

Завдяки тому, що ймовірність утвору твердих часток в обсязі розчину олія - вода (при впливі магнітного поля) збільшується, то знижується навантаження на встаткування, що працює на основі хімічних реагентів. Тобто знижується витрата реагентів на проведення реакцій без втрат продукту на виході або збільшується його (продукту) концентрація.

Література.

1. Насретдинов Э. С., Рахимов Р. Б., Комилов М. З. Характеристика электромагнитного поля. //Хранение и переработка сельхозсырья. 1998. №2 с.20-21.
2. Технология производства растительных масел. В. М. Копейковский, С. И. Данильчук, Г. И. Гарбузова и др. под ред. В. М. Копейковского. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 416 с.
3. Топілін Г.Е., Осадчук П. І., Гальцев В.П. Ефективний метод отримання живої рослинної олії.// Аграрний вісник Причорномор'я: Збірник наукових праць. Вип.. 5(19). - Одеса, 2002.
4. Осадчук П.І., Топілін Г. Є., Гальцев В. П. Гідратація рослинної олії, коагуляція фосфатидів і вощини друк //Аграрний вісник причорномор'я, Технічні науки – 2004 - № 24 – С.28 - 32.

УДК 664.012.3:005.584.1.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ БЛОЧНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ ВОДЫ ИЗ ПИЩЕВЫХ РАСТВОРОВ

Бурдо А.К., к.т.н., доцент
Одесская национальная академия пищевых технологий

Представлен анализ методов экспериментального моделирования процессов кристаллизации воды из пищевых растворов. Анализ проведен для технологий блочного вымораживания. Сравняются конструкции стенового оборудования. Приведена сводка диапазона экспериментальных исследований. Обсуждаются принципы обобщения результатов экспериментов, принятые различными авторами.

The analysis of experimental modeling methods of water and food solutions crystallization processes is presented. The analysis is carried out for block freezing. Constructions of equipment are compared. The experimental range summary is given. The principles of experiments results generalization, accepted by different authors, are discussed.

Ключевые слова: кристаллизация, блочное вымораживание, моделирование.

Вступление. Технология блочного вымораживания воды из растворов, техническая идея которой защищена в [1], а первые исследования выполнены в диссертации [2], привлекла широкий интерес исследователей. Простота конструкции и надежность в эксплуатации, энергетическая эффективность и высокое качество криоконцентрата отличают эту технологию от традиционных методов концентрирования. Перспективность технологии подтверждена в различных отраслях пищевых производств: при концентрировании молочной сыворотки [3, 4], соков [4, 5, 6], различных экстрактов [4, 7], виноматериалов [8, 9], солевых [10] и сахарных [11, 12] растворов. Научные и технические основы процессов блочного вымораживания представлены и в монографиях [12, 13]. Проблемам совершенствования конструкции блочных вымораживателей и внедрения их в производство посвящены работы [12, 14]. Вместе с тем, достаточно представительный материал, который получен в этих работах, не обобщен, несмотря на то, что по направлению блочного разделения жидких пищевых систем защищена докторская диссертация [15].

Анализ состояния вопроса. Рассмотрим основные задачи, условия опытов и их результаты, которые получены различными авторами (табл.1).

