

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ

На правах рукописи  
УДК 541.182.4.

ШУРЧКОВА Юлия Александровна

РАЗРАБОТКА НОВОГО СПОСОБА ДИСПЕРТИРОВАНИЯ В ЖИДКОЙ  
СРЕДЕ И СОЗДАНИЕ НА ЕГО ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Специальность: 05.18.12.-Процессы, машины и агрегаты  
пищевой промышленности

ДИС С Е Р Т А Ц И Я

на соискание ученой степени  
доктора технических наук  
в форме научного доклада

Киев - 1994 г.

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Институте технической теплофизики НАН Украины

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Буляндра А.Ф.

доктор технических наук, профессор  
Гришин М.А.

доктор технических наук, ст. научн. сотр.  
Снажин Д.Ф.

Ведущее предприятие: Научно-производственное объединение "Спектр"  
г. Киев

Защита состоится "19" октября 1994 г. в 14<sup>00</sup> часов  
на заседании специализированного совета Д 068.17.04 Украинского  
государственного университета пищевых технологий по адресу:  
252017, Киев-17, ул. Владимирская, 68, корпус А, ауд. 311.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Украинского  
государственного университета пищевых технологий.

Диссертация разослана "8" сентября 1994г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук, доцент

Н.И. Сороколюк

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00777736 (.)

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## Краткая характеристика работы

Актуальность проблемы. Существующее оборудование для создания высокодисперсных жидкостных систем с целью получения эмульсий, гомогенизации, ведения высокоинтенсивных химических реакций в процессах экстракции, растворения и др. имеет, как правило, высокую удельную энергоемкость и низкую надежность в эксплуатации. Поэтому ученые многих стран работают над проблемой его усовершенствования. В связи с этим разработка принципиально новых технологий и оборудования для получения высокодисперсных жидкостных систем на основе современных представлений об этих процессах, позволяющих снизить затраты энергии и повысить надежность, является важной народно-хозяйственной задачей.

В диссертационной работе представляются результаты исследований, разработок технологий и оборудования и внедрения их в промышленность, выполненные в соответствии с рабочими планами Института технической теплофизики НАН Украины, Постановлениями ГКНТ СССР № 23 от 30.01.1968 г., теме 074.303а и № 221 от 5 апреля 1989 г., Постановлением Госплана Украины № 4 от 28.01.1991 г. в рамках программы РН 39-10 и № 88 от 29.12.1985 г., Постановлением Совета Министров УССР № 250 от 11 июля 1986 г., Постановлением ГКНТ Украины № 5 от 20.02.1992 г.

Цель диссертационной работы: разработка способов получения высокодисперсных жидкостных систем при адиабатном вскипании многокомпонентных смесей, создание на их основе высокоэффективных промышленных технологий для различных отраслей промышленности и их широкое внедрение.

Методы исследований. Экспериментальные исследования проводились на лабораторных и экспериментальных стендах, на опытных и промышленных образцах разработанного оборудования с привлечением современных методов анализа и аппаратуры.

### Научная новизна.

Из теоретически возможных способов реализации метода дискретно-импульсного ввода энергии в теплообменные и гидродинамические процессы, протекающие в гетерогенных жидких средах, выбраны и обоснованы два направления: создание адиабатно вскипающих потоков и создание высокотурбулизированных пульсирующих пленочных потоков.

Впервые предложен и изучен принципиально новый метод диспергирования жидкостей в адиабатно вскипающих потоках многокомпонентных смесей.

Изучен и описан механизм вскипания перегретой жидкости в

объеме при течении в каналах с различной геометрией и при истечении из сужающих устройств.

Впервые изучены и определены основные закономерности процессов эмульгирования и гомогенизации при адиабатном вскипании многокомпонентных смесей широкого назначения.

Получены основные закономерности и на их основе разработаны технологии эмульгирования, экстракции, смешения, растворения при реализации метода дискретно-импульсного ввода энергии в аппаратах роторного типа.

#### Практическая ценность.

На основании проведенных исследований и предложенных способов диспергирования жидкостных систем разработаны принципиально новые технологии для различных отраслей промышленности и создан новый класс аппаратов различного назначения, не имеющий аналогов в мировой практике. Разработаны: способ и аппарат для получения молочного-жировых эмульсий и технологическая линия для производства жидкого заменителя цельного молока; способ и аппарат для получения эмульсий в производстве сухого заменителя цельного молока; технология и оборудование для гомогенизации молока; технология и технические условия для получения низкожирного молока и кисломолочных продуктов на базе вакуумной гомогенизации; способ и аппарат для водно-жировых и синтетических эмульсий для медицинской, микробиологической, металлообрабатывающей промышленности; способ и аппарат для водно-бутанольной экстракции пенициллина; способ и устройство для растворения горошков; устройство для получения высокожирных и высоковязких эмульсий для пищевой промышленности.

Реализация работы. Проведен широкомасштабный эксперимент по массовому внедрению технологии производства жидкого заменителя цельного молока в Днепропетровской области и доказана высокая экономическая эффективность широкого внедрения новой технологии производства ЗЦМ в народное хозяйство. Организовано серийное производство вакуумных эмульгаторов и внедрены более 400 технологических линий для производства жидкого заменителя цельного молока. Организовано серийное производство и внедрены более 20 аппаратов для эмульгирования в производстве сухого ЗЦМ. Организовано серийное производство и внедрены более 40 аппаратов для гомогенизации молока. Внедрены технология производства низкожирного молока и кисломолочных продуктов, технология и оборудование для получения пеногасящих эмульсий на заводах медпрепаратов, и охлаждающих эмульсий в кабельной промышленности, технология и оборудова-

ние для водно-бутальнольной экстракции пенициллина, технология и оборудование для растворения порошков, технология и оборудование для получения высоковязких и высокожирных эмульсий в производстве белковой икры и майонеза. Продана лицензия на производство вакуумных гомогенизаторов машиностроительной фирме "Гота". По контрактам за границу проданы 2 гомогенизатора и 2 эмульгатора.

Апробация и оценка работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и опубликованы на международных, республиканских, отраслевых конференциях и съездах. Результаты работы по созданию и внедрению технологии производства жидкого заменителя цельного молока рассматривались и были одобрены на государственном уровне.

Разработанные технологии и оборудование экспонировались на выставках и награждены: Золотой медалью Международной ярмарки в Лейпциге; двумя золотыми, четырьмя серебряными и одной бронзовой медалями ВДНХ СССР, "Дипломом почета" ВДНХ СССР, Дипломами первой и третьей степени ВДНХ Украины, за работу по созданию и внедрению технологии производства жидкого ЗЦМ автор удостоена звания Лауреата Государственной премии УССР.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 34 статьи и тезисов докладов, получено 16 авторских свидетельств.

Объем диссертации. Диссертация выполнена в форме научного доклада и состоит из введения, трех разделов, заключения и содержит 50 страниц машинописного текста, 21 рисунок. Имеется отдельно Приложение, содержащее акты внедрения и другие документы.

## Введение

В работе представляется новый метод диспергирования в жидкой среде, результаты исследования этого метода, создание на его основе технологических процессов и оборудования и широкомасштабное внедрение в различных отраслях промышленности.

Интенсификация тепломассообменных и гидродинамических процессов в многотоннажных производствах, связанных с созданием дисперсных жидкостных систем, является актуальной задачей, поскольку она, в основном, определяет экономию энергоресурсов и затрат сырья. Такие системы используются для получения эмульсий, гомогенизации, ведения высокоинтенсивных химических реакций, в процессах экстракции, растворения и т.д. Из множества методов, существующих для создания дисперсных систем, наибольшее распространение в промышленности нашел метод механического дробления с помощью различного вида перемешивающих устройств. Это оборудование имеет, как правило, высокую удельную энергоемкость и низкую надежность в эксплуатации. Поэтому ученые многих стран работают над проблемой его усовершенствования. В связи с этим разработка принципиально новых технологий и оборудования для получения высокодисперсных жидкостных систем на основе современных представлений об этих процессах, позволяющих снизить затраты энергии и повысить надежность, является важной народно-хозяйственной задачей.

В Институте технической теплофизики НАН Украины под руководством академика А.А. Долинского послужил развитие метод дискретно-импульсного ввода энергии в жидкостные системы. Основной принцип метода заключается в том, что предварительно аккумулированная энергия выделяется в непосредственной близости дисперсий во всем объеме жидкости в виде кратковременных импульсов. Эффект достигается за счет создания активной гидродинамической обстановки в локальной области, что обеспечивает высокие относительные скорости движения межфазной поверхности, которые вызывают неустойчивость типа Релея-Тейлора или Кельвина - Гельмгольца. Это приводит к дроблению включений, увеличению поверхности контакта фаз, интенсификации тепломассообменных процессов. Подобные эффекты не всегда достижимы при использовании традиционных методов даже при существенно большем уровне энергозатрат.

Существует множество возможных путей реализации принципа дискретно-импульсного ввода энергии. Это возможно, например, при создании в жидкости большого количества паровых или газовых пузырьков, которые равномерно размещены по всему рабочему объему. При достаточно быстром изменении внешнего давления эти пузырьки либо пульсируют с высокой частотой, выделяя энергию, либо схлопываются, создавая эффект ударной волны, либо расширяются, турбулизируя жидкость в межпузырьковом пространстве. Вблизи каждого пузырька выделяется удельная мощность, пропорциональная скорости изменения давления. При этом достигаются высокие значения эффективной мощности в течение малого промежутка времени в локальной зоне вблизи каждого пузырька и тем самым обеспечивается высокий уровень интенсификации во всем объеме системы, где происходит изменение давления.

Способ изменения давления зависит от рода поставленной задачи. Это может быть очень быстрая разгерметизация системы или локальное изменение давления при течении жидкости через сужающие устройства, при истечении перегретой жидкости из насадков. Система пузырьков, распределенных в жидкости, при динамических изменениях поверхности рассматривается как вид трансформатора, который преобразует внешнюю энергию, распределенную в объеме среды, дискретную во времени и пространстве. Использование этого принципа позволяет достигать высоких значений локальной диссипации энергии при существенно низких затратах энергии по сравнению с традиционными способами.

Развитие этого направления - фундаментальные исследования и его практическая реализация позволили создать принципиально новые технологии и оборудование для пищевой, молочной, медицинской, микробиологической, металлообрабатывающей, топливной и других отраслей промышленности. Одним из прикладных направлений метода является разработка способов взаимного диспергирования несмешивающихся жидкостей и создание на их основе технологий и оборудования для эмульгирования, гомогенизации, растворения, экстракции и ряда других технологических процессов.

В данной работе рассматриваются два способа практической реализации метода: адиабатное вскипание жидкости при резком сбросе давления и создание высокочастотных импульсных режимов в аппаратах роторного типа. На их основе разработаны принципиально новые технологии диспергирования в жидкостных системах и создан новый класс аппаратов, не имеющих аналогов в мире.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ АДИАБАТНОМ ВСКИПАНИИ

Одним из способов создания пузырьковых систем является адиабатное вскипание, когда в результате резкого падения давления жидкость оказывается перегретой относительно температуры насыщения и вскипает во всем объеме. Если в этой жидкости находятся дисперсии несмешивающейся высококипящей жидкости, то под воздействием быстрорастущих пузырьков будет происходить дробление этих дисперсий. В этом процессе совмещаются два сложных физических явления: адиабатное вскипание одного компонента и диспергирование второго. Изучением механизма деформации и разрушения жидких капель занимались многие крупные ученые, такие как Тейлор, Колмогоров, Хинде, Френкель, Келдыш, Абрамович и многие другие. В этой проблеме существуют два направления: деформация и дробление капель в газовой среде и деформация и дробление капель в жидкости. Первое направление является наиболее изученным благодаря возможности визуализации процесса и регистрации сопровождающих его явлений. Изучение процессов в жидкой среде связано с большими техническими трудностями, обусловленными как сложностью наблюдений, так и тем обстоятельством, что процесс дробления в жидкой среде сопровождается конкурирующим процессом коалесценции капель.

Распад больших капель жидкости на малые зависит от взаимодействия сил инерции, сил поверхностного натяжения и вязкости. Инерционная сила обуславливается давлением на каплю с-о стороны окружающей среды вследствие кратковременного или длительного воздействия, например, величиной скорости движения внешней среды относительно капли:  $P_{cp} \sim \rho_c \omega$  - давление на лобовую точку капли. Силы поверхностного натяжения пропорциональны лапласовскому давлению в сферической капле  $2\sigma/R$ . Степень деформации капли определяется отношением этих давлений и выражается критерием

$$\frac{P_{cp}}{D_c} \sim We$$

Капля необратимо разрушается, если число Вебера превышает некоторое критическое значение. Многообразие типов разрушения капель, их размер зависят от того, насколько число Вебера превышает критическое значение.

Классическая теория деформации и разрушения капель в зависимости от степени турбулентности потока принадлежит Колмогорову, который рассматривал этот процесс как результат проявления боль-

шого числа случайных явлений и на основании теории вероятности получил распределение капель по размерам согласно логарифмическому закону. Для критерия  $We$  Колмогоров получил зависимость

$$We = \frac{\beta \rho D^{5/3} \omega^{2/3}}{\sigma} > We_{кр}$$

где  $\beta = const$ ;  $\rho$  - плотность,  $\sigma$  - поверхностное натяжение,  $\omega$  - вводимая энергия,  $D$  - диаметр капли.

