

Рис. 6 – Зависимость распределения потоков энергии от загрузки в кассетах одной камеры

**Выводы.** Результаты стендовых испытаний свидетельствуют, что при относительной простоте конструкции разработанный микроволновой экстрактор легко управляем, позволяет надежно согласовывать необходимые технологические параметры (производительность и концентрация готового продукта) путем регулирования мощности излучения. Аппарат найдет применение в пищевой и фармацевтической промышленности, в технологиях экстрагирования водой из растительного сырья.

#### Литература

1. Терзиев В.Г., Бурдо О.Г. Моделивання комбінованих процесів при екстрагуванні в системі “спирт-деревина” // Удосконалення існуючих та розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості. – Наукові праці ОДАХТ. – Одеса: 1999. – Вип.20. – С. 203–209.
2. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе- вода».- Одесса, 2007.- 176с.
3. Burdo O.G., Terzsev S.G., Knuish A.I., Kovalenko E.A. The New Ways of organization Heat Transfer in Food Industry Apparatuses /Proc. 5–th Int. Heat Pipes Symp.– Melbourne (Australia).– 1997.– P.7–14.
4. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Борщ А.А. Электромагнитные технологии обезвоживания сырья /Problemele energeticii regionale, Chisinau, №1 (18), 2012.- pp.69- 79.
5. Бурдо О.Г., Пищевые наноэнерготехнологии – Херсон, 2013 – 294с.

УДК 66.021.001.57:56/59.004.18

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ

Орловская Ю.В., Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор,

Тришин Ф.А., канд. техн. наук, доцент

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

*Анализируются проблемы дефицита пресной воды. Рассматриваются различные технологии водоподготовки, проведен их сравнительный анализ. Показаны перспективы низкотемпературных технологий водоподготовки. Приведены энергетические и конструктивные преимущества вымораживающих установок блочного типа. Предлагаются новые принципы водоподготовки на основе ультразвуковых, вакуумных и микроволновых технологий.*

*The problems of freshwater scarcity are being analyzed. Various water treatment technologies are being considered, their comparative analysis was being conducted. The prospects for the low-temperature water treatment technologies were shown. The energy and design advantages of freezing installations block type were shown. The new principles of water treatment based on the ultrasound, vacuum and microwave technologies are being proposed.*

Ключевые слова: водоподготовка, энергоэффективность, блочное вымораживание, ультразвуковые, вакуумные, микроволновые технологии.

**Вступление.** В настоящее время один человек в мире потребляет в среднем в два раза больше воды, чем 100 лет назад. И эта тенденция продолжится в связи с изменением привычного потребления в странах с развивающейся экономикой. Дефицит воды в мире растет. Прогнозируется, что человечество рис-

кует уже к 2025 году столкнуться с серьезной нехваткой воды. Экономическое и социальное развитие приводят к истощению водных ресурсов нашей планеты. Дефицит энергетических ресурсов и увеличение их стоимости оказывают значительное влияние на производство воды, использование и очистку, включая перспективу опреснения и повторного использования. Необходимо согласовать водную и энергетическую стратегии в сотрудничестве с инициативами сообществ и соответствующими технологиями водоподготовки.

Украина относится к малообеспеченным странам по запасам воды, пригодной для использования. Уже сегодня в связи с отсутствием местных источников около 1200 населенных пунктов в южных областях Украины частично или полностью пользуются привозной питьевой водой. По разным оценкам, водные ресурсы Украины составляют от 50 до 52 км<sup>3</sup>/год, в том числе поверхностные - до 39 км<sup>3</sup>/год. Однако водопотребление постоянно возрастает и сегодня достигает 32-36 км<sup>3</sup>/год. По данным Минздрава Украины и Министерства окружающей природной среды и ядерной безопасности Украины, приведенным в «Национальном плане действий по гигиене окружающей среды»:

-ежегодно до 10 % исследованных проб воды из водопроводных сетей не соответствуют гигиеническим нормативам по органолептическим свойствам и составу;

-практически каждая восьмая проба питьевой воды из сельских водопроводов и каждая третья из источников децентрализованного не соответствует требованиям по бактериологическим показателям.

