

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

VI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**



**ОДЕСА
2017**

Публікуються доповіді, представлені на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології» (4 – 8 вересня 2017 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

доктор техн. наук, професор

О.Г. Бурдо

Ю.О. Левтринська

Е.Ю. Ананійчук

О.В. Катасонов

Одеська національна академія харчових технологій, 2017 р.

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров
Богдан Вікторович
Бурдо
Олег Григорович
Атаманюк
Володимир Михайлович
Васильєв
Леонард Леонідович
Гавва
Олександр Миколайович
Гумницький
Ярослав Михайлович
Долинський
Анатолій Андрійович
Зав'ялов
Владимир Леонідович
Керш
Владимир Яковлевич
Колтун
Павло Семенович
Корнієнко
Ярослав Микитович
Малежик
Іван Федорович
Михайлов
Валерій Михайлович
Паламарчук
Ігор Павлович
Снежкін
Юрій Федорович
Сорока
Петро Гнатович
Тасімов
Юрій Миколайович
Товажнянський
Леонід Леонідович
Ткаченко
Станіслав Йосифович
Ульєв
Леонід Михайлович
Черевко
Олександр Іванович
Шит
Михайл Львович

- голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
- вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
- Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
- Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
- Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
- Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАНУ
- Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Одеська державна академія будівництва та архітектури, д.т.н., професор
- Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.
- Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
- Вінницький національний аграрний університет, д.т.н., професор
- Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., член-кор. НАНУ
- Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
- Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
- Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор
- Національний технічний університет Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
- Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.

УДК: 628.161.065.5.084:544.4

КИНЕТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Тришин Ф. А. канд. техн. наук, доцент,

Терзиев С. Г. канд. техн. наук, доцент,

Орловская Ю. В. аспирант

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

THE KINETICS OF ICE FORMATION IN THE ULTRASONIC FIELD

Trishin F. A., Terziev S. G., Orlovskaya J. V.

Odessa national academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

Аннотация. *Анализируются проблемы дефицита питьевой воды. Рассматриваются различные методы улучшения качества воды. Показаны перспективы низкотемпературных технологий водоподготовки. Приведены энергетические и конструктивные преимущества вымораживающих установок блочного типа. Подтверждено превосходство блочного вымораживания с применением ультразвука над другими методами очистки воды.*

Abstract. The problems of shortage of drinking water are being analyzed. Various methods for improving water quality are being considered. The prospects of the low-temperature water treatment technologies were shown. The energy and design advantages of freezing installations block type were shown. The superiority of the block freezing using ultrasound over other water treatment methods were confirmed.

Ключевые слова: водоподготовка, блочное вымораживание, акустическая энергия, интенсификация.

Keywords: water treatment technologies, block freezing, acoustic energy, intensification.

Введение. Высококачественная питьевая вода в количестве, удовлетворяющем основные потребности человека, является одним из условий укрепления здоровья людей и устойчивого развития государства в целом. Несоблюдение стандарта качества питьевой воды, приведёт к неблагоприятным как краткосрочным, так и долгосрочным последствиям для здоровья и благополучия населения. Уже сегодня наблюдается сокращение запасов питьевой воды в результате существенного увеличения количества населения за счет роста рождаемости в развивающихся странах и увеличения продолжительности жизни в развитых.

В целом же, за последние 200 лет количество людей на планете возросло более чем в 7 раз – с 1 млрд. в 1820 году до 7,2 млрд. в 2015 году. Естественно, пропорционально увеличились расходы воды, которая необходима не только для питьевых нужд, а и для производства энергии, пищи, одежды и т. д. По данным ООН, к 2030 году численность людей увеличится до 8 млрд., а потребность населения в воде увеличится еще на 30%, в энергии – на 45% и на 50% в еде. При этом запасы воды на планете не изменились и не изменятся, сокращается только доля доступной для использования и пригодной для питья воды.