Это соотношение нашло свое подтверждение для разбавленных эмульсий (концентрация дисперсий менее 0,1 %).

Основные положения теории Колмогорова дополнялись и совершенствовались многими исследователями. Р.И. Нигматулин, подчеркивая чрезвычайную сложность процесса разрушения капель, при рассмотрении устойчивости сферических межфазных границ использует простейшую схему устойчивости первоначально плоской границы раздела двух идеальных жидкостей с плотностями  $\rho_1^0$  и  $\rho_2^0$  поверхностным натяжением  $\sigma$  без учета вязкости. Он приводит зависимость для амплитуды гармоничных возмущений, возникающих на межфазной поверхности при взаимном движении жидкостей:

$$\gamma(\lambda) = \left[ \frac{\rho_1^0 \rho_2^0 v^2}{(\rho_1^0 + \rho_2^0)^2} \frac{4\pi^2}{\lambda^2} + \frac{(\rho_1^0 - \rho_2^0)g}{\rho_1^0 + \rho_2^0} \frac{2\pi}{\lambda} - \frac{\sigma}{\rho_1^0 + \rho_2^0} \frac{8\pi^3}{\lambda^3} \right]^{1/2}$$

где  $\lambda$  - длина волны;  $v$  - относительная скорость движения жидкости.

Первый член зависимости определяет дестабилизирующий эффект из-за динамических перепадов давления, второй член определяет зависимость от направления ускорения и может быть стабилизирующим (если  $g$  направлена от легкой фазы к тяжелой) или дестабилизирующим (если  $g$  направлено от тяжелой фазы к легкой); третий член определяет влияние поверхностного натяжения. Дробление капель в рамках принятой модели будет происходить, если длины возникающих волн возмущения будут больше критических и обеспечивается выполнение одного из условий:  $We > We_{кр}$  когда возникает неустойчивость типа Кельвина-Гельмгольца, или число  $Bo = \frac{4\pi^2(\rho_1 - \rho_2)g}{\sigma} > Bo_{кр}$  когда возникает неустойчивость типа Релея-Тейлора.

Помимо выполнения условий критичности возмущающих факторов необходимо, чтобы действие их имело определенное время, также превышающее критическое, которое определяется следующим образом:

$$\tilde{\tau}_{кр} = \frac{2R}{v} \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{1/2}$$

Значение  $\tilde{\tau}_{кр}$  характеризует время роста амплитуды колебаний на поверхности капли.

Таким образом, дробление капель обуславливается влиянием следующих основных факторов: относительная скорость обтекания капли  $U$ , ускорение потока  $g$ , плотности фаз  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , поверхностное натяжение, вязкости взаимодействующих жидкостей, и время воздействия возмущения  $\tau_{кр}$ . В реальных условиях к этим факторам добавляются целый ряд дополнительных, которые могут принципиально менять картину дробления капель. Одним из таких факторов является наличие в системе поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Изучение процесса дробления капель в рамках теории Колмогорова и использование существующих полуэмпирических зависимостей требует знания параметров турбулентности потока, в котором находятся капли. В условиях адиабатного вскипания при одновременном росте паровых пузырьков в окружающей жидкости возникает сложная гидродинамическая обстановка, которая непрерывно изменяется в пространстве и во времени. Параметры скорости и давления в каждой точке жидкости определяются суммой эффектов, обусловленных динамикой роста ансамбля пузырьков. В настоящее время отсутствует теоретическое описание движения жидкости в межпузырьковом пространстве, вызванное радиальным движением пузырьков, и нет сколько-либо достоверных моделей этих течений, однако есть все основания полагать, что там возникают интенсивные вихревые течения, а поле скоростей и давлений близко к тем, которые наблюдаются при турбулентных течениях в области больших чисел Рейнольдса. Очевидно, что, по крайней мере два фактора являются определяющими: скорость расширения отдельного пузырька и концентрация пузырьков в единице объема. Концентрация центров перосбразования зависит от многих факторов и свойств системы и по данным некоторых исследователей лежит в пределах от  $10^8$  до  $10^{13}$  м<sup>3</sup>, а расстояние между центрами соседних пузырьков лежит в пределах от 70 мкм до 1,2 мм. Безусловно, что суммарное действие пузырьков на турбулизацию межпузырькового пространства определяется динамикой роста каждого отдельного пузырька.

В литературе имеется довольно большое количество моделей, описывающих динамику роста парового пузырька в объеме при адиабатном вскипании жидкости. Это классические подходы Плассета, Цвика, Дергробедля и более современные А.А.Борисова и Р.К.Нигматулина, В.Е.Нагорякова, Б.И.Покусаева и др. В данной работе анализ процесса выполнен на базе математической модели А.А.Долинского и Г.К.Иваницкого /Долинский А.А. Принцип дискретно-Импульсного вводу энергии и его використання у технологичних процесах. Вісник АН Української РСР, 1984, №1, С.39-46/. В модели рассматривается развитие

пузырьке в жидкости при резком изменении давления с учетом теплопроводности, вязкости, коэффициента поверхностного натяжения.

При быстром сбросе давления от  $P_0 > P_3(T_0)$  до давления  $P_1 < P_3(T_1)$  начинается быстрый рост пузырька под действием разности давлений  $\Delta P = P_r + P_3(T_r) - P_l - 2\sigma/R \approx P_0 - P_1$ , так называемая инерционная стадия роста, когда медленный теплоподвод к пузырьку не успевает уравновешивать давление пара в растущем пузырьке. Затем скорость роста снижается и начинается термическая стадия, когда скорость роста определяется тепломассопроводом к пузырьку. Расширение происходит при разности давлений  $\Delta P \approx P_3(T) - P_l$ . В адиабатическом процессе скорость роста на этой стадии уменьшается вследствие охлаждения жидкости и уменьшения  $P_3(T)$ . Когда жидкость охлаждается до температуры  $T_{sp}$ , рост пузырька прекращается.

Система уравнений математической модели имеет следующий вид.

1. Уравнение радиального движения жидкости при  $r = R$

$$\frac{dV_R}{dt} = \frac{P_0 - P_k - \frac{3}{2} \rho_m v_R^2 - \frac{2\sigma}{R} - 4\mu_m v_R/R}{\rho_m \cdot R}$$

2. Уравнение радиального движения межфазной границы пузырька

$$\frac{dR}{dt} = v_R + \frac{j}{R}$$

3. Уравнение сохранения энергии для газа внутри пузырька

$$\frac{dT_g}{dt} = \frac{3}{\rho_r c_r + \rho_n c_n} \left[ \frac{Q}{R} - \left( \frac{T_g \rho_n c_n + P_n}{R} \right) \frac{dR}{dt} - \frac{c_n T_g}{3} \cdot \frac{dP_n}{dt} \right]$$

4. Уравнение сохранения массы для пузырька

а) неконденсирующийся газ:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_r \right) = 0 \implies \frac{dP_r}{dt} = -\frac{3}{R} \rho_r \frac{dR}{dt}$$

б) конденсирующийся газ:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_n \right) = 4 \pi R^2 j \implies \frac{dP_n}{dt} = \frac{3}{R} \left( j - \rho_n \frac{dR}{dt} \right)$$

5. Массоперенос через межфазную поверхность

$$j = \mathcal{L}_n (\rho_s v_s^* - \rho_n v_n^*)$$

6. Теплоперенос через межфазную поверхность

$$Q = c_n [\alpha_m v_s^* \rho_s + (1 - \alpha_m) v_n^* \rho_n] T_2 + c_r v_r^* \rho_r T_2 - (c_n \rho_n v_n^* + c_r \rho_r v_r^*) T_6$$

$$v_s^* = \left( \frac{\tilde{R} T_2}{2\pi M_n} \right)^{0,5}; \quad v_n^* = \left( \frac{\tilde{R} T_B}{2\pi M_n} \right)^{0,5}; \quad v_r^* = \left( \frac{\tilde{R} T_0}{2\pi M_r} \right)^{0,5}$$

Начальные условия:

$$v(0) = v_0; \quad R(0) = R_0; \quad T_B(0) = T_{B_0}; \quad P_{B_0} = P_n(0) + \frac{2\sigma}{R_0}$$

$$\rho_r(0) = \frac{P_{B_0} M_r}{R T_{B_0}} - \rho_{n_0} \frac{M_r}{M_n}; \quad \rho_n(0) = \rho_{n_0} = f(T_s)$$

Граничные условия на межфазной поверхности:

$$\lambda_m (T_2 - T_s) \left( \frac{R_2}{\delta_0 R_0} + \frac{\kappa (c_m \rho_m)^{0,5}}{(\pi \lambda_m T)^{0,5}} \right) = jL + Q$$

Дополнительные условия:

$$P_n = \frac{A_1 \tilde{R} T_B}{M_n}; \quad P_r = \frac{\rho_r \tilde{R} T_2}{M_r}; \quad P_B = P_n + P_r$$

$$\rho_s = \rho_{s_0} \exp [L^* (T_s - T_0) M_R / \tilde{R} T_s T_0]$$

$$L = f(T_s); \quad L^* = f(T_s); \quad \lambda_m = f(T_2, T_B); \quad \sigma = f(T_B)$$

$$P_2 = P_{B_0} + (P_{\kappa} - P_{B_0}) (1 - \cos \frac{\pi t}{\Delta t}); \quad 0 < \tilde{t} < \Delta \tilde{t}$$

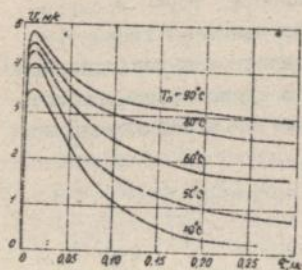
Здесь приняты обозначения:  $P$  - давление;  $T$  - температура;  $R$  - радиус пузырька;  $v$  - скорость движения;  $\tilde{t}$  - время;  $\rho$  - плотность;  $\mu$  - вязкость;  $j$  - скорость массопереноса;  $Q$  - скорость теплопередачи.

Анализ динамики роста парового пузырька в вычислительном эксперименте показал, что интенсивность роста пузырька в значительной степени определяется величиной перегрева жидкости /рис. I/. Начальный перегрев жидкости оказывает определяющее влия-

ние на установившуюся скорость роста пузырька в термическом режиме и значительно меньшее на максимальную скорость в инерционном режиме.

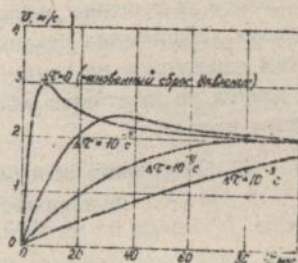
Изменение скорости расширения пузырька при мгновенном сбросе давления в системе. Влияние температуры жидкости.

Зависимость скорости роста пузырька от времени. Влияние длительности сброса давления в недогретой жидкости на динамику роста парового пузырька



$$P_0 = 10 \text{ Па}; \quad P_2 = 0,1 \times 10^5 \text{ Па}; \\ R_0 = 10 \text{ мкм}$$

Рис. 1



$$P_0 = 10^5 \text{ Па}; \quad P_2 = 0,3^5 \text{ Па}; \\ T_2 = 303 \text{ К}; \quad R_0 = 10 \text{ мкм}$$

Рис. 2

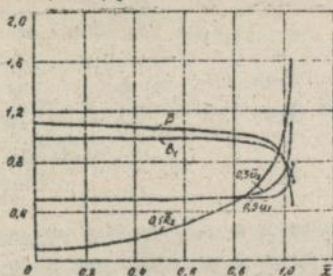
На скорость роста пузырька в инерционной стадии значительно большее влияние оказывает скорость сброса давления над жидкостью (рис. 2). При времени сброса, стремящемся к 0, достигаются максимальные импульсные значения скорости. В термической стадии развития этот параметр практически не оказывает влияния на скорость роста пузырька.

Таким образом, если считать, что при коллективном воздействии растущих пузырьков реализуются интенсивные турбулентные токи в межпузырьковом пространстве и происходит дробление капель по механизму Кольцогорова, то основным направлением оптимизации процесса является организация условий, когда достигаются максимально возможные перегревы жидкости и скорости сброса давлений.

При осуществлении непрерывного процесса, когда жидкость, находящаяся в емкости с давлением  $P_0 > P_{ст}$  и  $T_c < T_s$  поступает через отверстие или канал в емкость с давлением  $P_1 < P_s$  ( $P_0$ ) явления зародения и роста пузырьков не меняют своего характера. Однако в этом случае возникают дополнительные трудности, связан-

ные с определением режимов течения перегретой жидкости. Анализ процесса течения однокомпонентной жидкости в канале цилиндрической формы, выполненный на базе математической модели А.А.Долинского и А.И.Накорчевского /Долинский А.А., Накорчевский А.И. Вскипания адиабатные течения через сужающие устройства// Пром.теплотехника - 1988. - 10, № 6, С.9-14/, показал, что на протяжении основного участка канала скоростная неравновесность фаз незначительна. Только на последних калибрах трубы происходит резкое увеличение скорости пара по сравнению со скоростью жидкости. Монотонное падение давления по длине оканчивается его резким изменением на конце труб. На рис.3 представлены расчетные данные по изменению основных параметров по длине цилиндрического канала.