За последние 20 лет в мире суммарная производительность опреснительных установок выросла более, чем в 50 раз. Наблюдается тенденция создания как крупных опреснительных систем производительностью до 500000 м<sup>3</sup>/сутки, так и средних, и малых установок для разнообразных нужд.

Сложившаяся ситуация стимулирует бурное развитие актуального научно – технического направления – водоподготовки.

#### **Традиционные технологии очистки и обработки воды.**

Обычным способом получения обессоленной воды (дистиллята) является термический метод – *перегонка, дистилляция, выпарка* [1-4]. Извлечение растворенных веществ из воды может производиться мембранными методами. Уровень обессоливания определяется селективностью мембран. Методом нанофильтрации можно достигнуть частичного обессоливания, удалив соли жесткости вместе с двухзарядными анионами и частично – однозарядные катионы натрия и калия и анионы хлора.

Глубокое обессоливание обеспечивает низконапорный обратный осмос. Обратный осмос – характеризуется использованием мембран с минимальным размером пор, соизмеримым с размером одиночных ионов, поэтому извлекаются все растворенные ионы и органические молекулы. Рабочее давление от 0,7 до 7 МПа. Однако использование обратного осмоса имеет ряд ограничений. Вода, подаваемая на мембраны не должна содержать железа, грубых механических примесей, должна быть умягченной и т.п. Это необходимо для предотвращения отложения малорастворимых солей на поверхности мембран и их разрушения [2-3]. В таб. 1 приведено оценочное сравнение методов обессоливания по трем уровням: минимальный (Мин.), максимальный (Макс.) и средний (Ср.) [1].

**Таблица 1 – Сравнение технологий деминерализации воды**

Параметр	Ионный обмен	Обратный осмос	Электродиализ	Выпарка
Надежность	Макс.	Ср.	Мин.	Макс.
Степень обессоливания	Макс.	Ср.	Мин.	Ср.
Удаление органики	Мин.	Макс.	Мин.	Ср.
Удаление микрофлоры	Мин.	Макс.	Ср.	Макс.
Удаление взвесей	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
Удаление растворенных газов	Мин.	Мин.	Мин.	Макс.
Требования к подготовке	Мин.	Макс.	Макс.	Ср.
Расход реагентов	Макс.	Мин.	Мин.	Мин.
Расход питающей воды	Мин.	Макс.	Макс.	Мин.
Объем отходов	Мин.	Макс.	Ср.	Мин.
Возможность переработки отходов	Макс.	Мин.	Мин.	Макс.
Возможность сброса отходов	Мин.	Макс.	Ср.	Мин.

В настоящее время сохраняется ориентация на использование простых и технологически отработанных дистилляционных систем. Вместе с тем растет интерес к холодильным технологиям опреснения.

Развитие техники вымораживающих опреснительных установок. Среди холодильных методов опреснения воды перспективными считаются технологии блочного вымораживания. Впервые такие технологии были предложены в ОНАПТ на кафедре процессов и аппаратов еще в 1987г. Их эффективность подтверждена в работе одного из авторов [5]. Достоинством таких установок являются: простота конструкции, надежность, отсутствие системных потерь холода. Дальнейшие исследования способствовали формированию научных основ водоподготовки вымораживанием [6-7], что дало определенный импульс к развитию техники опреснения. Результаты совершенствования техники блочного вымораживания [8] определили энергетическую перспективность схем с рециклингом льда и целесообразность применения акустических полей в процессах формирования блоков льда. В настоящей работе базовыми являются именно такие схемы.

Кроме того, анализируются перспективные, с точки зрения авторов, принципиально новые технологии термического разделения растворов: в условиях вакуума и оригинальных систем подвода энергии. Применяются технологии адресной, селективной подачи энергии с помощью микроволновых систем и с помощью испарительно-конденсационных камер. Дистилляция при пониженных температурах должна иметь энергетические преимущества и благоприятно отразиться на качестве процесса разделения.