Сегодня практически 2 млрд. людей в более чем 80 странах имеют ограниченное обеспечение питьевой водой. Ожидается, что к 2025 году эта цифра возрастет до 3 млрд. Украина, несмотря на большое количество рек, относится к одному из самых маловодных регионов Европы. По данным Украинского государственного научно-исследовательского института “УкрВОДГЕО”, 69% всей питьевой воды, которая поставляется в дома украинцев, не соответствует установленным санитарным нормам. В Украине наблюдается неравномерное распределение питьевой воды по регионам, а так-же в городской и сельской местности. В крупных городах (Одесса, Донецк, Харьков) на одного человека приходится в среднем 400 литров в сутки, при среднем значении по Украине - 250 литров. В сельской местности – 35-40 литров. Не все области Украины имеют одинаковое качество питьевой воды. Качество воды большинства областей по химическому и бактериальному составу классифицируется как загрязненная и грязная (IV-V класс качества).

Лишь треть от общего объема воды, используемого отечественными коммунальными хозяйствами, украинцы могут потреблять без дополнительной очистки. Так что эта вода, по сути, условно пригодна для питья. Таким образом, качество питьевой воды – критический фактор жизнедеятельности человека.

Согласно данным ВОЗ, ежегодно около 25% населения Земли подвергается риску заболеваний из-за употребления некачественной питьевой воды. Некачественная вода является одной из причин того, что в последние годы в Украине наблюдается распространение таких заболеваний, как язвенная болезнь желудка, желчнокаменная болезнь, болезни органов дыхания, стенокардия, инфаркт миокарда, холецистит.

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

Методы улучшения качества воды. Из специальных способов водоочистки наиболее часто применяют обессоливание воды (снижение общей минерализации воды). К настоящему времени в мировой практике определились следующие основные методы обессоливания (опреснения) воды: дистилляция, ионный обмен, электродиализ (электролиз), вымораживание, гелиоопреснение и обратный осмос (гиперфилтрация). Многообразие методов объясняется тем, что ни один из них не может считаться универсальным, приемлемым для любых конкретных местных условий.

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 1м³ 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 H⁺ или O⁻ 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 оттесняются от поверхности кристалла льда.

Основы применения ультразвука. Акустические волны, чьи частоты выше, чем верхний лимит, слышимый человеком, обычно около 16-20 КГц, называются ультразвуком. Эти волны часто классифицируются в зависимости от их частоты или мощности. Между 20 и 100 кГц, волны определяются как "низкой частоты ультразвук" и "мощный ультразвук". В самом деле, он обычно передается на высоком уровне мощности (несколько десятков ватт) и, следовательно, ультразвук способен модифицировать среду, где он распространяется. Мощный ультразвук может нарушить массу жидкости для создания кавитации или акустического течения - два явления с мощными макроскопическими эффектами для улучшения теплообмена. Поэтому мощный ультразвук находит применение в различных процессах, таких как очистка, сварка пластмасс, sono-химия и так далее. Кроме того, обычно используется для интенсификации тепло- и массообмена.

Акустическая кавитация является основным явлением, которое может возникнуть в результате распространения ультразвуковых волн в жидкости.

В основе многих применений ультразвука лежит акустическая кавитация, которая обеспечивает образование, рост и распад микропузырьков в пределах водного раствора, полученных от давления колебаний, которые происходят в прикладном звуковом поле.

Явление разрушающегося пузыря представляет собой микроскопический взрыв, что порождает высокую локальную турбулентность и выделение тепловой энергии. Следствием этого является значительное повышение температуры и давления до нескольких тысяч градусов Кельвина и несколько сотен бар. Эти эффекты могут быть использованы в огромном множестве полезных применений. Так как температуры вблизи разрушаемого пузыря повышены, "горячие точки" могут быть использованы для повышения скорости химической реакции некоторых процессов, в связи с увеличением теплоты и образованием свободных радикалов. Сильные возмущения давления, полученного в результате от выбросов ударной волны, приводят к механическим эффектам, таким как смешивание и сдвиг, которые в химической реакции могут служить для увеличения столкновений между реагентами, ускорять растворение или способствовать обновлению на поверхности твердого реагента. Примеры значимых применений акустической кавитации, разработанные для коммерческого использования, включают очистку сточных вод, продуктов питания, обработку напитков и образование белковых микропузырьков, которые могут быть использованы для транспортировки лекарственных средств.