Изменение основных параметров по длине цилиндрического канала



$P$  — давление,  $V_g$  — объемное паросодержание,  $R_c$  — радиус пузырька,  $U_l$  — скорость жидкой фазы,  $U_g$  — скорость газовой фазы

Рис.3

Результаты теоретического анализа позволили сформулировать основные задачи экспериментальных исследований при разработке метода диспергирования многокомпонентных смесей при адиабатном вскипании. С целью определения основных факторов, влияющих на процесс адиабатного вскипания, был выполнен комплекс экспериментальных исследований вскипания воды в объеме при давлении ниже атмосферного. С целью определения режимов течения перегретой жидкости в каналах был выполнен комплекс экспериментальных исследований течения однокомпонентных жидкостей и многокомпонентных смесей в каналах и сужающих устройствах различной конфигурации.

Проведен комплекс исследований процесса диспергирования при адiabотном вскипании многокомпонентных смесей путем получения осредненных характеристик системы в зависимости от основных параметров процесса: температуры, давления, концентрации.

#### Экспериментальное исследование процесса вскипания перегретой жидкости в объеме

В результате исследований установлено, что в зависимости от начального перегрева меняется характер кипения и степень охлаждения жидкости. Условно можно различать три режима кипения. Первый - "поверхностный" - при низких перегревах до 10 °С, когда образуется небольшое количество пузырьков в самом верхнем слое жидкости, не превышающим 5-10 мм. Жидкость охлаждается до температуры  $T_k = T_s + \Delta T_1$ , где  $\Delta T_1$  зависит от начального перегрева и давления. Второй - "пузырьковый" - при перегревах до 17-20 °С, когда количество образующихся пузырьков резко возрастает, увеличивается глубина, на которой они начинают образовываться, на поверхности наблюдается слияние отдельных пузырьков. Жидкость охлаждается до температуры  $T_k = T_s + \Delta T_2$  причем  $\Delta T_2 < \Delta T_1$ . Третий - "пенный" - при перегревах выше 20 °С характеризуется большим количеством пузырьков и высокой скоростью их роста. Жидкость охлаждается до температуры насыщения  $T_s$ . При наличии достаточной, для определенных условий высоты слоя в нижней части его не происходит образования пузырей, но в нем возникают интенсивные конвективные подъемно-опускные торообразные токи. В результате вскипания жидкость охлаждается и граница кипящего слоя перемещается снизу вверх со скоростью, зависящей от величины первоначально некипящего слоя, который является как-бы аккумулятором и источником тепла для кипящего слоя.

Качественное изучение влияния количества центров парообразования на процесс вскипания показало, что при полном удалении газа из жидкости, которое достигалось путем предварительного нагрева и вакуумирования, жидкость может находиться в метастабильном состоянии длительное время при перегревах до 90 °С.

Т.о. интенсивность кипения и степень охлаждения жидкости определяются начальным перегревом, перепадом давлений и наличием центров парообразования, что вполне согласуется с прогнозами математической модели. Полученные результаты послужили основанием выбора оптимальной величины перегрева при разработке метода диспергирования несмешивающихся жидкостей, а также позволили объяс-

нить характер истечения и охлаждения перегретой жидкости через сужающие устройства.

### Исследование закономерностей течения перегретой жидкости в каналах и сужающих устройствах

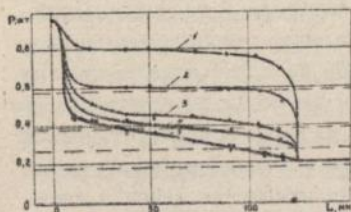
Для экспериментального исследования течения перегретых жидкостей и многокомпонентных смесей в каналах и сужающих устройствах были сооружены три стенда, которые позволяли наблюдать процесс в лабораторных и промышленных условиях в различных вариантах его организации. Они включали следующие основные узлы: емкости для исходных жидкостей, канал для подвода жидкости в вакуумную камеру, приемная емкость, система создания и поддержания вакуума, система подготовки и транспортировки жидкости, приборный контроль и фиксации параметров процесса. Исследования проводились в интервале температур от 4 до 100 °С и давлений от 0,01 до 0,5 МПа. В качестве рабочей жидкости использовалась водопроводная и дистиллированная вода. Измерялись температурные поля, поля давлений, расход жидкости, параметры вытекающей струи.

В результате исследований получено следующее.

1. При течениях перегретой жидкости на входном участке канала наблюдается падение давления до уровня давления насыщения, соответствующего начальной температуре жидкости. На "длинном" участке канала (от входного до выходного участка) наблюдается некоторое падение давления, обусловленное гидравлическим сопротивлением канала. На выходном участке канала, не превышающем двух диаметров, происходит падение давления до уровня давления в вакуумной камере. Эти данные хорошо согласуются с прогнозом математической модели. На рис. 4 представлены типичные кривые распределения давления в потоке воды в канале длиной 124,5 мм и диаметром 5 мм при начальном давлении в вакуумной камере 0,2 МПа при различных температурах. Аналогичные данные получены для канала круглого сечения длиной 3 м и диаметром 80 мм и установлено, что размер поперечного сечения канала не оказывает влияния на характер распределения давления.

2. Величина давления в вакуумной камере оказывает влияние на величину скачка давления на конечном участке канала и практически не оказывает влияния на характер изменения давления по

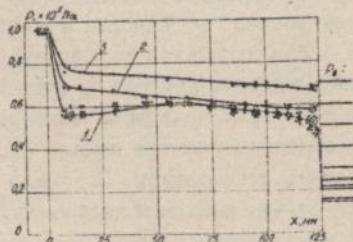
Распределение давления вдоль цилиндрического канала диаметром 5 мм



Начальная температура воды:  
1-95°C; 2-87°C; 3-75°C;  
4-67°C, 5-57°C;

Рис. 4

Распределение давления вдоль длинного цилиндрического канала с температурой  $t = 85,0 \pm 1,0$  °C



$P$  — давление в вакуумной камере:  
1-14±50кПа; 2-60кПа;  
3-70кПа

Рис. 5

его длине /рис.5/.

3. Исследование распределения давления в канале с переменным сечением, показало, что на первом участке меньшего диаметра устанавливается давление насыщения, соответствующее начальной температуре. На переходе от меньшего сечения канала к большему наблюдается падение давления до некоторого нового уровня, который зависит от начальной температуры жидкости и диаметра второго участка канала. Для одного и того же канала наблюдается одинаковый перепад давлений между первым и вторым участками независимо от начального перегрева жидкости. На выходном участке канала давление падает до уровня давления в вакуумной камере. Увеличение площади сечения второго участка при неизменной первого приводит к уменьшению давления и при наступлении инверсии фаз давление снижается до уровня давления в вакуумной камере

$$\Delta P = P_1 - P_0 = \Delta P_{\delta x} + \Delta P_c + \Delta P_{\delta_{\text{вх}}} \quad (\text{I.I})$$

$\Delta P_{\delta x}$  зависит только от начальной температуры жидкости и не зависит ни от длины канала, ни от давления  $P_0$ . Полезной, т.е. участвующей в процессе кипения, является составляющая  $\Delta P_{\delta_{\text{вх}}}$ . Как видно из соотношения (I.I) она зависит от  $\Delta P_c$ . При каком-то увеличении  $\Delta P_c$  величина  $\Delta P_{\delta_{\text{вх}}}$  может обратиться в 0 и вскипания на выходе из канала в этом случае происходить не будет. При  $\ell \rightarrow 0$  т.е. при вырождении канала в диафрагму  $\Delta P_{\delta_{\text{вх}}}$  будет иметь мак-

симальное значение и  $\Delta P = \Delta P_{\delta x} + \Delta P_{\delta yx}$ . В этом случае обе составляющие  $\Delta P_{\delta x}$  и  $\Delta P_{\delta yx}$  влияют на процесс кипения, что должно приводить к увеличению эффектов в междузубчатом пространстве.

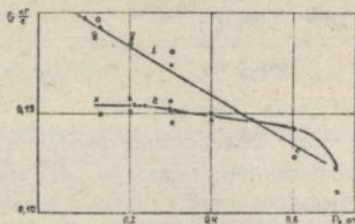
4. Изменение температуры по длине канала в значительной степени зависит от начальной температуры жидкости и геометрии канала. Если начальная температура жидкости ниже температуры насыщения, соответствующей  $P_0$ , то температура по длине канала не изменяется. Если начальная температура выше температуры насыщения, то на выходном участке канала постоянного сечения происходит резкое падение температуры. В канале с переменным сечением наблюдаются два скачка снижения температуры: в месте изменения сечения канала и на выходном участке канала.

5. Расходные характеристики экспериментальных каналов показаны на рис.6. Кривая 1 соответствует режимам течения "холодной" жидкости, кривая 2 - перегретой. Постоянство расхода независимо от перепада давления свидетельствует о "запирании" потока. Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с расчетами по математической модели.

6. Наблюдения за структурой потока в канале показали, что при течении "холодной" воды и при перегревах до 7-10 °C образования пузырьков по длине канала и на срезе не происходило. На выходе из канала количество образовавшихся пузырьков увеличивалось по мере увеличения перегрева. При перегревах выше 20 °C поток на выходе из канала имел пенообразную структуру.

7. Визуальные наблюдения и анализ изображений на киноплёнке структуры струи за пределами канала показали, что форма вытекающей струи сильно изменяется в зависимости от перегрева жидкости. При истечении "холодной" жидкости и с перегревом, не превышающем 7 °C струя сохраняет цилиндрическую форму и практически не распадается на исследуемой высоте. С увеличением перегрева в верхней части струи появляется местное расширение, с которого срываются капли, количество и размер которых увеличивается по мере увеличения перегрева. При перегревах выше 15-20 °C струя на вы-

Зависимость расхода жидкости от давления в вакуумной камере



— — — 15,5 °C; ○ — 65 °C;  
\* — 65 °C

Рис.6

ходе из канала принимает форму факела, угол раскрытия которого линейно увеличивается и достигает  $180^\circ$  при перегревах около  $30^\circ\text{C}$ . Размер капель в факеле по визуальным качественным оценкам уменьшается с увеличением перегрева. На рис. 7 показано изменение температуры жидкости по высоте струи.

### 3. Исследование процесса диспергирования при адиабатном вскипании многокомпонентной жидкой смеси

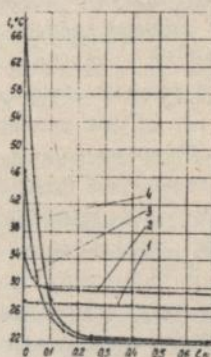
Непосредственные наблюдения механизма разрушения капель в многокомпонентной системе связано с большими техническими трудностями и в задачи данной работы не входило. Изучение закономерностей диспергирования проводилось путем получения осредненных характеристик дисперсности в зависимости от основных параметров процесса: температуры, давления, концентрации, кратности обработки, способа соединения компонентов.

Исследования проводились на экспериментальных стендах, описанных в §1.2. В качестве модельных жидкостей служили смеси из воды и жиров растительного и животного происхождения, масел технических и синтетических, промышленных жидкостей для эмульсий различного состава и назначения, всего более 30 наименований. Поверхностно-активные вещества подбирались соответственно к каждой паре основных компонентов. Анализ дисперсности производился параллельно четырьмя методами: седиментационным, центрифугирования, спектрофотометрическим, микроскопирования с помощью микроскопа "ОПТОН" (ФРГ), совмещенным с автоматической системой анализа изображений "IBAS".

В результате исследований было получено следующее.

1. Эффект диспергирования, выраженный в виде среднего размера диспергированных частиц, зависит от величины начального перегрева смеси. При перегревах ниже  $10^\circ\text{C}$  эффект диспергирования незначительный. С увеличением перегрева выше  $10^\circ\text{C}$  эффект резко возрастает, а при перегревах выше  $50^\circ\text{C}$  происходит его стабили-

Изменение температуры по высоте струи при истечении из цилиндрического сопла



$d = 3\text{мм}$ ,  $P = 20\text{мм рт.ст.}$   
 начальный перегрев:  
 1- $5^\circ\text{C}$ ; 2- $13^\circ\text{C}$ ; 3- $25^\circ\text{C}$ ;  
 4- $47^\circ\text{C}$

Рис. 7

зация - дальнейшее повышение перегрева практически не сказывается на дисперсности. На рис.8 показана типичная зависимость среднего размера диспергированных частиц от начального перегрева водно-жировых эмульсий.

2. Эффект диспергирования зависит от начальной концентрации дисперсной фазы, с ростом концентрации средний размер частиц увеличивается.

3. Известно, что при получении эмульсий традиционными способами существенное влияние на эффект диспергирования оказывает способ соединения компонентов. В процессе исследований были проведены эксперименты с каналами двух типов - цилиндрическим и со ступенчатым изменением диаметра, - и сужающими устройствами трех конфигураций, были использованы четыре варианта соединения компонентов и пять вариантов подачи смеси в вакуумную камеру. Заметное отклонение в сторону увеличения степени дисперсности наблюдалось только в случае использования цилиндрического канала со ступенчатым изменением диаметра.