Принципы, которые реализуются в рассмотренных схемах, решают достаточно сложную проблему - предотвращение образования накипи на теплообменных поверхностях опреснителей.

Экспериментальные стенды. Физические принципы, которые лежат в основе деминерализации соленой воды вымораживанием, обуславливают ряд его неоспоримых преимуществ. Во-первых, количество энергии, которое необходимо для получения 1 кг пресной воды при вымораживании в 7 раз меньше, чем при термических методах (дистилляции, либо выпарки). Во-вторых, деминерализация вымораживанием нечувствительна к минеральному составу исходной воды. В-третьих, показатель качества пресной воды по сухому остатку (меньше 1кг солей на 1м<sup>3</sup> воды) может быть достигнут во всех случаях. Холодильные способы обладают меньшей коррозией, меньшими капитальными затратами, более высокой термодинамической эффективностью. У них отсутствует накипеобразование. По сравнению с мембранными опреснителями, холодильные характеризуются большей степенью извлечения пресной воды, они нечувствительны к составу и концентрации примесей, не требуют тщательной предварительной очистки воды.

При обосновании выбора метода опреснения воды в конечном итоге решающее значение имеют экономические показатели. На топливную составляющую падает (45...68) % стоимости опреснения воды дистилляцией и (30...43) % - вымораживанием. Причем, с увеличением единичной мощности опреснителя составляющие затрат на обслуживание и амортизацию быстро падают, а доля энергетических затрат возрастает, поскольку удельный расход энергии с увеличением мощности установки снижается очень медленно.

Процесс опреснения соленой воды вымораживанием основан на селективных свойствах кристаллической решетки льда, которая не допускает замены атомов Н<sup>+</sup> или О- атомами других солей. В процессе медленного охлаждения раствора подвижность молекул воды и солей уменьшается, а упорядоченность увеличивается, приближаясь к строению элементарной кристаллической решетки льда. Благодаря разным значениям свободных энергий у молекул воды в решетке льда и молекул солей в их решетках, происходит отделение от льда ионов солей, которые отесняются от поверхности кристалла льда. Физике процесса опреснения вымораживанием удачно соответствуют установки блочного типа (рис.1).

Схема работы выглядит следующим образом. Из раствора на кристаллизаторах формируется блок кристаллов льда, после чего оставшийся раствор удаляется из концентратора. Образовавшийся блок льда отделяется от кристаллизатора и осуществляется гравитационное сепарирование. Непродолжительная оттайка сопровождается плавлением тонкого поверхностного слоя блока, образовавшаяся при этом вода смывает раствор соли из капиллярных объемов и с поверхности блока. Далее производится расплав льда и получение очищенной воды. Теплота плавления льда используется в холодильном цикле для снижения температуры холодильного агента перед дросселированием (рис.1). Таким образом, можно обеспечить непрерывный процесс опреснения, процесс легко механизировать, им просто управлять. В качестве охлаждающей среды можно использовать холодильный агент, хладоноситель, в частности, холодный воздух из окружающей среды.

Исходные входные потоки (рис.1) соответствуют параметрам водопроводной воды. На выходе задается допустимая концентрация солей в дистилляте.

Технической идеей схемы есть использование рециклинга льда и частотного преобразователя для регулирования холодильной производительности машины.

