

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Химиялық және биологиялық технологиялар институты

Химиялық процесстер және өнеркәсіптік экология кафедрасы

Сатан А.Б.

Сүт өнімдерін фракциялық кристалдандыру арқылы концентрациялау
технологиясын жасау

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7M07110 – Химиялық процесстер және химиялық материалдар өндірісі

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Химиялық процесстер және өнеркәсіптік экология кафедрасы

УДК 621.039

Қолжазба құқығында

Сатан Ақерке Болатбекқызы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін дайындалған

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертация атауы Сүт өнімдерін фракциялық кристалдандыру арқылы
концентрациялау технологиясын жасау

Дайындау бағыты 7М07110 – Химиялық процесстер және химиялық
материалдар өндірісі

Ғылыми жетекші,
тех.ғыл.докторы,
асс.профессор
(ғылыми дәрежесі, атауы)
Мустахимов Б.Қ.
Қолы Аты жөні

Пікір білдіруші,
Профессор, б.ғ.к
(ғылыми дәрежесі, атауы)
Искакова К.М.
Қолы Аты жөні

Норма бақылаушы
тех.ғыл.докторы,
асс.профессор
(ғылыми дәрежесі, атауы)
Мустахимов Б.Қ.
Қолы Аты жөні

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
Кафедра меңгерушісі _____
Химиялық процесстер және
өнеркәсіптік экология
(кафедра атауы)
К.т.н., доцент,
ассоц.профессор
(ғылыми дәрежесі, атауы)
Кубекова Ш.Н.
Қолы Аты жөні
“21” 06 2021 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Химиялық және биологиялық технологиялар институты

Химиялық процесстер және өнеркәсіптік экология кафедрасы

7М07110 – Химиялық процесстер және химиялық материалдар

өндірісі

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

К.т.н., доцент,

ассоц.профессор

Кубекова Ш. Н.

«21» 06 2021 ж.

**Магистрлік диссертация орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Сатан Ақерке Болатбекқызы

Тақырыбы: Сүт өнімдерін фракциялық кристалдандыру арқылы
концентрациялау технологиясын жасау

Университет Ректорының 2021 жылғы «14» караша №353-м бұйрығымен
бекітілген Аяқталған жұмыстың тапсыру мерзімі 2021 жылғы «08» маусым

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: ғылыми – техникалық
әдебиеттерге шолу, зерттеу тәжірибелерінің қорытындылары

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі

- а) сулы ерітінділердің концентраттарын алу;
- б) тәжірибелік бөлімде суспензияның бөліну (айыру) сатысының фракциялау тиімділігіне әсерін зерттеу;
- в) фракциялық кристалдау әдістерін пайдалана отырып, су ерітінділерін төменгі температуралы шоғырландыру үдерістерін зерттеу;
- г) «су – еріген заттар» қоспасын әртүрлі әдістермен шоғырландыру әдісін жасау.

Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар да көрсетілуі тиіс)

Сызба материалдар 33 слайдтан кем емес жұмыстың нәтижелері берілген
презентацияда көрсетілген

Ұсынылған негізгі әдебиет 50 әдебиеттен кем емес

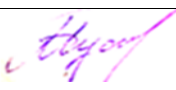
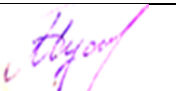
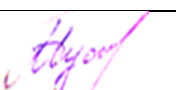
1. Маллин Д. У. Кристаллизация. — М.: Металлургия, 1975. — 332 с.

2. Бемфорт А. В. Промышленная кристаллизация. — М.: Химия, 1979, - 250 с.

Магистрлік диссертация дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, карастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Магистрлік диссертация жұмысының тақырыбы бойынша ғылыми – техникалық әдебиеттерге шолу	01.09.2019-30.03.2020	Орындалды
Тәжірибелік бөлім. Диссертация тақырыбына қажетті зертханалық зерттеулер жүргізу	01.04.2020-28.02.2021	Орындалды
Магистрлік диссертацияны баспаға дайындау	01.03.2021-30.04.2021	Орындалды

Аяқталған магистрлік диссертация бөлімдеріне кеңесшілер мен норма бақылаушының
қойған қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Әдебиеттік шолу	Мустахимов Б.Қ. тех.ғыл.докторы, асс.профессор	11.03.2021	
Тәжірибелік бөлім	Мустахимов Б.Қ. тех.ғыл.докторы, асс.профессор	22.05.2021	
Норма бақылау	Мустахимов Б.Қ. тех.ғыл.докторы, асс.профессор	15.06.2021	

Ғылыми жетекші



Б.Қ. Мустахимов

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



А.Б. Сатан

Күні

«08» маусым 2021ж.