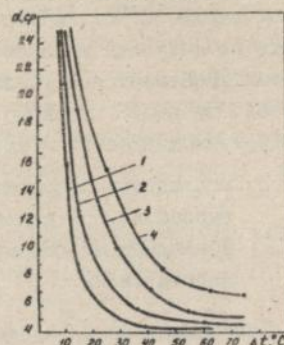
4. Средний размер частиц исходной смеси при первичной обработке изменяется в 100+1000 и более раз. При повторной обработке размер частиц снижается в 1,5-3 раза. Последующие обработки дают либо нулевой, либо обратный эффект - укрупнение капель.

5. Давление в вакуумной камере, при котором ведется процесс, оказывает незначительное влияние на эффект диспергации.

6. Угол раскрытия факела при истечении исследованных смесей практически не отличался от угла раскрытия факела при истечении чистой жидкости.

Полученные экспериментальные данные были положены в основу способа диспергирования жидкостей при адиабатном вскипании многокомпонентных смесей.

Зависимость среднего размера жировых частиц от перегрева в смеси - вода-кашлатотовый жир



Концентрация стабилизатора: 1-1%; 2-0,5%; 3-0,25%; 4-0,01%

Рис.8

#### 4. Основные принципы получения высокодисперсных смесей и конструирования оборудования

Для получения высокодисперсных систем методом дискретно-импульсного ввода энергии при адиабатном вскипании в потоке многокомпонентных смесей необходимо иметь следующие условия:

1. Смесь двух или более компонентов, не смешивающихся между собой, равномерно распределенных в объеме друг друга и имеющие различные температуры кипения.

2. Температура кипения низкокипящего и высококипящего компонента должна отличаться не менее, чем на  $50^{\circ}\text{C}$ .

3. Необходимо организовать подачу смеси из объема с начальным давлением в объем с низким давлением по каналу с минимальными потерями.

4. Разница между начальным и конечным давлением должна обеспечивать перегрев жидкости на входе в объем с низким давлением менее  $7^{\circ}\text{C}$ .

5. Начальная температура смеси выбирается из условий технологических требований, термоустойчивости компонентов и должна быть выше температуры насыщения низкокипящего компонента, соответствующей конечному давлению, не менее, чем на  $7^{\circ}\text{C}$ .

Для реализации способа диспергирования жидкостей в соответствии с основными принципами получения высокодисперсных смесей необходимо иметь устройство, которое должно включать следующие основные узлы /рис.9/: емкость для исходной смеси (1), камеру низкого давления 3, соединяющие каналы и сопловое устройство (2), устройство для вывода смеси из камеры низкого давления (4), систему создания и поддержания низкого давления (5-7).

Принципиальная схема устройства для реализации способа диспергирования жидкости при адиабатном вскипании

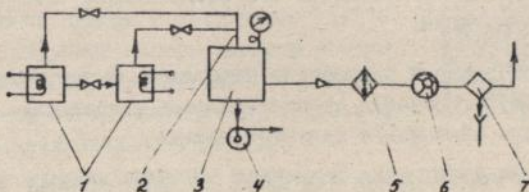


Рис.9

## 5. Сравнительный анализ энергозатрат на образование дисперсных систем в аппаратах высокого давления и аппаратах адиабатного вскипания в вакууме

Если сравнивать два аппарата, высокого давления и вакуумный, то при прочих равных условиях собственно затраты на разрушение существующих поверхностей раздела и образование новых в обоих случаях будут одинаковыми. Существенно разнятся затраты на сопутствующие процессы: на перемещение всего объема жидкости, на сопротивление при движении через щель клапана, на создание и поддержание потенциала высокого давления. Оценка этих затрат в реальных аппаратах показывает, что они в 3-4 раза ниже для аппаратов вакуумного типа за счет принципиально новой организации подвода энергии к дисперсионной фазе.

## РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СПОСОБА ДИСПЕРТИРОВАНИЯ В ЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМАХ

### I. Разработка и внедрение технологии и оборудования для производства жидкого заменителя цельного молока

Заменитель цельного молока /ЗЦМ/ — это кормовой продукт для молодняка скота, который по содержанию питательных веществ, энергетической и биологической ценности максимально приближается к натуральному молоку. Он представляет собой эмульсию из обезжиренного молока, животного или растительного жира, фосфатидных концентратов. Степень дисперсности жирового компонента в эмульсии определяет эффективность его использования. Широкое применение жидкого заменителя цельного молока в животноводстве позволяет снизить затраты цельного молока на корм скоту, увеличить его использование на пищевые нужды людей, снизить затраты на производство дорогостоящего сухого ЗЦМ. Организация широкомасштабного производства ЗЦМ являлась актуальной и важной народно-хозяйственной задачей, поскольку производство его сдерживалось отсутствием специального оборудования.

### I.1. Исследование и разработка технологии и устройства для эмульгирования молочно-жировых смесей для жидкого заменителя цельного молока

При разработке технологии получения эмульсии жидкого заменителя цельного молока необходимо было выполнить ряд требований,

обусловленных как физико-химическими свойствами компонентов, так и производственными требованиями к готовому продукту: эмульсия в готовом продукте должна содержать заданные компоненты в строго заданном соотношении; размер жировых частиц не должен превышать 3 мкм; начальная температура смеси не должна превышать  $75 \pm 30$  °С; концентрированная эмульсия при нормализации не должна менять своих свойств.

С учетом этих требований и данных экспериментальных исследований по диспергированию многокомпонентных смесей на описанной выше экспериментальной базе был проведен комплекс исследований по отработке технологического режима получения эмульсий ЖЗЦМ. Были проведены исследования влияния начального перегрева, давления, концентрации, способа соединения компонентов в интервале перегревов  $10 \pm 40$  °С при давлении  $0,01-0,3$  МПа, при концентрации жира от 1 до 30 %.

Было установлено, что при заданных условиях оптимальным является начальный перегрев смеси  $25 \pm 30$  °С. При этом начальная температура смеси составляет  $75 \pm 30$  °С, а давление в вакуумной камере  $0,01 \pm 0,2$  МПа. Эти параметры обеспечивают получение эмульсии со средним размером жировых шариков не более 3 мкм; концентрация жира в смеси до 20 % позволяет получать эмульсии без изменения свойств при нормализации.

Для реализации технологии эмульгирования иолочно-жировых смесей для жидкого заменителя цельного молока был разработан аппарат вакуумный эмульгатор марки ЭВ, который состоит из вакуумной камеры с каналами подвода и отвода смеси и вывода паров и неконденсирующихся газов, конденсатора с каналами подвода паров и хладоагента и вывода конденсата, насоса для вывода эмульсии из вакуумной камеры и вакуумного насоса. Размеры вакуумной камеры, диаметр 400 мм и высота 900 мм, определялись из условий достаточной сепарации капель. Общий вид аппарата представлен на рис.10.

Эмульгатор ЭВ

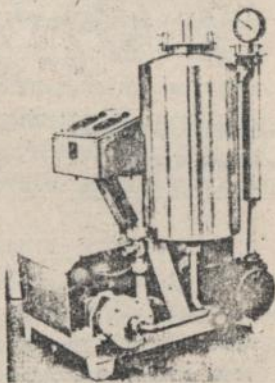


Рис.10

## 1.2. Технологическая линия для производства жидкого ЗЦМ

На базе разработанной технологии и аппарата для эмульгирования была создана схема технологической линии для производства

жидкого ЗЦМ, которая включала операции подготовки компонентов, эмульгирования, нормализации, консервирования и выдачи продукта (рис. II).

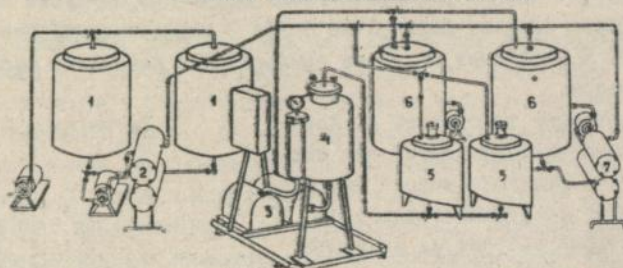
Для реализации технологии в промышленности была разработана с участием автора и утверждена "Временная технологическая инструкция" производства жидкого заменителя цельного молока.

Для осуществления технологии были разработаны два варианта типовых цехов для выработки жидкого заменителя цельного молока: на существующих производственных площадях и со строительством помещения.

### 1.3. Апробация в промышленности

Первая технологическая линия производительностью 8-10 т в смену была сооружена на Васильковском сырзаводе Днепропетровского объединения молочной промышленности. После длительных испытаний в эксплуатационном режиме линия была сдана межведомственной комиссии, которая рекомендовала ее для широкого внедрения на предприятиях Минмясомолпрома Украины.

Схема технологической линии



1. Емкость молочная  
2. Пастеризатор  
3. Насос вакуумный

4. Эмульгатор вакуумный  
5. Емкость для предварительного перемешивания

6. Емкость готового продукта  
7. Охладитель

Рис. II

Технико-экономические показатели технологической линии и качество эмульсии ЛЗЦМ изучались по заданию Минмясомолпрома СССР группой специалистов головного Института ВНИКМИ.

В своем заключении комиссия пришла к выводу, что метод и установка позволяют получать продукт высокого качества и рекомендовала использовать их на предприятиях молочной промышленности

для широкого внедрения в производстве жидкого ЗЦМ.

Биологические свойства и эффективность использования ЖЗЦМ, полученного по данной технологии, проверялись в Днепропетровском филиале Института разведения скота и Львовском институте физиологии и биохимии животных. В обоих случаях были получены положительные результаты.

С целью проверки принципиальной возможности массового производства и использования жидкого заменителя цельного молока в народном хозяйстве был проведен широкомасштабный трехлетний эксперимент по внедрению новой технологии в Днепропетровской области. С этой целью между Академией наук Украины и Днепропетровским обл. исполкомом был заключен Социалистический договор. В соответствии с программой договора в области на предприятиях Днепропетровского производственного объединения молочной промышленности были сооружены 20 технологических линий по производству жидкого заменителя цельного молока общей производительностью 60 тыс. тонн в год. Все линии были смонтированы на существующих производственных площадях. Оборудование для эмульгирования изготовлено в опытном производстве Института технической теплофизики АН Украины. Продукт поставлялся 83 животноводческим хозяйствам, выращивающим телят. Совместно со специалистами молочной промышленности и сельского хозяйства были разработаны мероприятия по контролю за производством, по осуществлению доставки и потребления ЖЗЦМ на фермах, проведена работа по выбору оптимальных схем выпойки и наиболее рациональному и эффективному использованию ЖЗЦМ, решены вопросы технического обеспечения и материального снабжения производства ЖЗЦМ, налажена согласованная работа всех организаций, принимавших участие в проведении эксперимента: сотрудников Академии наук, Министерства мясомолочной промышленности, работников сельского хозяйства, районных организаций.

Результаты широкомасштабного эксперимента, проведенного в Днепропетровской области, убедительно доказали реальность и экономическую целесообразность использования жидкого ЗЦМ, принципиальную возможность его эффективного использования при массовом производстве. Накопленный опыт позволил сделать обобщение по технико-экономической эффективности ЖЗЦМ и выдать рекомендации о перспективах внедрения его в масштабах страны. Совместно с Украинским НИИ экономики сельского хозяйства и Экономическим НИИ Госплана Украины был проведен сравнительный анализ экономической эффективности от производства и использова-

ния сухого и жидкого ЗЦМ, который позволил определить оптимальное соотношение объемов производства того и другого продукта.

#### 1.4. Внедрение в промышленности

Серийное производство вакуумных эмульгаторов было организовано на Минском заводе "Мясомолмаш" и Коростеньском машиностроительном заводе.

На Украине были сооружены более 300 цехов по производству жидкого ЗЦМ. Внедрение велось также в Белоруссии, РСФСР и др. республиках. Экономический эффект от внедрения составлял до 30 млн.руб. в год.

#### 1.5. Итоги разработки и внедрения технологии и оборудования для производства жидкого ЗЦМ и их оценка

Результаты работы по внедрению новой технологии рассматривались и были одобрены: на Коллегии Министерства мясомолочной промышленности Украины; на совещании у зам.председателя Госплана Украины; на совещании у зам.Министра мясомолочной промышленности СССР; на заседании Президиума АН Украины; на совещании у зам. Председателя Госплана СССР; на совещании у зам.Председателя Совета Министров СССР; на заседании Коллегии Госплана СССР.

Протокольным решением Госплана СССР № ПД-206/41-284 было рекомендовано широкое внедрение жидкого ЗЦМ и было намечено объем его производства по стране.

Работа экспонировалась на многих выставках и была награждена: Золотой, серебряной и бронзовой медалями ВДНХ СССР; Дипломом первой и третьей степени ВДНХ Украины; Золотой медалью международной Лейпцигской выставки; Государственной премией Украины.

Работа защищена тремя авторскими свидетельствами. Продана лицензия в НРБ.

