. Применение вращения значительно (в 3-5 раз) сокращает термическую инерцию продукта в стадии охлаждения, при этом скорость замораживания и общая скорость процесса теплообмена возрастает в 2-3 раза.

2. Математические модели процесса замораживания пюреобразных

К. 0 13499

продуктов ротационным способом, связывающие время замораживания с характером режима термообработки, и их технологический анализ позволили установить, что определяющее значение на интенсификацию процесса теплообмена оказывают частота вращения и степень наполнения банки. Числовые значения коэффициентов при этих факторах в сотни раз превышают числовые значения коэффициентов при других факторах. Начальная температура продукта и температура охлаждающей среды мало влияют на интенсификацию теплообмена.

3. При ротационном способе замораживания жидких и пюреобразных пищевых продуктов степень наполнения банки целесообразно варьировать в пределах 0,8 - 0,85.

4. Значение оптимальной частоты вращения зависит от вида продукта и размеров тары и для исследованных нами продуктов находится в диапазоне $0,75-1,06 \text{ с}^{-1}$. Гидродинамика продукта в поле массовых сил описана в виде зависимости числа Рейнольдса от числа Галилея, которая позволяет рассчитать оптимальные значения частоты вращения любого подобного продукта, вязкость которого находится в пределах от $3 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

5. Изменение интенсивности теплообмена зависит от частоты вращения, вида продукта и геометрических размеров банки и выражено в виде зависимости числа Нуссельта от числа Пекле, позволяющей рассчитать значение коэффициента теплоотдачи от продукта к стенке банки для различных продуктов. Найденные по представленной зависимости коэффициенты теплоотдачи для томатного пюре в жестяной банке №14 применительно к стационарному и ротационному способам замораживания соответственно составляют $45 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ и $126 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

6. В стадии замораживания наибольшее влияние на скорость теплообмена оказывает вязкость продукта и размеры тары. Влияние частоты вращения на интенсификацию процесса очевидно, но проявляется меньше, чем в стадии охлаждения. При обработке результатов

экспериментальных данных для стадии замораживания получена зависимость, позволяющая определить эффективный коэффициент теплопроводности, которая рекомендуется для практических расчетов.

7. Разработанный алгоритм и программа расчета технологических и теплофизических параметров ротационного процесса замораживания жидких и пюреобразных пищевых продуктов гарантирует точность выходных характеристик. По реперным точкам экспериментально проверены расчетные режимы исследуемого процесса, при этом расхождение в результатах не превышает 5%. Алгоритм и программа расчета могут быть использованы при разработке и проектировании ротационных аппаратов и применены для расчета процессов охлаждения и замораживания ротационным способом.

8. По ряду химических показателей качество продуктов, получаемых при ротационном замораживании, выше качества образцов стерилизованных и замороженных другими способами. Так, например, снижение общего количества сахаров в томатном пюре, замороженном предлагаемым способом, составляет 2,1%, замороженном стационарным способом - 4,2%, а стерилизованном - 8,3%. Потери аскорбиновой кислоты, соответственно, составляют 1,9%, 3,4% и 16,5%. По ряду других показателей (общая и активная кислотность, оптическая плотность, содержание витамина В₁ и каротиноидов) преимущество ротационного способа замораживания незначительно. Хроматографический анализ летучих веществ аромата образцов, замороженных ротационным способом, показали незначительное снижение этилкапроната, нормального пропанола, изобутанола и некоторых сложных эфиров по сравнению с незамороженной продукцией. Вместе с тем, содержание этилформиата и этанола несколько увеличивается.

9. Производственные испытания, проведенные на Измаильском производственно-аграрном объединении консервной промышленности,

подтвердили высокую эффективность ротационного способа замораживания. Ожидаемый экономический эффект от внедрения предлагаемого способа на головном предприятии Измаильского ПАО КП составляет 133,6 тыс. рублей в год.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ДОКЛАДЫВАЛИСЬ И ОБСУЖДАЛИСЬ:

1. На научно-технических конференциях ОТИП им. М. В. Ломоносова, Одесса, 1974-1979 гг.
2. На всесоюзной научно-технической конференции молодых специалистов по холодильной технике и технологии, Л., 1977 г.
3. На республиканской научной конференции молодых ученых по актуальным проблемам пищевой промышленности, Тбилиси, 1978 г.
4. На республиканской научной конференции "Интенсификация и совершенствование технологических процессов на предприятиях общественного питания", Харьков, 1979 г.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Кротов Е. Г., Флауменбаум Б. Л., Тележенко Л. Н. Ротационный способ интенсификации процесса замораживания томатной пасты в крупной жестяной таре. - В кн.: Холодильная обработка и хранение пищевых продуктов. Л., 1976, №1, с. 49-51.
2. Замораживание томат-пасты для внутризаводских нужд / Е. Г. Кротов, Е. Д. Вишневецкий, В. Н. Елисеев, Л. Н. Тележенко и др. - В кн.: Реф. информ. о научно-исследовательских работах в вузах УССР. Киев, 1978, вып. 13, с. 39-40.
3. Кротов Е. Г., Флауменбаум Б. Л., Тележенко Л. Н. Исследование влияния различных факторов на скорость замораживания пищевых продуктов в ротационном аппарате. - В кн.: Применение искусственного холода для развития производства на промышленной основе: Тез. докл. научн. техн. конф. М., 1978, с. 25.

4. Тележенко Л. Н. Исследование качества соков и пюре, консервированных холодом. - В кн.: Материалы реоп. научн. конф. молодых ученых по актуальным проблемам пищ. пром. Тбилиси, 1978, с. 125-128.
5. Тележенко Л. Н., Горбатки Л. Г. Изменение химического состава фруктово-овощных пюре при различных способах замораживания. в кн.: Материалы реоп. научн. конф. молодых ученых по актуальным проблемам пищ. пром. Тбилиси, 1978, с. 128-135.
6. Интенсификация теплообмена при охлаждении и замораживании фруктовых и овощных полуфабрикатов на основе ротационного способа / Е. Г. Кротов, Б. Л. Флауменбаум, Л. Н. Тележенко, Е. Д. Вишневецкий. - В кн.: Юбилейная научная сессия, 25 лет ВНИИП. Пловдив, 1978, с. 73.
7. Тележенко Л. Н., Елисеев В. Н., Вишневецкий Е. Д. Исследование теплопроводности при охлаждении и замораживании пюреобразных продуктов: Тез. докл. III-й Всесоюз. науч. техн. конф. молодых специалистов по холодильной технике и технологии. Л., 1977, с. 58-59.
8. Биохимические исследования быстрозамороженных продуктов для детского питания / Е. Г. Кротов, Е. Д. Вишневецкий, Т. Д. Загibalова, Н. А. Федюнина, Л. Н. Тележенко. - В кн.: Тез. научн. сообщ. IV Всесоюз. биохим. съезда. Л., 1979, с. 230-231.
9. Тележенко Л. Н. Исследование гидродинамики и теплообмена при вращении жидких и пюреобразных пищевых продуктов. - В кн.: Интенсификация и совершенствование технологических процессов на предприятиях общественного питания: Тез. докл. республ. научн. конф., Харьков, 1979, с. 89-90.