АНДАТПА

Химияда фракциялық кристалдану - бұл заттардың ерігіштігіндегі айырмашылықтарға негізделген тазарту әдісі. Ол кристалдану айырмашылығына байланысты жұмыс істейді (кристалдардың пайда болуы). Егер ерітіндідегі екі немесе одан да көп заттардың қоспалары кристалдануға мүмкіндік берсе, мысалы, ерітіндінің температурасын төмендету немесе жоғарылату арқылы, тұнба құрамында ең аз еритін зат болады. Тұнбадағы компоненттердің үлесі олардың ерігіштік өнімдеріне байланысты болады. Егер ерігіштік өнімдері өте ұқсас болса, толық бөліну каскадты процесті қажет етеді. Бұл әдіс химиялық инженерияда өте таза заттарды алу үшін немесе қалдық ерітінділерден өнімді алу үшін жиі қолданылады. Қатты және қатты қоспаларды бөлу үшін фракциялық кристалдануды қолдануға болады.

Суды мұздату кезіндегі кристалдану процесі, әдеттегі фракциялық кристалдану сияқты, екі кезеңнен тұрады: түзілу (кристалдану орталықтары) және мұз кристалдарының өсуі. Бұл жағдайда кристалдардың пайда болу және өсу қарқыны көптеген факторларға байланысты (ерітіндінің гипотермиясы, оның концентрациясы, ерітіндінің физика-химиялық қасиеттері, ерітіндінің араластыру қарқындылығы, бастапқы ерітіндіде еритін және ерімейтін қоспалардың болуы және т.б.).

Төмен температуралы концентрация процестері әдетте келесі кезеңдерден тұрады: кристалдану, алынған кристалды суспензияны бөлу, кристалды фазаны (мұзды) жуу және оны балқыту.

Термодинамикалық тұрғыдан алғанда, төмен температуралы концентрация процестері әдеттегі фракциялық кристалданудан еш айырмашылығы жоқ. Оның ерекшелігі - бұл жағдайда қоспаны салқындату кезінде ерімейтін заттың кристалдануы, ал еріткіштің өзі (су) пайда болады.

Төмен температуралы концентрациялау әдісімен ерітінділерді концентрациялау нәтижелері (алынған ерітінділердің шығуы мен концентрациясы) айтарлықтай дәрежеде «кристалдық фаза» фазалық тепе-теңдігімен анықталады. Ерітінді ретінде әр түрлі бейорганикалық және органикалық қышқылдар, олардың тұздары, сілтілер, қант, дәрумендер, гормондар, ферменттер, антибиотиктер және т. б.

Диссертациялық жұмыстың әдеби шолуында ғылыми осы саладағы жетістіктер және зерттеу бағыттары көрсетілген. Эксперименттік бөлімде эксперименттер жүргізу әдістемесі және төмен температуралы концентрация процесінің нәтижелері мен талдаулары ұсынылған.

АННОТАЦИЯ

В химии фракционная кристаллизация - это метод очистки, основанный на различиях в растворимости веществ. Он работает из-за разницы в кристаллизации (образование кристаллов). Если примеси двух или более веществ в растворе позволяют кристаллизоваться, например, снижая или повышая температуру раствора, осадок содержит наименее растворимое вещество. Доля компонентов в осадке зависит от продуктов их растворимости. Если продукты растворимости очень похожи, полное разделение требует каскадного процесса. Этот метод часто используется в химической инженерии для получения очень чистых веществ или для извлечения продукта из остаточных растворов. Фракционная кристаллизация может быть использована для разделения твердых и твердых примесей.

Процесс кристаллизации при замерзании воды, как и при обычной фракционной кристаллизации, состоит из двух этапов: образования (центров кристаллизации) и роста кристаллов льда. При этом скорость образования и роста кристаллов зависит от многих факторов (переохлаждение раствора, его концентрация, физико-химические свойства раствора, интенсивность перемешивания раствора, наличие в исходном растворе растворимых и нерастворимых примесей и др.).

Процессы низкотемпературной концентрации обычно состоят из следующих этапов: кристаллизации, разделения полученной кристаллической суспензии, промывки кристаллической фазы (льда) и ее плавления.

Термодинамически процессы низкотемпературной концентрации ничем не отличаются от обычной фракционной кристаллизации. Его особенностью является то, что в этом случае при охлаждении смеси происходит кристаллизация нерастворимого вещества, а сам растворитель (вода).

Результаты концентрации растворов методом низкотемпературной концентрации (выход и концентрация полученных растворов) в значительной степени определяются фазовым равновесием «кристаллическая фаза». В качестве раствора используют различные неорганические и органические кислоты, их соли, щелочи, сахар, витамины, гормоны, ферменты, антибиотики и др.