#### 2. Разработка технологии и оборудования для эмульгирования молочно-жировых смесей в производстве сухого заменителя цельного молока

Наряду с жидким заменителем цельного молока в животноводстве традиционно широко используется при выкармливании молодняка скота сухой заменитель цельного молока. Технология производства сухого ЗЦМ принципиально отличается от технологии производства жидкого ЗЦМ. Она включает сложные энергоемкие процессы сгущения обезжиренного молока, эмульгирования, сушки. Определяющим в производстве сухого ЗЦМ является процесс эмульгирования молочно-жировых смесей. От дисперсности жировой фазы в эмульсии зависит

режим работы сушильного оборудования и качество готового продукта. В отечественной промышленности эмульгирование осуществляется, в основном, с помощью мешалок, что не позволяет получать высокодисперсных эмульсий и высококачественного продукта.

Данная работа проводилась по заданию Министерства мясомолочной промышленности УССР в рамках Программы РН 39.10 Совета Министров УССР.

## 2.1. Разработка технологического режима эмульгирования молочно-жировых смесей для сухого ЗЦМ

Состав молочно-жировой смеси для сухого ЗЦМ отличается от смеси ЖЗЦМ высоким содержанием сухих веществ (до 40 %) в обезжиренном молоке, повышенной вязкостью и термолабильностью составляющих компонентов. С целью разработки технологических режимов эмульгирования этих смесей в цехе сухого ЗЦМ Яготинского маслозавода был сооружен экспериментальный участок, были проведены исследования допустимых температурных режимов эмульгирования, влияния начального перегрева смеси на качество эмульсии, влияния степени эмульгирования на качество готового продукта, а также определены основные геометрические размеры для вакуумной камеры. Исследования проводились в интервале перегревов от 10 до 40 °С при давлении в вакуумной камере 0,03±0,01 МПа со смесями согласно принятых в промышленности рецептов. Оценка эмульсии производилась по среднему размеру жировых шариков и по наличию свободного жира. Порошок исследовали на наличие свободного жира, дисперсность, слеживаемость, растворимость, цветность.

В результате исследований было установлено: оптимальный начальный перегрев смеси составляет 20–25 °С. Начальная температура смеси не может превышать 60–65 °С, в связи с началом коагуляции при 70 °С. Эти параметры определяют давление в вакуумной камере 0,03–0,08 МПа.

Установлено, что использование вакуумного эмульгатора в производстве сухого ЗЦМ позволяет увеличить дисперсность жира в восстановленном продукте в 5–8 раз, повысить степень растворимости порошка в среднем на 5 %, снизить количество отложений на стенках сушильной камеры в среднем в 2,7 раза, уменьшить количество свободного жира в порошке в 5–7 раз, добиться равномерного содержания жира в порошке по всему объему, улучшить цветность порошка, что в конечном итоге приводит к сокращению потерь продукта и повышению его качества, позволяет увеличить срок безоста-

новочной работы сушилки в 1,5–2 раза.

### 2.2. Аппарат для эмульгирования смесей сухого ЗЦМ

Для реализации процесса эмульгирования смесей сухого ЗЦМ был разработан аппарат типа ЭВС. Производительность аппарата 2–4 тонны в час была выбрана с учетом обеспечения работы типовой сушилки с производительностью по испаренной влаге 1400 кг/час. Общий вид аппарата показан на рис. 12.

Промышленные испытания аппарата были проведены на Яготинском маслозаводе и Никопольском гормолзаводе. В цехе сухого ЗЦМ на Новоград-Вольнском сырзаводе были проведены сравнительные испытания работы вакуумного эмульгатора и клапанного гомогенизатора, которые показали технико-экономические преимущества вакуумного эмульгатора.

Технология и аппарат были сданы Межведомственной комиссии, которая присвоила аппарату высшую категорию качества и рекомендовала его к широкому внедрению.

### 2.3. Внедрение в промышленности и оценка работы

Серийное производство вакуумных эмульгаторов типа ЭВС было организовано на Коростеньском машиностроительном заводе. В промышленности внедрены более 20 аппаратов. Экономический эффект от внедрения одной установки составил 56 тыс. руб. в год.

Вакуумный эмульгатор типа ЭВС <sup>ср</sup>демонтировался на ВДНХ СССР и награжден серебряной медалью; на ВДНХ УССР награжден дипломом 3-ей степени. Технология защищена авторским свидетельством.

## 3. Разработка и внедрение технологии и оборудования для гомогенизации молока

Проблема гомогенизации в производстве молочных продуктов является весьма актуальной, поскольку это один из основных технологических процессов, определяющий качество молочных продуктов и позволяющий сократить до 30 % потерь молочного жира. Задача гомогенизации состоит в том, чтобы крупнодисперсную эмульсию с широким спектром размеров частиц от 2,5 до 8 мкм превратить в вы-

Вакуумный эмульгатор ЭВС



Рис. 12

сокодисперсную однородную эмульсию с размером частиц 1-2 мкм. Процесс гомогенизации значительно более сложный по сравнению с процессом эмульгирования, поскольку исходной средой является готовая эмульсия, в которой жировые частицы стабилизированы многослойной белковой оболочкой и размер их таков, когда силы поверхностного натяжения так велики, что жировые шарики по своим свойствам близки к твердым телам.

В мировой практике для гомогенизации молока используют преимущественно гомогенизаторы клапанного типа, работающие при высоких давлениях, которые имеют высокую энергоемкость, сложны в обслуживании и изготовлении. В отечественном машиностроении выпуск гомогенизаторов производительностью 5 т/час. организован на одном заводе, который ни количественно, ни качественно не удовлетворяет запросов промышленности. Ученые многих стран ведут работы, направленные на снижение энергоемкости и упрощения этого оборудования, повышения его надежности.

Данная работа выполнялась по Постановлению СМ УССР № 250 от 11 июля 1986 г. и заданию ГИИТ при СМ СССР № 221 от 5 апреля 1989 г. и в рамках Программы РН.39.10. В настоящее время работа продолжается в соответствии с Программой ГИИТ Украины. Целью работы является создание гомогенизаторов для молочной промышленности различной производительности, которые должны быть надежными в эксплуатации, доступными в изготовлении, иметь низкую энерго- и материалоемкость.

### 3.1. Изучение основных закономерностей гомогенизации молока при адиабатном вскипании в вакууме

Основываясь на результатах изучения диспергирования многокомпонентных смесей при адиабатном вскипании с учетом специфики продукта был проведен комплекс исследований эффективности гомогенизации в зависимости от основных параметров процесса: начального перегрева, давления, концентрации, геометрии канала. Исследования проводились на экспериментальных стендах, описанных в § 1.2, а также на специально созданных для исследований в промышленных условиях. Диапазон исследуемых параметров определялся допустимой температурой нагрева молока, регламентируемой требованиями молочной промышленности, а также техническими возможностями создания вакуумных систем в промышленных аппаратах. Исследования проводились при температурах от 30 до 120 °С при давлении в вакуумной камере от 0,05 до 0,3 МПа при концентрации жира от 1 до 5 %. Эф-

фekt гомогенизации определялся по интегральным показателям с помощью существующих методик анализа эмульсий, принятых в мировой практике для молока.

В результате исследований было получено следующее.

I. Седиментационная устойчивость гомогенизированного молока зависит от начального перегрева /рис.13/. Наиболее резкое изменение наблюдается при перегревах от 10 до 30 °С. На основании этих данных можно выделить три основных режима, соответствующих различных технологиям в производстве молочных продуктов:

Зависимость седиментационного и спектрофотометрического показателей гомогенизированного молока от начального перегрева

1-N =  $f(\Delta t)$  при C=3,2%;  
2-N =  $f(\Delta t)$  при C=1,5%; 3-

$\frac{A_{400}}{A_{1000}} = f(\Delta t)$  при C=3,2%

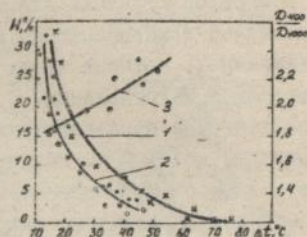


Рис.13

№ пп	Продукт	Температура пастеризации, °С	Начальный перегрев, °С	Давление в вакуумной камере, ат
1.	Питьевое гомогенизированное молоко	76-80	20-25	0,05-0,1
2.	Кисломолочные продукты	85-95	25-35	0,05-0,1
3.	Стерилизованные молочные продукты	120	40	0,05-0,1

2. Влияние давления в вакуумной камере на седиментационный и спектрофотометрический показатели незначительное. Можно лишь говорить о некоторой тенденции их повышения с уменьшением давления.

3. С повышением концентрации жира эффективность гомогенизации снижается в гомогенизаторах любого типа. Эта тенденция сохраняется и в данном случае. Изменение концентрации жира в 4 раза приводит к снижению среднего размера жировых шариков на 10±15 %.

4. Влияние геометрии канала на эффективность гомогенизации лежит в пределах точности эксперимента, хотя можно отметить некоторую тенденцию повышения эффективности в канале со ступенчатым изменением диаметра канала.

5. Изучение влияния кратности обработки показало, что наибольший эффект достигается после первой обработки. После второй обработки средний размер жировых шариков снижается на 10+20 %. Третья и последующие обработки практически не сказываются на эффективности.

6. В молоке, поступающем на переработку, содержится 70-90 мл газа в 1 л молока. Из них 50-70 % углекислого газа, 5-10 % кислорода, 20-30 % азота. С газами адсорбируются посторонние запахи и привкусы снижающие качество молока. В процессе вакуумной гомогенизации содержание газов снижается до 1-10 мл/л. Это обстоятельство обуславливает ряд дополнительных эффектов, сопутствующих вакуумной гомогенизации. Удаление кислорода из молока способствует уменьшению его окисляемости в процессе хранения, сохранности витамина "С", улучшению вкусовых качеств.

7. При вакуумной гомогенизации происходит частичное подавление микрофлоры в молоке. При общей тенденции снижения количества колоний микроорганизмов на различных стадиях обработки в 100+1000 раз, в отдельных пробах их содержание снижалось до 1-2 тысяч при норме для пастеризованного молока в 8-10 тысяч.

8. После вакуумной гомогенизации наблюдается снижение кислотности молока на 5-10 %.

9. Важным параметром при переработке молочного сырья является его термостойкость - способность противостоять тепловой коагуляции. При использовании гомогенизаторов высокого давления происходит снижение термостойкости в 5+10 раз. При вакуумной гомогенизации не только не снижается устойчивость молока к тепловому воздействию, но в некоторых случаях даже повышается по сравнению с сырым молоком.

10. Микроструктура молока после обработки в вакуумной камере характерна наличием большого количества жировых частиц с размером менее 0,5 мкм, трудно фиксируемым на фотопленке из-за броуновского движения, а также полным отсутствием скоплений (агрегатов) жировых шариков в обработанном продукте.

Исследования по пунктам 8-10 проводились совместно с Литовским филиалом ВНИИМС под руководством зав. лабораторией к.т.н. В.Вайткуса, известного в мире специалиста в области гомогенизации молока.

### 3.2. Технология и оборудование для гомогенизации молока в вакууме

При разработке промышленной технологии вакуумной гомогенизации и аппарата для ее реализации соблюдались следующие основные принципы.

1. В гомогенизаторе используется тепло пастеризации или стерилизации, для чего процесс ведется непосредственно сразу после нагрева в соответствующих аппаратах до температуры, регламентированной для данного процесса.

2. Молоко подвергается двухкратной обработке путем последовательной подачи в вакуумные камеры с давлением соответственно 0,15 и 0,06 МПа.

3. В связи с тем, что при вскипании молока часть жидкости испаряется, то, с целью сохранения баланса массы, в качестве хладоагента в конденсаторе в системе создания и поддержания вакуума используется исходное охлажденное молоко.

Аппарат представляет собой горизонтально расположенную цилиндрическую камеру I (рис. I4) со сферическими днищами 2, с каналами подвода II и отвода 9 молока и хладоагента 7. Вакуумная камера выполнена из двух секций гомогенизации, каждая из которых разделена перегородкой на камеры вскипания 3 и камеры конденсации 4, которые соединены между собой с помощью обратного клапана 5.

Секции гомогенизации разделяет перегородка 6. Подводящий канал состоит из длинного соединительного участка и короткого участка, который может включать диафрагму, сопло или насадок со ступенчатым изменением диаметра. Перекачивание молока осуществляется продуктовыми насосами 9 специальной конструкции, которые были разработаны при участии автора для вакуумного гомогенизатора, в частности, и которые могут быть использованы в любой вакуумной системе для эвакуации жидкости. Аппарат снабжается необходимыми приборами для контроля температуры молока, уровня жидкости в камерах. Все детали,

Принципиальная схема вакуумного гомогенизатора

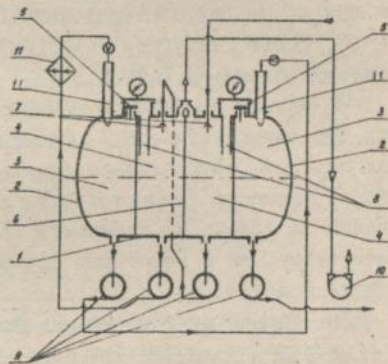


Рис. I4

контактирующие с продуктом, выполняются из нержавеющей стали. В ряде случаев в камеры конденсации в качестве хладагента может быть подана холодная вода или любое другое вещество. При незначительном изменении схемы подключения аппарата, заключающемся в образовании двух жидкостных контуров – молочного и водяного – предоставляется возможность осуществить технологию с частичным подупариванием молока и повышением концентрации сухих веществ в нем на 1–2 %, что может быть использовано, например, в производстве низкожирных продуктов. Схема материальных и тепловых потоков в аппарате показаны в следующем параграфе.