В зависимости от частоты ультразвука, его влияние на жидкость может привести к следующим эффектам (рис.2):

1. Прогрессивный нагрев с помощью рассеивания акустической энергии;
2. Формирование, рост и разрушение паровых или газовых пузырьков;
3. Глобальный поток жидкости и возможное формирование конвективных ячеек;
4. Акустический фонтан (только при ультразвуке высокой частоты).

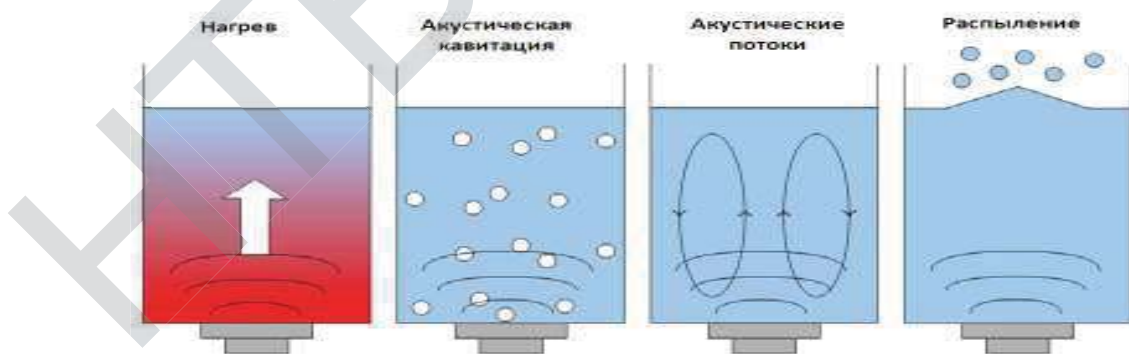


Рис.1. - Четыре эффекта, полученные в результате распространения ультразвука в жидкости.

Физике процесса опреснения вымораживанием удачно соответствуют установки блочного типа (рис.2).

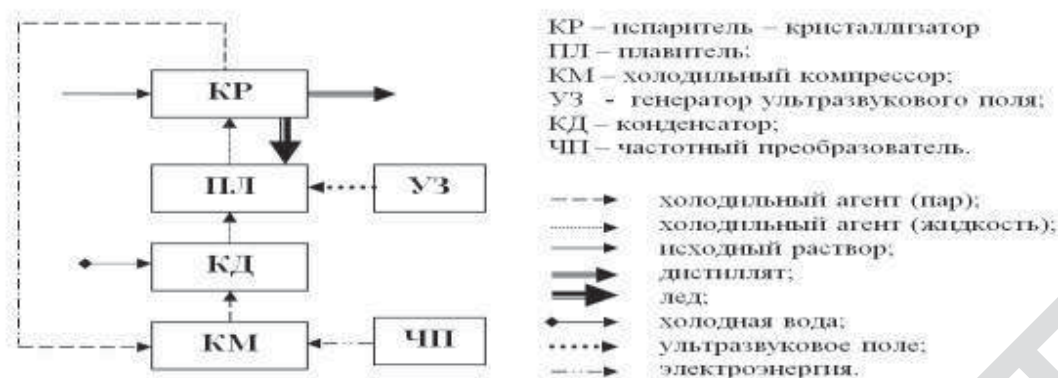


Рис.2. - Аппаратурно - процессовая схема установки блочного вымораживания.

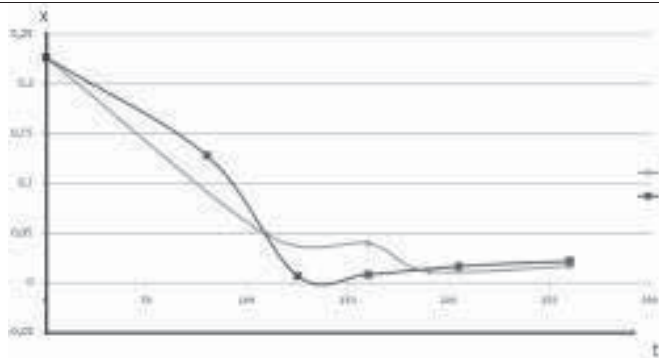
Схема работы выглядит следующим образом. Из раствора на кристаллизаторах формируется блок кристаллов льда, после чего оставшийся раствор удаляется из концентратора. Образовавшийся блок льда отделяется от кристаллизатора и осуществляется гравитационное сепарирование. Непродолжительная оттайка сопровождается 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. 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.2) 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. 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.