Таблиця 1 – Умовля експериментальних дослідвань

авторы	объекты исследований	режимы и диапазон параметров	стенд
Бурдо О.Г. [2]	Творожная сыворотка, вода	ЕК, X = (5... 37)%; $t_x = -30$ °C	ТСК-1
Аль-згул-Бассам [3]	Молочная сыворотка	ЕК, X = (5... 37)%; $t_x = (-5...-15)$ °C $m = (0,14...0,5)$ кг/(м ² мин)	Ст 1, Ст. 2, Ст 3, Бл9
Мордынский В.П. [4]	Сок виноградный, молочная сыворотка, экстракт кофе	ЕК, МП, ЦП, X = (5... 37)%; $t_x = (-5...-15)$ °C $m = (0,15...0,3)$ кг/(м ² мин)	Ст. 2, Ст 3, Ст.4, Ст.5, Бл9, Бл.20
Коваленко Е.А. [5]	Сок вишневый и абрикосовый	ЕК, X = (12... 45)%; $t_x = (-10...-20)$ °C $m = (0,06...0,2)$ кг/(м ² мин)	Ст. 2, Ст 3, Бл9
Тележенко Л.Н., Бурдо А.К. [6]	Сок из столовой свеклы	ЕК, X = (12... 45)%; $t_x = (-10...-20)$ °C $m = (0,1...0,25)$ кг/(м ² мин)	Ст. 2, Ст 3, Бл9
Реминная Л.П. [7]	Экстракты корицы, шиповника, гвоздики и мускатного ореха	ПМ, X = (5... 40)%; $t_x = (-6...-20)$ °C	Ст. 6
Осипова Л.А., Радионова О.В. [8, 9]	Столовые сухие виноматериалы	ЕК, X = (1,17... 3,65)%; $t_x = (-10...-20)$ °C C = (4,5...13,7)%	Ст. 2, Ст 3, Бл9
Евдокимова О.А. [10]	Морская вода, стоки, растворы соли	ЕК, X=(0,1... 0,27)%; $t_x = (-10...-20)$ °C	Ст. 2
Милинчук С.И. [11]	Растворы сахарозы, соли и спирта	ЕК, X = (12... 45)%; $t_x = (-10...-20)$ °C	Ст.7 БР-50
Харенко Д.А. [12]	Диффузионный сок сахарной свеклы	ЕК, X = (10... 45)%; $t_x = (-10...-35)$ °C	Ст.6, Бл.6, БЛН-50

В табл.1 приняты следующие сокращения: ЕК – естественная конвекция; МП – перемешивание мешалкой; ЦР – циркуляционное перемешивание; ПМ – пульсационное перемешивание; АП - акустическое перемешивание; С – концентрация спирта; X – концентрация сухих веществ; t_x – температура поверхности кристаллизатора; m – приведенная интенсивность образования твердой фазы (льда).

Опыты проводились на 8 стендах и на 5 опытных образцах вымораживающих установок, которые разработаны и изготовлены в ОНАПТ. Основные конструктивные характеристики стендов и установок приведены в табл.2.

Таблиця 2 – Характеристики стендов и установок

Тип	Принципиальные отличия	Конструктивные параметры
ТСК-1	Аммиачный термосифонный кристаллизатор, сосуд Дьюара с раствором в низкотемпературной климатической камере.	$d = (6 \text{ и } 8)\text{мм}$, $h = 0,5\text{м}$, $V = 1\text{л}$.
Ст 1,	Кристаллизатор – трубка Фильда, ВДО-0,35, хладоноситель – водоглицериновая смесь	$d = 10\text{мм}$, $h = 0,2\text{м}$, $V = 0,2\text{л}$.
Ст. 2,	Кристаллизатор – трубка Фильда, ВДО-0,35, хладоноситель – водоглицериновая смесь	$d = 18\text{мм}$, $h = 0,2\text{м}$, $V = 0,4\text{л}$.
Ст 3	Кристаллизатор – трубка Фильда, ВДО-0,35, хладоноситель – водоглицериновая смесь	$d = 23\text{мм}$, $h = (0,2 \text{ и } 0,42)\text{м}$, $V = 0,4\text{л}$.
Ст 4	Змеевиковый кристаллизатор с непосредственным кипением R12, лопастная мешалка	$d = 18\text{мм}$, $h = 0,3\text{м}$, $V = 3\text{л}$.
Ст 5	Цилиндрический кристаллизатор – трубка Фильда с непосредственным кипением R12, нижняя подача R12	$d = 47\text{мм}$, $h = 0,5\text{м}$, $V = 5\text{л}$.
Ст.6	Плоский горизонтальный кристаллизатор с непосредственным кипением R12, пульсирующая перфорированная мешалка	Площадь $(0,3 \times 0,125)\text{м}$, $V = 2,5\text{л}$
Ст.7	Дисковый кристаллизатор с возможностью визуализации льдообразования и изменения ориентации, ВДО-0,35, хладоноситель – водоглицериновая смесь	$d = 100\text{мм}$, $h = 20 \text{ мм}$, $V = 0,2\text{л}$.
Бл6	Цилиндрический кристаллизатор – трубка Фильда с непосредственным кипением R22, верхняя подача R22	$d = 47\text{мм}$, $h = 0,5\text{м}$, $V = 6\text{л}$
Бл9	Цилиндрический кристаллизатор – трубка Фильда с непосредственным кипением R12, верхняя подача R12	$d = 47\text{мм}$, $h = 0,85\text{м}$, $V = 9\text{л}$
Бл.12	Плоский вертикальный кристаллизатора с непосредственным кипением R22, ХМ ВС300(2)	Площадь $(0,25 \times 0,4)\text{м}$, толщина 5мм. $V = 12\text{л}$
БР-50	Погружной кристаллизатор, воздушный конденсатор, плавитель льда в режиме рециклинга	$d = 23\text{мм}$, $h = 0,6\text{м}$, $V = 50\text{л}$
БЛН-50	5 змеевиковых кристаллизаторов с непосредственным кипением R12	