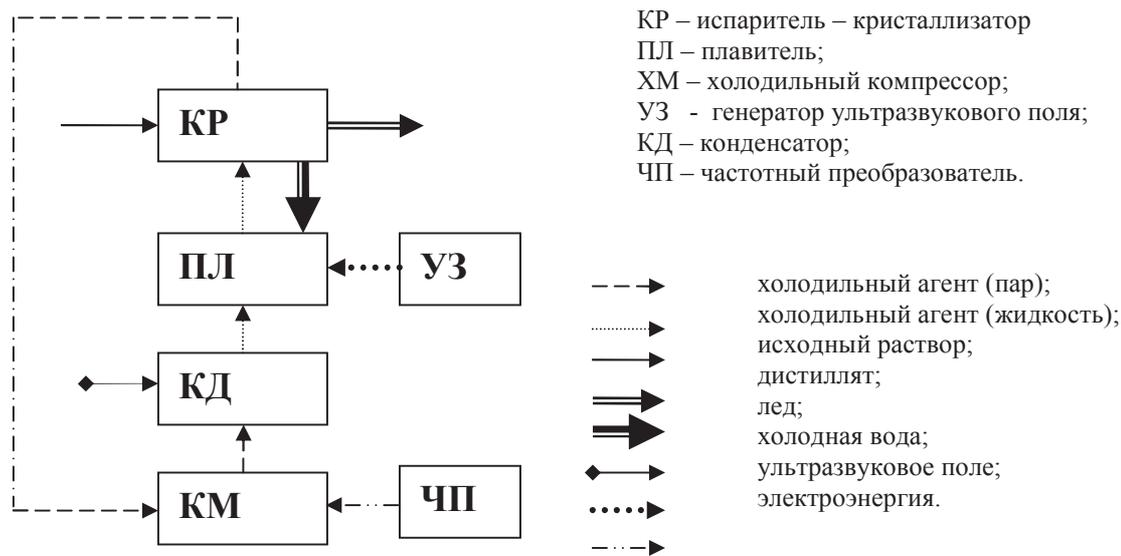
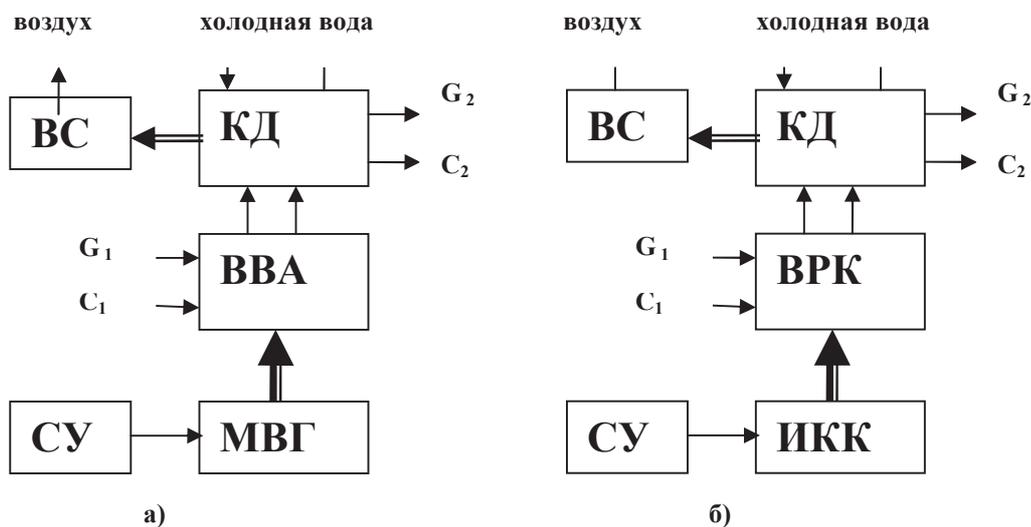


Рис. 1 – Аппаратурно - процессовая схема установки блочного вымораживания

Вопрос в том, что система должна эффективно работать как в первом цикле (при запуске установки при отсутствии льда в плавителе), так и в последующих циклах, когда происходит плавление льда. Возврат энергии льда в холодильный цикл может существенно снизить затраты энергии. Но для этого необходимо изменить характеристики компрессора, что предлагается осуществлять с помощью частотного преобразователя. Уменьшение холодильной мощности с помощью регулирующего вентиля является простым и удобным способом, но с энергетической точки зрения этот принцип не эффективен. Использование в схеме частотного преобразователя является более дорогим решением, но позволяет плавно перестраивать холодильную машину на необходимую мощность при максимальной энергетической эффективности. Особенно важно иметь такую возможность в рассматриваемой схеме с рециклингом льда, где следует реагировать на тепловые режимы плавителя.