Предполагается организация локального воздействия ультразвуковым генератором на поверхность фазового контакта «лед-вода», что позволит осуществлять формирование блока льда с плотной упаковкой кристаллов, а на стадии сепарирования - более эффективную эвакуацию растворов из пористого объема блока льда. То есть мы намораживаем блок льда в блочной вымораживающей установке. При замораживании на поверхности блока образуется так называемый «пограничный слой», который для интенсификации процесса нам необходимо разрушить. Блок льда – это своеобразная система с порами (капиллярами), а при воздействии ультразвука молекулы незамерзшего раствора с находящимися в нем солями расшатываются и облегчается их выход из пористой структуры блока. Что дает возможность значительно сократить время сепарирования.

Результаты исследований. С помощью блочной вымораживающей установки с ультразвуковым генератором процессов интенсификации и сепарирования был получен ряд опытов, результаты которых представлены на рисунках:



1 – без ультразвука,
2 – с применением ультразвука.

Рис.3. - Зависимость количества соли в объеме раствора от времени.

Для достижения наибольшего эффекта был применен генератор с переменной частотой и разной мощностью (рис.4, 5). Так же проводилась тарировка прибора с применением разной мощности при частоте 6 кГц, 10 и 20 кГц. Был установлен оптимальный прирост температуры при влиянии ультразвука частотой 20 кГц. При более высокой частоте температура воды повышается до более высокой, что не является оптимальным для нашей задачи.

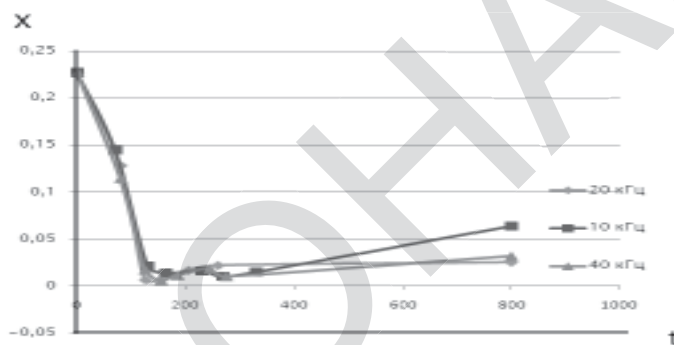


Рис.4. - Зависимость количества соли в объеме раствора от времени с применением ультразвука разной частоты.

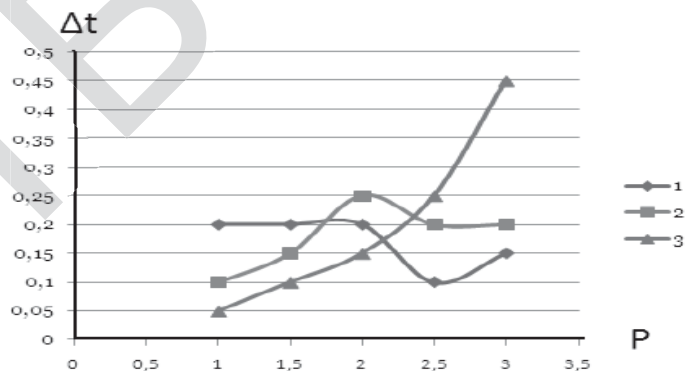


Рис.5. - Зависимость прироста температуры от мощности при частоте ультразвука: 1 - 6 кГц, 2 - 10 кГц, 3 - 20 кГц.