В табл.2 приняты следующие сокращения: ХМ – холодильная машина; d – наружный диаметр трубки кристаллизатора; h – высота трубки кристаллизатора; V – объем емкости концентратора (объем раствора).

Основной объем экспериментальных данных получен на стендах Ст.2, Ст.3, Ст.4 и на установке блочного вымораживания Бл-9. Основные задачи, которые решались в экспериментах, это определения возможностей использования технологий блочного вымораживания для криоконцентрирования разнообразных пищевых растворов. Результаты исследований сводились к определению условий фазовых равновесий (криоскопических кривых), кинетики формирования блока льда роста концентрации раствора, параметров процесса гравитационного сепарирования. Базы экспериментальных данных в большинстве случаев обобщались зависимостью массообменного числа Шервуда от числа Релея.

Новые научные результаты представлялись авторами моделями кинетики вымораживания с указанием диапазонов рекомендуемого применения (табл.3).

Таблиця 3 – Сводка моделей по кинетике вымораживания

№	модель	ГОД, ИСТОЧНИК
1	$Sh = 3,59 Ra^{0,8} \left[\frac{Sc}{Pr} \right]^{0,33} \left[\frac{d_{KP}}{h_{KP}} \right]^{1,51}$ продукт – молочная сыворотка	1994 [3]
2	$Sh = 0,0095 Ra^{0,2} \left[\frac{Sc}{Pr} \right]^{1,2}$ продукт – экстракт кофе, молочная сыворотка, виноградный сок	1995 [4]
3	$Sh = Ra^{0,41} \left[\frac{Sc}{Pr} \right]^{0,33} \left[\frac{d_{KP}}{h_{KP}} \right]^{0,4}$ продукт – абрикосовый и вишневый сок	1997 [5]
4	$Sh = 0,348 Ra^{0,35} \left[\frac{Sc}{Pr} \right]^{0,33} \left[\frac{d_{KP}}{h_{KP}} \right]^{0,4}$ продукт – сок столовой свеклы	1999 [6]
5	$Sh = 0,41 Ra^{0,31} \left[\frac{Sc}{Pr} \right]^{0,33} \left[\frac{r_K - r_L}{h_L} \right]^{0,21}$ $\tau = 0,75 \tau_0 \phi_1 (Bi)_d^{0,1}$ (время вымораживания) продукт – молочная сыворотка	2001 [11]
6	$Sh = 2 * 10^8 Ra^{-0,42} \left[\frac{Sc}{Pr} \right]^{0,33} \left[\frac{l_{KP}}{\delta_P} \right]^{1,51}$ продукт – белые и красные столовые сухие виноградные виноматериалы	2006 [8,9]
7	$Sh = 1,3 * 10^{-3} (GrSc)^{0,86}$ (без перемешивания)	2007 [10]
	$Sh = 9,67 Re_M^{0,31} Sc^{0,64} \left[\frac{d_{KP}}{h_{KP}} \right]^{0,87}$ (с перемешиванием)	(8)
	продукт – морская вода, стоки, растворы соли	
8	$Sh = 8 * 10^{14} Ra^{-0,8} \left[\frac{Sc}{Pr} \right]^{0,33} \left[\frac{l_{KP}}{\delta_P} \right]^{0,52}$ (без перемешивания)	2008 [7]
	$Sh = 3 * 10^4 Re^{0,32} Sc^{0,47} \left[\frac{l_{KP}}{\delta_P} \right]^{-2,19}$ (с перемешиванием)	(10)
	продукт – экстракты корицы, шиповника, гвоздики и мускатного ореха	

В табл.3 приняты следующие обозначения: число Шервуд, - число Прандтля, - число Рейнольдса, - число Шмидта, - число Рэлея, число Грасгофа.