### 3.3. Оптимизация рабочих параметров вакуумного гомогенизатора

Для реализации технологического процесса вакуумный гомогенизатор должен работать в сочетании с тремя теплообменниками: теплообменник – пастеризатор для нагрева молока, теплообменник – охладитель молока и теплообменник для регенерации тепла в схеме. Устойчивая работа вакуумного гомогенизатора определяется стабильностью работы и взаимосвязанностью параметров всех входящих в эту технологическую схему узлов. С целью определения основных факторов оптимальной работы гомогенизатора, возможности управления этими факторами, планирования стабильной работы и анализа возможных причин нарушения режима была разработана модель работы технологической схемы участка гомогенизации и проведена его оптимизация.

**Анализ материальных потоков.** Схема гомогенизатора состоит из двух контуров:

парового и жидкостного. На рис. 15 представлена схема материальных потоков. Жидкостной контур: исходное молоко с концентрацией сухих веществ  $G_0$  поступает в первую камеру конденсации, где за счет конденсации паров воды, поступающих из первой камеры гомогенизации, масса потока увеличивается на величину  $\Delta G_{1K}$ ; затем поток с массой  $(G_{0M} + \Delta G_{1K})$  направляется во вторую камеру конденсации и за счет конденсации паров из 2-й камеры гомогенизации его масса увеличивается на  $\Delta G_{2K}$  и становится равной  $(G_{0M} + \Delta G_{1K} + \Delta G_{2K})$ ; поток этой массы поступает во вторую камеру гомогенизации, где за счет испарения его масса уменьшается на величину  $\Delta G_{1K}$  и в пер-

Схема материальных потоков в вакуумном гомогенизаторе

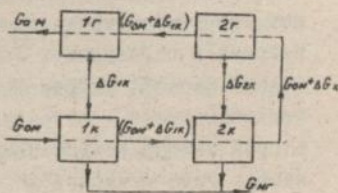


Рис. 15

поток этой массы поступает во вторую камеру гомогенизации, где за счет испарения его масса уменьшается на величину  $\Delta G_{1K}$  и в пер-

вую камеру гомогенизации, где масса уменьшается на величину  $\Delta G_{\text{тк}}$  на выходе из первой камеры гомогенизации масса потока имеет величину  $G_{\text{ом}}$  равную массе молока на входе в систему. Паровой контур: пар из первой камеры гомогенизации поступает в первую камеру конденсации; пар из второй камеры гомогенизации поступает во вторую камеру конденсации.

Оценка количества образующегося в камерах гомогенизации пара может быть сделана из условий теплового баланса и соотношения давлений в камерах гомогенизации и конденсации.

#### Схема тепловых потоков

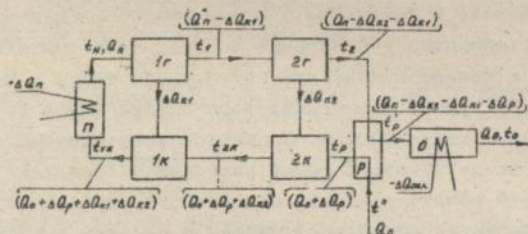


Рис. 16

Анализ тепловых потоков. На рис. 16 показана схема тепловых потоков в технологической линии с вакуумным гомогенизатором. Условно ее можно разделить на два участка: нагрева и охлаждения. Участок нагрева состоит из следующих составных частей: нагрев исходного молока с температурой  $t_0$  в теплообменнике - регенераторе до температуры  $t_p$ ; во второй камере конденсации за счет конденсации паров из второй камеры гомогенизации до температуры  $t_{2к}$ ; в первой камере конденсации за счет конденсации паров из первой камеры гомогенизации до температуры  $t_{1к}$ ; в теплообменнике - пастеризаторе до температуры  $t_n$ . Затем идет участок охлаждения: в первой камере гомогенизации до температуры  $t_1$ ; во второй ка-

мере гомогенизации до температуры  $t_2$ , в теплообменнике - регенераторе до температуры  $t_p$ , в теплообменнике - охладителе до температуры  $t_0$ .

Задаваясь начальной  $t_H$  и конечной температурой  $t_0$  и варьируя давлениями в камерах можно изменять в широком диапазоне параметров интенсивность процессов, находя оптимальные варианты для заданных конкретной технологией условий.

Многовариантность системы предполагает выбор основных параметров в зависимости от требований теплоиспользования и эффективности основного процесса - гомогенизации, который определяется температурным напором в камерах гомогенизации.

Требования к организации технологического процесса можно сформулировать следующим образом: заданные параметры - начальная и конечная температуры молока на входе и выходе системы -  $t_0$ ; температура пастеризации (температура на входе в I-ую камеру гомогенизации) -  $t_H$ . Требуется определить: давление в камерах гомогенизации  $P_1$  и  $P_2$ . Условия оптимальности процесса:

$$1. \left. \begin{array}{l} (t_H - t_{sP_1}) \\ (t_1 - t_{sP_2}) \end{array} \right\} \rightarrow \max \quad 2. \left. \begin{array}{l} (t_H - t_{IK}) \\ (t'_p - t_0) \end{array} \right\} \rightarrow \min$$

3. Степень регенерации тепла в системе

$$\frac{t_K - t_0}{t_H - t_0} \rightarrow \max$$

В результате анализа теплового баланса схему с учетом условий оптимальности процесса были установлены:

1. Степень регенерации тепла в схеме с вакуумным гомогенизатором по абсолютной величине равна степени регенерации в схеме с гомогенизатором высокого давления.

2. При использовании вакуумного гомогенизатора сокращается на  $2/3$  необходимая поверхность теплообменника - регенератора.

3. Найдено оптимальное соотношение давлений в камерах гомогенизатора, что определило распределение температур жидкости и пара в схеме.

4. Найдены оптимальные размеры паропроводов в гомогенизаторе.

### 3.4. Промышленная реализация технологии и оборудования для вакуумной гомогенизации молока

Первый промышленный аппарат производительностью 5 тонн в час, спроектированный при участии автора, был изготовлен в ОП ИТФ АН Украины и смонтирован на Киевском гермолзаводе № 1, (Рис.17).

После длительных испытаний в промышленных условиях аппарат был принят межведомственной комиссией и рекомендован к широкому внедрению в производстве кисломолочных продуктов. Серийное производство вакуумных гомогенизаторов ВГ-5 было организовано в опытном производстве ИТК ИТФ АН Украины и в экспериментальном машиностроительном заводе Института. За 1990-1993 гг. были внедрены более 40 гомогенизаторов на молочных заводах Украины и России.

Вакуумный гомогенизатор ВГ-5

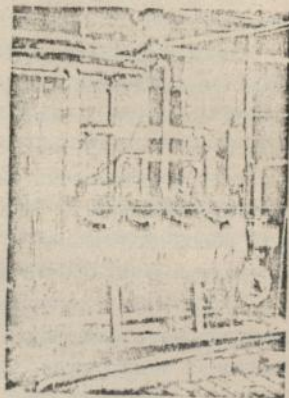


Рис. 17

### 3.5. Сравнение технико-экономических показателей вакуумного гомогенизатора и гомогенизаторов высокого давления

С целью определения уровня технико-экономических показателей вакуумного гомогенизатора по отношению к гомогенизаторам мирового класса было проведено сравнение технических характеристик вакуумных гомогенизаторов ВГ-5 и ВГ-10 с гомогенизаторами высокого давления фирмы "Fata", которая является одним из крупнейших производителей оборудования для молочной промышленности и, в частности, гомогенизаторов высокого давления, гомогенизаторов СНС-2 и СНС-3, произведенных по японской лицензии на одном из предприятий России, и гомогенизатора Одесского механического завода ОМ-ОГМ. Данные сравнения приведены в таблице. По ряду показателей вакуумные гомогенизаторы превосходят уровень мировых стандартов, в частности, по энергозатратам в 2,5-3 раза, по материалоемкости в 2-3 раза. Кроме того, в вакуумном гомогенизаторе отсутствуют трущиеся быстрознашивающиеся детали в диспергирующем узле и не требуется его периодическая замена; легко регулируется производительность в пределах ее максимального значения; в процессе работы аппарат не создает вибрации и может устанавливаться без фундамента на любом этаже здания, он прост в изготовлении, удобен и надежен в эксплуатации. Опыт использования вакуумного гомогенизатора

Параметры	типы гомогенизаторов	
	высокого давления	вакуумные
Удельная потребляемая мощность, кВт/час	6-8	2-2,5
Удельная материалоемкость кг/т	200-400	100-200
Рабочее давление, ат	до 300	0,05-0,15
Средний диаметр 90 % частиц жира, мкм	2	2
Периодичность замены диспергирующего узла, месяц	6	не заменяется во все время эксплуатации

ВГ-5 на Киевском гормолзаводе № 1 в течение более, чем 5 лет, показывает, что он может работать без капитального ремонта весьма длительное время. Кроме того, сопутствующие вакуумной гомогенизации положительные эффекты (дегазация, дезодорация, снижение кислотности, подавление микрофлоры, сохранение термостойкости молока) могут расширить сферу его применения.

### 3.6. Развитие и перспективы использования вакуумной гомогенизации

Вакуумная гомогенизация - принципиально новое направление по сравнению с гомогенизацией высокого давления, которая развивается уже более ста лет. Комплексное и углубленное изучение процессов вакуумной гомогенизации безусловно позволит расширить область ее применения, создать новые технологии и оборудование. В настоящее время определено само направление и сделаны первые шаги. Полученные результаты показывают насколько перспективно это направление. В Институте технической теплофизики АН Украины продолжается работа по созданию новых типов гомогенизаторов, в частности, по созданию аппарата, совмещающего гомогенизацию и стерилизацию, а также аппаратов различной производительности.

Выполненный комплекс работ по созданию технологии и оборудования для вакуумной гомогенизации позволяет: организовать серийное производство гомогенизаторов различного назначения в объемах, удовлетворяющих молочную промышленность; прекратить покупку импортного оборудования для гомогенизации и организовать экспорт отечественного оборудования.

Широкое внедрение вакуумных гомогенизаторов в молочной про-

миллениости позволяет: расширить ассортимент гомогенизированных молочных продуктов; сократить энергозатраты, сократить потери молока и молочного жира при производстве, хранении и реализации молока и молочных продуктов; улучшить вкусовые качества питьевого молока; улучшить качество кисломолочных продуктов; увеличить выход продукта в производстве творога; организовать массовый выпуск стерилизованных молочных продуктов длительного хранения и т.д.

### 3.7. Итоги разработки и внедрения технологии и оборудования для вакуумной гомогенизации

В результате проведенной работы: созданы три типа вакуумных гомогенизаторов: ВГ-5, ВГ-5М, ВГ-10; разработаны технические условия и внедрены технологии трех видов молочных продуктов с использованием вакуумной гомогенизации: кефира, низкожирного молока; творога; организовано серийное производство гомогенизаторов ВГ-5; за период с 1990 по 1993 гг. внедрены на предприятиях молочной промышленности более 40 аппаратов, проданы одна лицензия и два аппарата за границу. Технологии и устройство защищены авторскими свидетельствами № 1524213; 1389028, 1647945.

Гомогенизатор ВГ-5 демонстрировался на выставках: "Конверсия 89" на ВДНХ СССР и награжден Серебряной медалью; на международной Плодливской ярмарке в 1988 г.; на выставке "Советские экспортные возможности" в Бомбее в 1989 г., на международной ярмарке в Дели в 1990 г.

Исследование и разработка способа получения дисперсных систем в высокотурбулизированных пульсирующих потоках

Многообразие технологических процессов и их специфика в каждом конкретном случае требует различных подходов к их осуществлению. В ряде случаев принцип дискретно-импульсного ввода энергии может быть реализован путем создания высокотурбулизированных пульсирующих потоков, например, в аппаратах роторного типа. Разработанный при участии автора в Институте технической теплофизики АН Украины роторно-импульсный аппарат позволяет создавать высокоинтенсивную микромяситабную турбулизацию и пульсацию потока в локальном пространстве и осуществлять процессы с системами жидкость-жидкость, жидкость - твердое тело, жидкость - газ.

## I. Система жидкость-жидкость. Приготовление эмульсий.

В результате проведенного комплекса исследований, включавшего изучение основных закономерностей получения эмульсий с помощью РГА и зависимостей от основных параметров процесса и физико-химических свойств компонентов, был разработан ряд способов получения эмульсий различного назначения.

1) Водно-жировые эмульсии для медицинской, микробиологической, химико-фармацевтической промышленности. Работа выполнялась по заданию Министерства медицинской промышленности СССР.

Для целей пеногашения в процессах ферментации была разработана промышленная технология получения стерильных водно-жировых эмульсий и аппарат для ее реализации-эмульгатор РЭС /Рис.18/.

Для предприятий были разработаны рекомендации по изменению регламента использования жиров для целей пеногашения.