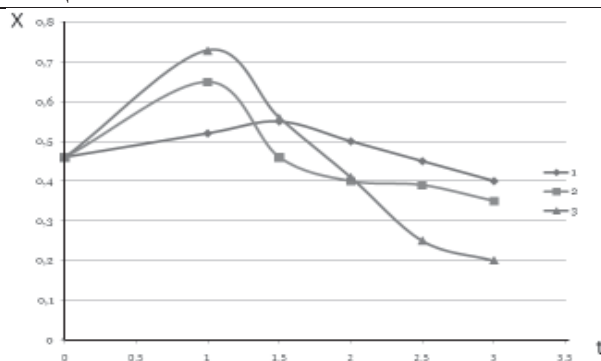
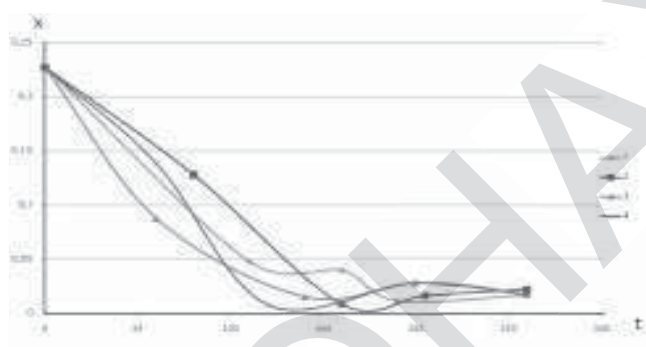


Рис.6. - Зависимость количества соли в объеме раствора от времени при намораживании: 1 – 30 мин., 2 – 1 час, 3 – 2 часа.

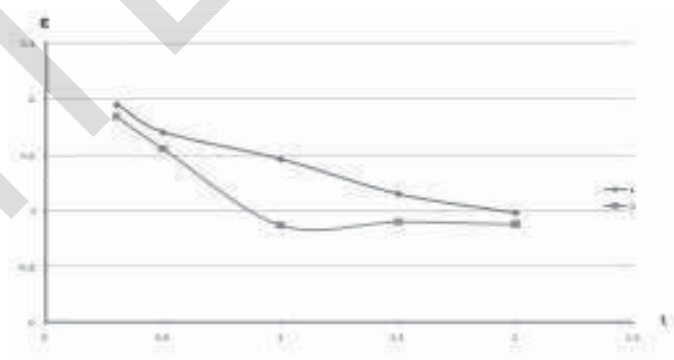
Опытным путем было установлено, что наилучший результат дало намораживание с применением генератора мощностью 20 кГц длительностью 2 часа. Далее эксперименты проводились над месторасположением самого интенсификатора. Результаты приведены на Рис. 7.



1 – сбоку; 2 – вплотную; 3 – центр на расстоянии 1 см; 4 - центр на расстоянии 1 см с кольцом-ограничителем.

Рис.7. - Зависимость количества соли в объеме раствора от времени с применением ультразвука частотой 20 кГц при разном расположении относительно блока льда.

Основываясь на данных проведенных экспериментов, путем решения уравнений материального баланса была выведена формула нахождения пористости блока льда: $\epsilon = V_{л}/V_{б}$.



1 – без ультразвука, 2 – с применением ультразвука.

Рис.8. - Зависимость пористости льда от времени вымораживания.

Выводы. Мировой практике известны достаточное количество методов опреснения воды, но вымораживание, бесспорно, имеет ряд своих преимуществ.

Результаты исследований показали, что наибольший эффект на процессы интенсификации и сепарирования оказал генератор с частотой ультразвука 20 кГц, расположенный в центре на расстоянии 1 см от блока льда с кольцом-ограничителем.

Проведенные исследования показали, что пористость в значительной степени влияет на процесс кристаллизации. Любые методы интенсификации приведут к росту скорости намораживания, но ценой получения пористой структуры. Поэтому задачей оптимизации можно считать поиск режимов и способов, при которых достигается необходимая производительность льдообразования при приемлемых параметрах плотности упаковки кристаллов льда.

Литература.