Видно, что разные авторы используют при моделировании разные физические представления об определяющем влиянии конструктивных факторов и режимных параметров на кинетику формирования блока льда.

Выводы. В результате многочисленных исследований кинетики кристаллизации при блочном вымораживании сформирована представительная база экспериментальных данных. Исследованы процессы кристаллизации воды из соков, экстрактов, виноматериалов, молочных продуктов. Апробированы различные принципы организации процесса вымораживания. Накопленный экспериментальный материал

может служить основой для создания общей теории кристаллизации воды из пищевых растворов при блочном вымораживании.

Литература

1. Бурдо О.Г., Горыкин С.Ф., Дарманьян Е.Б. Способ получения вымораживанием концентрированных жидких продуктов пищевых производств. Патент. № 1716976 (СССР) Б.И1992, №8.
2. Бурдо О.Г. Совершенствование процессов и аппаратов пищевой и холодильной технологий на основе автономных теплопередающих устройств. – Дис. докт. техн. наук. Одесса, 1988. – 526 с.
3. Аль-згул-Бассам. Теплопередача при концентрировании молочной сыворотки методом блочного вымораживания. – Автореферат дис. канд. техн. наук. Одесса, 1994. – 16 с.
4. Мордынский В.П. Изучение влияния различных методов разрушения пограничного слоя при блочном вымораживании пищевых жидкостей/В.П. Мордынский// «Наукові праці ОНАХТ», Одеса – 2006. – Вип. 28, Т.2. – с.86-90.
5. Бурдо О.Г., Коваленко О.О. Кінетика формування блоку льоду при кріоконцентруванні харчових рідин //Наукові праці ОНАХТ. – 1996. – Вип.16. – с.248 – 252.
6. Бурдо А.К. Розробка технології стабілізованого бурякового кріоконцентрату. – Автореферат дис. канд. техн. наук. Одеса, 2000. – 15 с.
7. Реминная Л.П. Применение способа блочного вымораживания для концентрирования экстрактов растительного сырья//Зб. наук. пр. молодых ученых, асп. та студ. ОНАХТ. – ОНАХТ:Одеса, 2007. – С.103-105.
8. Радионова О.В. Исследование основных этапов технологии низкотемпературного фракционирования столовых сухих вин/О.В. Радионова, Л.А. Осипова, О.Г. Бурдо//Холодильная техника и технология, 2006. – № 2(100). – с. 67-72.
9. Бурдо О.Г. Обобщение результатов экспериментальных данных по процессам блочного вымораживания столовых сухих вин /О.Г. Бурдо, О.В. Радионова, Л.А. Осипова//Наукові праці ОНАХТ. - Одеса:2006. – Вип.28. – Т.2. – с. 58-66.
10. Евдокимова О.А. Применение метода вымораживания для водоподготовки в пищевых производствах/О.А. Евдокимова, Е.А. Коваленко//Зб. наук. пр. ОНАХТ. – 2006. – Вип. 28. – Т.1. – с.110-115.
11. Бурдо О.Г., Мілінчук С.І., Коваленко О.О. Моделювання процесів теплопередачі при блочному виморожуванні/Зб. наук. пр. ОНАХТ, вип. 20. – Одеса, 1999. – с. 214-218.
12. Бурдо О.Г. Техніка блочного виморожування/О.Г. Бурдо, С.І. Мілінчук, В.П. Мордынский, Д.А. Харенко – Одеса: «Полиграф», 2011. – 294 с.
13. Бурдо О.Г. Холодильные технологии в системе АПК – Одесса: «Полиграф», 2009. – 288 с.