Исследования проведены на установках термического обессоливания в условиях вакуума и при оригинальных способах подвода энергии (рис.2).



а) – микроволновой вакуум-выпарной аппарат, б) – вакуум-ректификационный опреснитель, ВС – вакуумная система, КД – конденсатор – дистиллятор, СУ – система управления подводом энергии, ВВА – вакуум-выпарной аппарат, МВГ – генератор микроволновой энергии, ВРК – вакуум-ректификационная колонна с дефлегматором, ИКК – испарительно-конденсационная камера

Рис. 2 – Новые способы термического опреснения воды

Приведенные на (рис.2) новые технологии объединяет общая идея – реализовать процесс разделения раствора при низких температурах фазового перехода, в условиях вакуума. Отличаются схемы принципами подвода энергии для перевода воды в паровую фазу. Представляется, что в условиях вакуума и адресной доставки электромагнитной энергии к молекулам воды можно ожидать высокой степени деминерализации, минимального времени процесса обессоливания.

Установка по (рис.2,а) имела объем загрузки 2кг, мощность магнетрона 800Вт. Установка укомплектована вакуум-насосом типа ТМ«KNF»FT18 и холодильной системой, стабилизирующей температуру холодной воды на уровне 4...6 °С.

Вакуум-ректификационная установка (рис.2,б) рассчитана на обработку 10кг раствора, укомплектована электрическим нагревателем мощностью 2,5 кВт, размещенном в герметичной испарительно-конденсационной камере, вакуумным насосом типа ТМ«KNF»FT18 и холодильной системой для термостабилизации температуры охлаждающей конденсатор воды.

**Обсуждение результатов исследований.** Задачей исследований было предварительно оценить возможности различных принципов водоподготовки, разработанных в ОНАПТ. Опыты проводились на установках, которые приведены на рис.1 и 2. Сравнялись полученные образцы также с аптечной водой для инъекций и дистиллятом из промышленной установки.

Основным параметром сравнения являлось содержание соли в дистилляте (табл.2), значение которого измерялось прибором DIST. В области низких соледержаний использовался метод высушивания жидкости до постоянного веса, который контролировался прецизионными весами типа AS220/С.

**Таблица 2 – Концентрация солей в дистилляте (С, мг/кг)**

АВИ	ПД	ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ ОНАПТ						
		низкотемпературные					вакуумные	
		БВУ	БВУ31	БВУ32	БВУОР	БВУКР	МВВА	ВРК
11-50	50	39	30	20	<10	< 4	22	17

В таблице 2 приняты обозначения: АВИ – аптечная вода для инъекций, ПД – паровой промышленный дистиллятор, БВУ31 – блочная вымораживающая установка с ультразвуковым интенсификатором процесса кристаллизации, БВУ32 - блочная вымораживающая установка с ультразвуковыми интенсификаторами процессов кристаллизации и сепарирования, БВУОР -осциллирующие режимы блочного вымораживания, БВУКР - каскадные режимы блочного вымораживания, МВВА – микроволновой вакуум-выпарной аппарат, ВРК – вакуум – ректификационная колонна.

Самостоятельными вопросами исследований являлись оценки ряда параметров технологий, которые характеризуют технические и экономические показатели. На первом этапе анализа проводились сравнительные оценки предложенных технологий по трем уровням: минимальный, средний и максимальный (табл.3).

**Таблица 3 – Сравнение технологий водоподготовки ОНАПТ**

Параметр	БВУ	БВУ3	БВУКР	МВВА	ВРК
Надежность	Макс.	Ср.	Макс.	Мин.	Мин.
Степень обессоливания	Ср.	Ср.	Макс.	Макс.	Макс.
Удаление микрофлоры	Мин.	Мин.	Мин.	Макс.	Макс.
Удаление взвесей	Ср.	Макс.	Макс.	Макс.	Макс.
Удаление растворенных газов	Мин.	Ср.	Мин.	Макс.	Макс.
Продолжительность процесса	Ср.	Ср.	Макс.	Мин.	Ср.
Удельная энергоёмкость	Мин.	Мин.	Ср.	Ср.	Макс.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности предложенных решений. Дальнейшие исследования следует развивать в направлениях определения зависимостей технологических, энергетических, экономических параметров от режимных и конструктивных характеристик оборудования.