1. Сегодня и завтра водоподготовки/ Татьяна Митченко// Вода и водоочистные технологии – 2015. - №4(78). – с. 4. – Режим доступа до журн.: <http://waternet.ua/magazine>
2. Mathieu Legay, Nicolas Gondrexon, Stephane Le Person, Primius Boldo, Andre Bontemps “Enhancement of Heat Transfer by Ultrasound: Review and Recent Advances” // Hindawi Publishing Corporation International Journal of Chemical Engineering Volume 2011, Article ID 670108, 17с. , DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2011/670108>.
3. Б.Е.Рябчиков. Современные методы подготовки воды. Минск, 2005.
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. Совершенствование процессов и аппаратов пищевой и холодильной технологий на основе автономных теплопередающих устройств. Дис. д.т.н., Одесса, 1988 – 526 с.
6. Бурдо О.Г., Офатенко О.О. Анализ процессов деминерализации воды //Зб. наук. праць ОНАХТ Одеса, 2009. – Вип.35. – С. 287- 292.
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.

Безбах И. В., Кепин Н. И.	
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЭКСТРАКЦИИ, ИСПОЛЗУЮЩИХСЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ	
Недбайло А. Є.	285
КИНЕТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	
Тришин Ф. А., Терзиев С. Г., Орловская Ю. В.	289

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОНВЕКТИВНО – ТЕРМОРАДІАЦІЙНОГО СУШІННЯ	
Малежик І. Ф., Бурлака Т. В., Дубковецький І. В., Деканський В. Є.	296
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОМІРЧАСТОЇ МОДЕЛІ ІЗ ЗВОРОТНИМИ ПОТОКАМИ В ВІБРОЕКСТРАКТОРАХ	
Мистюра Т. Г., Зав'ялов В. Л., Лобок О. П., Попова Н. В., Запорожець Ю. В.	302
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІННОВАЦІЙНИХ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ПОЛІМЕРІВ	
Бухкало С. І.	309
ДОСВІД РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНО - ІНТЕГРОВАНОГО СТЕНДУ ДЛЯ СУПРОВОДУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОДНЕННЯ В СЕРЕДОВИЩІ МІКРОХВИЛЬОВОГО-ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ	
Яровий І. І.	313
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВОГО КЛАСТЕРА В ПРОЦЕССАХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ	
Иваницкий Г. К.	319
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭКСТРАКТА СТЕВИИ В МИКРОВОЛНОВОМ ВАУУМ-ВЫПАРНОМ АППАРАТЕ	
Бурдо О. Г., Ружицкая Н. В., Резниченко Т. А., Резниченко Д. Н.	322
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ РОЗПЛАВУ КОМПОЗИЦІЇ ПОЛІЕТИЛЕН – КАУЧУК	
Гоцький Я. Г., Двойнос Я. Г.	327
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	
Бурдо О. Г., Давар Ростами Пур	335
ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ ТА ПІКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОТИ	
Остапенко О. П.	331
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ТОРФА И БИОМАССЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВ	
Снежкин Ю. Ф., Коринчук Д. Н.	337
ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ВЫМОРАЖИВАНИЯ БЛОКА ЛЬДА	
Тришин Ф. А., Трач А. Р.	343
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	
Бурдо О. Г., Давар Ростами Пур, Масельская Я. А.	347
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИКРОВОЛНОВОЙ ЛЕНТОЧНОЙ СУШИЛКИ	
Бурдо О. Г., Маренченко Е. И., Пилипенко Е. А., Балагура В. В.	355
АНАЛІЗ ОПОРІВ ПЕРЕНЕСЕННЯ РЕЧОВИНИ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ ПРИ НАНОФІЛЬРАЦІЇ ТА ЗВОРОТНОМУ ОСМОСІ	
Гулієнко С. В.	364
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОТИТЕЧІЙНОГО ЕКСТРАКТОРА З ПІДВОДОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ	
Левтринська Ю. О., Зиков А. В., Терзів С. Г.	367
К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ КАПЕЛЬ ХЛАДАГЕНТА В ФИЛЬТРЕ ЭЖЕКТОРЕ	
Когут В. Е., Бушманов В., Хмельнюк М. Г.	374