Технология и аппарат были внедрены на всех заводах медрепаратов Советского Союза, а также на ряде предприятий биохимической и химико-фармацевтической промышленности. Экономический эффект от внедрения одной установки составлял 56 тыс.руб. Технология защищена авторским свидетельством № 605355.

2) Эмульсии из воды и синтетических пеногасителей.

В ряде технологических процессов в медицинской, микробиологической и промышленности биопрепаратов применяют в качестве пеногасителей жидкости синтетического происхождения. Эффективность их использования еще в большей степени, чем для жиров, зависит от того, насколько развита массообменная поверхность. Были изучены свойства 170 эмульсий, получены концентрационные и температурные зависимости дисперсности для этих эмульсий, были установлены оптимальные для пеногашения концентрации компонентов. Внедрение технологий и устройств было проведено на Киевском заводе медрепаратов.

3) Эмульсии для кабельной промышленности.

В кабельной промышленности эмульсии используются для охла-

Эмульгатор РЭС

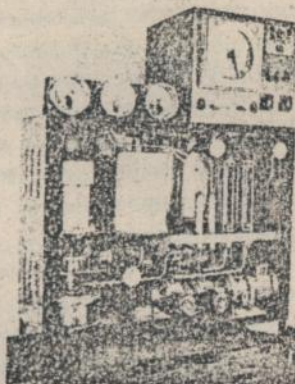


Рис.18

дании рабочих элементов при волочении проволоки. Были отработаны технологические режимы получения эмульсий из воды, технических жиров и глицерина натрия, а также разработана, изготовлена и внедрена на заводе "Укркабель" промышленная установка для получения охлаждающих эмульсий.

4) Высоковязкие и высокожирные эмульсии для пищевой промышленности.

В производстве белковой икры используются высоковязкие эмульсии, состоящие из рыбпродуктов, меланжа и различных добавок. На качество продукта существенное влияние оказывают степень дисперсности компонентов и глубина деаэрации смеси. Для подготовки высококачественных эмульсий был разработан гомогенизатор на базе роторно-импульсного аппарата /рис.19/ и смеситель-деаэризатор на базе вакуумного эмульгатора ЭВ. Испытания оборудования дали положительные результаты. Оно внедрено на двух предприятиях пищевой промышленности.

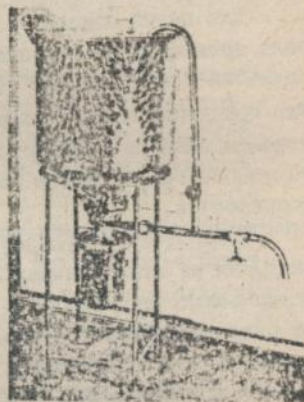


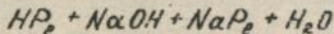
Рис.19

В производстве майонеза используются высокожирные эмульсии с повышенным содержанием к их устойчивости. Для мелотоннажных производств майонеза разработан смеситель на базе РМА, испытания которого дали положительные результаты. Аппарат внедрен на Харьковской фирме "Экспресс", Киевской птицефабрике, г.Бровары, Гадячском сырзаводе, Никопольском заводе продуктов.

2. Жидкостная экстракция с быстропотекающей реакцией

Работа выполнялась по Постановлению ЦНТ СССР № 23 от 30.01.1968 г. /тема 0.74.303а/.

В производстве пенициллина на одном из этапов технологии осуществляется жидкостная экстракция с быстропотекающей реакцией:



Процесс экстракции лимитируется концентрацией водного раствора щелочи и величиной массообменной поверхности при введении

ен в раствор пенициллина. В существующей ранее технологии процесс осуществлялся в аппаратах периодического действия путем капельной подачи щелочи в объем бутылочного раствора пенициллиновой кислоты.

С целью интенсификации этого процесса была разработана специальная конструкция рабочего органа роторно-импульсного аппарата с внутриволостным подводом щелочи непосредственно в зоне смешения /Рис.20/. В результате проведенных исследований было установлено, что концентрацию щелочи можно увеличить с  $0,7 N$  до  $1,2 N$ , т.е. в 1,7 раза. При этом объем водного раствора пенициллина сокращается на 40%. Сокращение объема раствора и увеличение его концентрации вызвали изменение режимов последующих операций - выпаривания и кристаллизации. С целью оптимизации параметров этих процессов в промышленных условиях был проведен комплекс исследований кинетики выпаривания азеотропных водно-бутанольных растворов пенициллина и кинетики кристаллизации. В результате этих исследований были определены новые графики выпаривания, расходы бутылочного спирта в процессах выпаривания и кристаллизации, режим получения заданной формы кристаллов.

Реализация разработанных мероприятий позволила сократить время выпаривания с 6-12 часов до 3-4, увеличить коэффициент использования оборудования в среднем в 2 раза, сократить расход дорогостоящего бутылочного спирта на 40%, увеличить выход готового продукта на 5%.

Работа была внедрена на всех заводах медпрепаратов в СССР, производящих пенициллин. Экономический эффект от внедрения составил 140 тыс.руб. в год на одной технологической линии. Метод воднобутанольной экстракции пенициллина защищен авторским свидетельством № 280441. Работа экспонировалась на ВДНХ СССР и была награждена Бронзовой медалью.

### 3. Система жидкость - твердое тело. Растворение порошков.

Работа выполнялась по Постановлению ГИИТ СССР № 221 от 5.04.1989г. и заданию Министерства пищевого промышленности УССР.

Роторно-импульсный аппарат

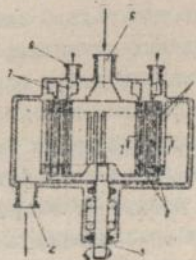


Рис.20

Растворение сухих порошкообразных продуктов широко используется во многих отраслях пищевой промышленности и в сельском хозяйстве. Оборудование, которое используется для этой цели имеет высокую удельную энерго- и материалоемкость, ненадежно в эксплуатации, не обеспечивает полного растворения порошков.

Цель данной работы состояла в создании технологии и оборудования для высокоэффективного растворения сухих сыпучих продуктов, снижении энергозатрат и повышении надежности. Для реализации поставленной задачи были проведены исследования механизма растворения и гомогенизации сухих молочных продуктов на базе роторно-импульсного аппарата.

Для предварительного смешивания порошка с водой было разработано специальное устройство с кавитационной камерой. Были установлены предельно возможные концентрации сухих веществ в растворе при прохождении через устройство, степень растворимости порошка, геометрические размеры устройства для предварительного перемешивания.

Результаты исследований и разработка специального устройства позволили создать промышленный агрегат для растворения сухих сыпучих продуктов, общий вид которого представлен на рис. 21.

Агрегат обеспечивает практически полное растворения порошка, даже если в нем содержатся твердые включения в виде кристаллов и сгустков. Удельная энергоёмкость агрегата в 2 раза ниже по сравнению с ИТ-03М и ИГ-0ПЕ, а материалоемкость в 5 раз ниже.

Первое внедрение трех установок было осуществлено на Киевских молочных заводах весной 1986 г. после Чернобыльской катастрофы в связи с необходимостью замены загрязненного натурального молока экологически чистым сухим. В настоящее время ведутся работы по внедрению аппаратов в различных отраслях промышленности.

Агрегат экспонировался на международной ярмарке в Дале и вызвал интерес специалистов.

Аппарат для растворения порошков



Рис. 21

#### 4. Система жидкость - пар. Стерилизация термолабильных продуктов

В производстве пищевых продуктов, в частности, в молочной промышленности, широко используются процессы высокотемпературной пастеризации и стерилизации термолабильных жидкостей, например, молока, сочетающие в себе кратковременный нагрев с последующим быстрым охлаждением. Нами предложено использовать для этих целей устройство в составе роторно-импульсного аппарата специальной конструкции и вакуумного гомогенизатора. Проведенные исследования на модельных жидкостях показали, что необходимый эффект стерилизации достигается при температурах на 10-15 °С ниже, чем в используемых в промышленности устройствах. В настоящее время продолжают исследования и ведется разработка гомогенизатора-стерилизатора для молочной промышленности.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании теоретического анализа и экспериментальных исследований доказана высокая эффективность использования метода дискретно-импульсного ввода энергии в тепломассообменные процессы, протекающие в гетерогенных средах. Установлено, что наиболее эффективным способом реализации метода в процессах эмульгирования, гомогенизации, жидкостной экстракции является адiabатное вскипание многокомпонентных смесей.
2. Впервые в отечественной и мировой практике предложено использовать процесс адiabатного вскипания многокомпонентных смесей для диспергирования жидкостей с целью получения высокодисперсных жидкостных систем.
3. Впервые исследованы основные закономерности процесса адiabатного вскипания многокомпонентных смесей при истечении в вакуум. Установлено, что определяющим фактором процесса диспергирования является начальный перегрев смеси; существенное влияние оказывает концентрация компонентов, геометрия канала, кратность обработки; практически не оказывает влияния величина давления, при котором протекает процесс.
4. На основании экспериментальных исследований процесс адiabатного вскипания чистых жидкостей и многокомпонентных смесей разработан принципиально новый способ диспергирования жидкостей и получения высокодисперсных жидкостных систем.

5. Разработаны научные основы и сформулированы основные принципы получения высокодисперсных смесей и конструирования оборудования для реализации процесса диспергирования многокомпонентных смесей при адиабатном вскипании применительно к процессам эмульгирования, гомогенизации, смешения.
  6. Создан новый класс аппаратов для молочной, пищевой, медицинской и ряда других отраслей промышленности, реализующий метод дискретно-импульсного ввода энергии в жидкостные системы, не имеющий аналогов в мире.
  7. Разработаны и широко внедрены технология и оборудование для производства жидкого и сухого заменителей цельного молока. Организовано серийное производство вакуумных эмульгаторов. В промышленности внедрены более 400 технологических линий для производства жидкого заменителя цельного молока и более 20 аппаратов для эмульгирования смесей в производстве сухого заменителя цельного молока. Работа удостоена Государственной премии Украины.
  8. Разработаны и внедрены технология и оборудование для вакуумной гомогенизации молока. В результате экспериментальных исследований и испытаний промышленных образцов установлено, что вакуумной гомогенизации сопутствуют ряд положительных эффектов: дегазация, дезодорация, снижение кислотности, подавление микрофлоры, повышение термостойкости молока. Организовано серийное производство вакуумных гомогенизаторов. В промышленности страны внедрены более 40 аппаратов. За границу проданы два гомогенизатора и лицензия на их производство.
  9. Предложен способ реализации дискретно-импульсного ввода энергии в жидкостные системы путем создания высокотурбулизированных пульсирующих потоков и разработано оборудование для его осуществления.
  10. На базе способа по пункту 9 разработаны и внедрены в различных отраслях промышленности технологии получения пяти видов эмульсий, способ осуществления жидкостной экстракции в производстве медпрепаратов, способ и устройство для растворения порошков, разрабатывается способ стерилизации жидкостей в высокотурбулизированных пленках.
- II. Практические результаты работы представлены в итоговой таблице. В настоящее время продолжаются исследования и ведется разработка гомогенизаторов большой производительности.

Итоговая таблица практических результатов работы

Тема	По какому заданию выполнялась	Что разработано	Защита авторскими свидетельствами	Чем закончилась разработка	Объем внедрения	Экономический эффект	Оценка работы
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Исследование и разработка способа диспергирования жидкости при адиабатическом вскипании	Постановл. СМ УССР № 4 от 5.01.79г.	Способ получения высокодисперсных жидкостных систем	656649 1136831 1347969 1449154 1566549	Сформулированы основные принципы получения дисперсных систем и конструирования оборудования			
2. Разработка и внедрение технологии и оборудования для производства ЖЦМ	- Постановление Госплана УССР №4-ДСП от 28.07.81.  -Протокольное решение Госплана СССР №ПА-206/41 284 от 31.05.82г.	-Способ и устройство для получения эмульсий ЖЦМ,  -технологическая линия для производства ЖЦМ	1066105	Организовано серийное производство аппаратов ЭВ	более 400 технологических линий	В 1983г. 30 млн. руб.	-Гос. премии Украины, -Золотая медаль Лейпцигской ярмарки -Золотая и серебряная медали ВДНХ СССР -Диплом I степени ВДНХ УССР

1	2	3	4	5	6	7	8
3. Разработка и внедрение технологии и оборудования для эмульгирования смесей сухого ЗЦМ	Республ. программа РН 39.10	Способ и устройство для эмульгирования смесей сухого ЗЦМ	805980 I308309	Организовано серийное производство аппаратов тип ЭВС	более 20 аппаратов	56 тыс. руб. /на 1987г./	Серебряная медаль ВДНХ СССР Диплом III степени ВДНХ УССР
4. Разработка и внедрение технологии и оборудования для гомогенизации молока	Постановл. Госплана УССР № 88 от 29.12.85г. - Постановл. СМ УССР №250 от 11.07.86г. - Постановл. ГКНТ СССР № 221 от 5.04.89г.	-Технология гомогенизации молока в производстве кисломолочных и низкожирных продуктов -аппарат вакуумный гомогенизатор ВГ-5	I389028 I524213 I647945	организовано серийное производство аппаратов ВГ-5 Разработаны технические условия для производства за кефира низкожирного молока	- внедрены более 40 аппаратов	продажна лицензия на производство ВГ-5 По контракту проданы за границу 2 аппарата	Серебряная медаль ВДНХ СССР