**Выводы.** Роль опреснения на современном этапе не ограничивается только проблемой ликвидации дефицита воды в ряде маловодных и безводных регионов мира. Принцип опреснения все шире сопровождается концентрированием растворов с целью получения из них товарных минеральных продуктов. В связи с этим на мировом рынке возрастает спрос на опреснительные установки, обладающие высокими экономическими показателями. Представляется, что следует ожидать бурного развития принципиально нового для настоящего времени научно – технического направления – технология воды направленного лечебно – профилактического назначения. Предлагаемые аппараты блочного вымораживания являются удобными конструкциями для производства талой воды, насыщенной необходимыми целебными компонентами, облегченной воды.

#### Литература

1. Б.Е.Рябчиков. Современные методы подготовки воды. Минск, 2005.
2. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М. Химия, 1978.
3. Хванг С.-Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения/Пер. с англ.: М. Химия, 1981.
4. В.Б. Чернозубов, В.Л. Подберезный, Н.К. Токманцев "Техника термического опреснения воды в системах водоподготовки и ликвидации солесодержащих промышленных стоков". //Экология и технология. Москва, 1994 г.
5. Бурдо О.Г., Офатенко О.О. Анализ процессов деминерализации воды //Зб. наук. праць ОНАХТ Одеса, 2009. – Вип.35. – С. 287- 292.
6. Бурдо О.Г. Совершенствование процессов и аппаратов пищевой и холодильной технологий на основе автономных теплопередающих устройств. Дис. д.т.н., Одесса, 1988 – 526 с.
7. Бурдо О.Г. Холодильные технологии в системе АПК – Одесса: Полиграф, 2009 – 288с.
8. Бурдо О.Г., Милинчук С.И., Мордынский В.П., Харенко Д.А. Техника блочного вымораживания – Одесса: Полиграф, 2011 – 294с.

УДК 644.8:658.562.5

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ИК-СУШИЛКЕ

**Киптелея Л.В., д-р техн. наук, профессор,**

**Саенко С.Ю., канд. техн. наук, доц.**

**Загорулько А.Н. аспирант**

**Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков**

*Теоретическими и экспериментальными исследованиями доказано, что использование ИК-излучения в технологии сушки плодоягодного сырья, позволяет максимально сохранить БАВ в продукте, а основной целью при проектировании сушилок с использованием инфракрасного излучения является достижение равномерного распределения теплового потока от источника ИК излучателя на приемную поверхность (лоток с продуктом). Для исследования равномерности распределения теплового потока применяли программу TracePro. В связи с этим нами было спроектировано экспериментальные сушилки для исследования данных цели, в результате с дальнейшим выходом на промышленный образец вертикальной ИК-сушилки.*

*Theoretical and experimental studies have shown that the use of IR-radiation in fruit and berry raw materials drying technology allows to preserve the BAS (biologically active substances) in the product, and the main goal in the design of dryers with infrared radiation is to achieve a uniform distribution of heat flow from the source of the radiator on the receiving surface (product tray). To investigate uniformity of the distribution of the heat flux applied program. In this connection, we have designed experimental dryers for studies of the target data, with subsequent access to the industrial prototype of the vertical IR-dryers.*

Ключевые слова: моделирование, распределение, проектирование, ИК-сушка.

В связи с ухудшением экологического положения в Украине и в других Европейских странах главной целью пищевой промышленности, является совершенствование и разработка технологических процессов позволяющих максимально сохранить биологически активных веществ (БАВ) в растительном сырье. Одним из путей совершенствования процессов переработки растительного сырья, является использование процесса сушки [1].