1	-2	3	4	5	6	8	8
5. Разработка и внедрение технологий и оборудования для получения высокодисперсных жидкостных систем при создании высокогурбулизированных пульсирующих потоков	Постановле- ние ГКНТ СССР № 23 от 30.01.68г. Постановл. ГКНТ СССР № 221 от 5.04.89г. Постановл. ГКНТ № 5 от 26.02. 92г.	Технология и оборудование для получения водно-жировых и синтетичес- ких эмульсий; Технология и аппарат для жидкостной экстракции Устройство для растворе- ния порошков	280441 605353 1042789	Серия ап- паратов РЭС  Серия аппаратов РИА  Серия ап- паратов для раст- ворения порошков	Внедрены 3 установки  Внедрены 4 установки  Внедрены 3 установки	56 тыс.руб.	Бронзовая медаль ВДНХ СССР

Содержание диссертации опубликовано  
в следующих основных работах:

1. Шурчкова Ю.А. Исследование тепло- и массообмена при испарительном охлаждении диспергированной жидкости в условиях вакуума// В сб. Тезисы докладов VI Респ.междуз.конф. по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем, 1966.
2. Шурчкова Ю.А. Охлаждение перегретой жидкости в вакууме// В кн.: Тепло- и массообмен в хим.техн.Респ.межвед.сб. АН УССР, 1967.
3. Балицкий А.С., Шурчкова Ю.А. Истечение перегретой жидкости в вакууме// В кн.: Тепло- и массообмен в хим.техн.Респ.межвед.сб. АН УССР, 1968.
4. Шурчкова Ю.А. Исследование испарительного охлаждения перегретой жидкости// В сб.: Тезисы докладов Всес.конф.молодых ученых по тепло- массообмену. - Минск, 1969.
5. Долинский А.А., Шурчкова Ю.А. Экспериментальное исследование термостойкости водно-бутенольных растворов пенициллина// Теплофизика и теплотехника. - 1970, № 6.
6. Шурчкова Ю.А. Механизм и интенсивность охолождения перегретой жидкости// Доповідь АН УРСР. - 1974, № 4.
7. Шурчкова Ю.А., Кигель Б.Т., Кучеренко В.Н. Теплофизические свойства растворов пенициллина// Антибиотики. - 1974, № II.
8. Шурчкова Ю.А., Милешин Ю.Н., Биклиев. Внедрение ротационно-импульсного аппарата для интенсификации процесса экстрагирования пенициллина на Саранском заводе медпрепаратов// хим.фарм. Журн. - 1974, № II.
9. Шурчкова Ю.А., Милешин Ю.Н., Гартвиг А.П., Гуров А.И., Результаты исследования пеногашения с помощью водно-жировых эмульсий// В сб.:Тезисы докладов Второй Всес.конф. по комплексной механизации и автоматизации производства медпрепаратов. - Ленинград, 1974.
10. Шурчкова Ю.А. Влияние газосодержания на процесс вскипания и охлаждения перегретой жидкости// Теплофизика и теплотехника. - 1975, № 29.
11. Шурчкова Ю.А., Попова М.В. Некоторые особенности кристаллизации натриевой и калиевой солей бензилпенициллина// В сб.: Тезисы докладов III Всес.конф. по комплексной механизации и автоматизации процессов хим.-фарм. промышленности. - Киев, 1977.

12. Шурчкова Ю.А., Попова М.В. К вопросу о растворении кристаллической натриевой соли бензилпенициллина в воднобутанольных растворах// Сб.: Труды ВНИИ и РЭА. - Москва, 1977.
13. Шурчкова Ю.А., Милейтин Ю.Н. Метод повышения концентрации растворов// Сб.: Тезисы докладов - Разработка и внедрение высокоэффективных сушильных установок. - Симферополь, 1978.
14. Долинский А.А., Шурчкова Ю.А. Применение новых типов теплообменного оборудования в медицинской промышленности// В сб.: Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания "Пути повышения эффективности производства и улучшения качества фито-химических препаратов. - Ташкент, 1978.
15. Долинский А.А., Шурчкова Ю.А. Диспергация перегретой жидкости в среде вязкой жидкости при пониженном давлении// В сб.: Тезисы докладов XIII Всесоюзной конференции по вопросам испарения горения и газовой динамики дисперсных сред. - Одесса, 1979.
16. Долинский А.А., Шурчкова Ю.А. Разработка и внедрение массообменных аппаратов смешительного типа// В сб.: Тезисы докл. XIII Всес. конф. по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных сред. - Одесса, 1979.
17. Шурчкова Ю.А., Кучеренко В.Н., Голодник В.В. Улучшение режима работы сушильной камеры путем повышения эффективности эмульгирования молочно-жировой смеси в процессе производстве сухого заменителя цельного молока. В сб.: Тезисы докл. Всес. научно-технич. конф. "Совершенствование техники, технологии сушки с/х и пищевых продуктов в соответствии с Продовольственной программой. - Полтава, 1984, секция 4, с.61-62.
18. Долинский А.А., Шурчкова Ю.А. Новая технология эмульгирования в производстве жидкого заменителя цельного молока// В докл. Национ. и.-т. конференции с междунар. участием "Экономия энергетических и сырьевых ресурсов путем внедрения новых технологий, материалов и заменителей в промышленность, строительство и транспорт. - Пловдив, 1984.
19. Долинский А.А., Шурчкова Ю.А. Разработка и внедрение массообменных аппаратов смешительного типа// В сб.: Тезисы докладов У Респ. конф. "Опыт внедрения и промышленная эксплуатация теплообменного аппарата и реакторов. - Днепропетровск, 1985, с. II5-II7.
20. Шурчкова Ю.А., Бурымский В.К., Новак М.А. Исследование свойств молочно-жировых эмульсий. В сб.: Тезисы докл. Всес. научн. конф. "Повышения эффективности, совершенствование процессов и аппа-

- ратов химических производств" (ПАХТ-85). - Харьков, 1985, ч. I, С. 118-119.
21. Шурчикова В.А., Буримский В.К., Филипова В.И. Исследование эмульсий на основе синтетических пеногасителей// В сб.: Тезисы докладов Всесоюз. научной конференции "Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств" (ПАХТ-85) - Харьков, 1985, ч. I, с. 119.
22. Долинский А.А., Шурчикова В.А., Буримский В.К. Дробление жидкости при вскипании метастабильных адиабатных потоков// В сб.: Тезисы докладов УП Всес. конф. "Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах. - Ленинград, 1985, Л. Из-во МПО ЦКТИ т. 3, С. 119-121.
23. Долинский А.А., Шурчикова В.А., Васок Б.И., Идис Б.Г. Гомогенизация эмульсий трудносмешивающихся жидкостей// В сб.: Тезисы докл. УП Всес. конф. "Двухфазные потоки в энергетических машинах и аппаратах. - Ленинград, 1985, Л. Из-во МПО ЦКТИ, т. I, С. 322-324.
24. Долинский А.А., Шурчикова В.А., Буримский В.К. Исследование процесса эмульгирования при адиабатическом вскипании многокомпонентных систем// М.: ВО "Агропромиздат", Молочная промышленность 1986, № 10, с. 15-18.
25. Долинский А.А., Шурчикова В.А., Буримский В.К., Новак М.А., Спешилгов М.Ф. Оборудование для получения молочно-жировых эмульсий// М.: ВО "Агропромиздат", молочная промышленность, 1986, № 8, С. 8-11.
26. Долинский А.А., Шурчикова В.А. и др. Разработать технологию и создать устройство для эмульгирования заменителя цельного молока производительностью 12 тн/смену готового продукта// Отчет по НИР (заключительный) № ГР 01812009897, Киев: ИТФ АН УССР, 1985.
27. Долинский А.А., Шурчикова В.А., Буримский В.К., Идис Б.И. Предел устойчивости дисперсной фазы в системе жидкость-жидкость при кипении// В сб.: Тезисы докладов Всесоюзного совещания "Повышение эффективности и надежности машины и аппаратов в основной химии" - Сумы, 1986, секция 6, С. 209-210.
28. Долинский А.А., Васок Б.И., Шурчикова В.А. Моделирование процесса гомогенизации адиабатно-вскипавших эмульсий// В сб. докл. УП Республ. конф. "Повышение эффективности и совершенствование процессов и аппаратов химических производств". - Львов, 1983, т. 3, С. 102-103.

29. Долинский А.А., Шурцкова Д.А., Басок Б.И. Экспериментальное исследование процесса вакуумной гомогенизации молока// В сб.: Тезисы докладов XI Всесоюзной конференции "Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и с/х сырья". - М., 1989, С.185-186.
30. Басок Б.И., Шурцкова Д.А. Дробление дисперсной фазы при истечении в область разрежения потока эмульсии// В сб. докладов IY Всесоюзной конференции "Физика и техника монодисперсных систем". - М., 1991, С.85-86.
31. Басок Б.И., Шурцкова Д.А. Вакуумная гомогенизация водно-жировых эмульсий// В сб. докл. Международной конференции "Тепло- и массообмен в технологических процессах". - Кумала, 1991, с.250.
32. Кремнев О.А., Боровский В.Р., Кравченко Д.С., Т.А.Усик, А.А.Долинский, Д.А.Шурцкова. Ротационный аппарат для взаимодействия жидкости с жидкостью, газом и порошкообразным телом. А.с. № 280441.
33. Кремнев О.А., Долинский А.А., Маслюгов Д.Д., Николаев Д.Д., Милешин Е.Н., Шурцкова Д.А. Способ непрерывного получения стерильной водно-жировой эмульсии. А.С.№ 605353.
34. Кремнев О.А., Долинский А.А., Филиппова В.И., Шурцкова Д.А. Способ получения водно-жировой эмульсии а.с. № 656649. - Оpubл. в Б.И., 1979, № 14.
35. Кремнев О.А., Долинский А.А., Шурцкова Д.А. Способ получения эмульсии для заменителя цельного молока. А.с. № 805980 - Оpubл. в Б.И., 1981, № 7.
36. Долинский А.А., Гартвиг А.П., Спешиллов М.Д., Шурцкова Д.А. Устройство для перемешивания жидкостей. А.с. № 1042789.
37. Долинский А.А., А.А.Корчинский, Шурцкова Д.А. Способ получения эмульсий. А.с. № 1136831.
38. Долинский А.А., Николаев Д.Д., Бойко В.Г., Новак М.А., Григоренко Г.В., Шурцкова Д.А. Способ получения жидкого заменителя цельного молока. А.с. № 1058105.
39. Долинский А.А., Басок Б.И., Буримский В.К., Шурцкова Д.А., Илис Б.Г. Способ гомогенизации молока. А.с. № 1524213.
40. Долинский А.А., Шурцкова Д.А., Буримский В.В., Ганзенко В.В. Селецкий Д.М., Загурка А.Ф., Ковальчук Н.Д. Способ производства кисломолочных продуктов. А.с. № 1647945.
41. Долинский А.А., Корчинский А.А., Шурцкова Д.А. Способ получения эмульсий. А.с. № 1347969.

42. Долинский А.А., Гартвиг А.П., Шурцкова Ю.А. Способ производства молока. А.с. № 1308309.
43. Долинский А.А., Накорчевский А.И., Корчинский А.А., Шурцкова Ю.А. Способ получения эмульсий. А.с. № 1566549.
44. Долинский А.А., Басок Б.И., Шурцкова Ю.А., Идис В.Г. Способ гомогенизации эмульсий. А.с. № 1389028, 1987.
45. Долинский А.А., Шурцкова Ю.А., Басок Б.И., Идис В.Г., Буримский В.К. Способ диспергирования водно-жировой эмульсии типа "масло в воде". А.с. № 1467215, 1989.
46. Долинский А.А., Шурцкова Ю.А., Басок Б.И., Буримский В.К., Идис В.Г. Способ гомогенизации молока. А.с. № 1524213, 1989.
47. Долинский А.А., Шурцкова Ю.А., Николаев Ю.Д., Гартвиг А.П. Способ гомогенизации молока и устройство для его осуществления. А.с. № 1700660, 1992 г.
48. Лагодюк П.З., Янувич В.Г., Госалюк С.В., Долинский А.А., Шурцкова Ю.А., Николаев Ю.Д. Зоотехнические, биологические и экономические аспекты использования жидкого заменителя цельного молока в кормлении телят // Вестн. с/х науки, 1987, №2.
49. Долженю В.А., Долинский А.А., Шурцкова Ю.А. Молоко пастеризованное коровье, 1,0 %, 2 % жирности. Технические условия ТУ 10.16.УССР 83-89 /вводится впервые/ № ГРО81/С14331, Киев, 13.12.1989 г.

*Шурцкова*

Подписано к печати 16.08.1994г.      формат 60x84/16  
 Бумага офсетная    Усл.-печ. лист 2,0 Уч.-изд. лист 2,0  
 Тираж 100.    Заказ 406.      Бесплатно

Полиграф. уч.-к Института электродинамики АН Украины,  
 252057, Киев-57, проспект Победы, 56.