В литературном обзоре диссертационной работы отражены достижения в научной области и направления исследований. В экспериментальной части представлена методика проведения экспериментов и результаты и анализ процесса низкотемпературной концентрации.

ANNOTATION

In chemistry, fractional crystallization is a purification method based on differences in the solubility of substances. It works because of the difference in crystallization (crystal formation). If mixtures of two or more substances in the solution allow crystallization, for example, by lowering or increasing the temperature of the solution, the precipitate contains the least soluble substance. The proportion of components in the tincture depends on their solubility products. If the solubility products are very similar, complete separation requires a cascading process. This method is often used in chemical engineering to obtain very pure substances or to extract products from residual solutions. Fractional crystallization can be used to separate solid and solid impurities.

The process of crystallization during water freezing, as with conventional fractional crystallization, consists of two stages: formation (crystallization centers) and growth of ice crystals. In this case, the rate of formation and growth of crystals depends on many factors (hypothermia of the solution, its concentration, physico-chemical properties of the solution, the intensity of mixing of the solution, the presence of soluble and insoluble impurities in the initial solution, etc.).

Low-temperature concentration processes usually consist of the following stages: crystallization, separation of the resulting crystal suspension, washing the crystal phase (ice) and melting it.

Thermodynamically, low-temperature concentration processes are no different from conventional fractional crystallization. Its special feature is that in this case, when the mixture is cooled, an insoluble substance crystallizes, and the solvent itself (water) is formed.

The results of concentration of solutions by the method of low-temperature concentration (output and concentration of the resulting solutions) are largely determined by the phase equilibrium of the "crystal phase". Various inorganic and organic acids, their salts, alkalis, sugars, vitamins, hormones, enzymes, antibiotics, etc. are used as solutions.

In the literary review of the dissertation work, scientific achievements in this field and directions of research are indicated. The experimental section presents the methodology for conducting experiments and the results and analysis of the low-temperature concentration process.

Мазмұны

КІРІСПЕ	9
1 Әдебиеттік шолу	11
1.1 Кристалдану процесі	11
1.2 Ерітінділерден кристалдану.....	12
1.3 Кристалдану кезіндегі тепе-теңдік	12
1.4 Кристаллизаторлар	13
1.4.1 Білікті кристаллизатор	13
1.4.2 Буландыратын салқындататын тербелмелі кристаллизатор	14
1.4.3 Таспалы кристаллизатор	15
1.5 Кристалдардың өсуі.....	15
1.6 Еріткішсіз фракциялық кристалдану	17
1.6.1 Бір реттік кристалдану	17
1.6.2 Ағындардың рециркуляциясымен бір реттік кристалдануы.....	19
2 Фракциялық кристалдану түрлері.....	22
2.1 Ерітінділерден фракциялық кристалдану әдістері	23
2.1.1 Сыртқы салқындату аппараттарындағы массалық кристалдану	24
2.1.2 Бөлінетін қоспаның хладагентпен тікелей жанасуы кезіндегі кристалдану	25
2.2 Кристалдану әдістері	26
2.3 Су ерітінділерін мұздату әдісімен шоғырландыру	29
3 Әдеби шолуды талдаудан алынған қорытындылар	32
4 БАСТАПҚЫ ШИКІЗАТ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТЕР ЖҮРГІЗУ ӘДІСТЕМЕСІ....	33
4.1 Бастапқы шикізат пен аппараттардың сипаттамасы	33
4.2 Аппараттық-технологиялық схеманың сипаттамасы	34
4.3 Эксперимент жүргізу әдістемесі	35
5 ТӨМЕНТЕМПЕРАТУРАЛЫ ШОҒЫРЛАНУ ҮДЕРІСТЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ 38	
5.1 Қарапайым сүзу әдісімен төмен температуралы концентрлеуді шоғырландыру... 38	
5.2 Ортадан тепкіш сүзу әдісімен төмен температуралы шоғырландыру 44	
5.3 Вакуумдық сүзу әдісімен төмен температурада шоғырландыру.....	51
5.4 Ерітіндіні бағдарламалық салқындату кезінде төмен температурада шоғырландыру 53	
ҚОРЫТЫНДЫ	56
НОРМАТИВТІ СІЛТІМЕЛЕР	57
ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ.....	58
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	59
Қосымша А	63
Қосымша Б.....	65

КІРІСПЕ

Фракциялық кристалдану қоспаларды белгілі бір компоненттермен байытылған фракцияларға бөлу үшін, сондай-ақ ерітінділерден олардың құрамындағы заттарды оқшаулау үшін қолданылады. Бұл жағдайда бастапқы қоспаның ішінара кристалдануы әдетте жасалады. Бір немесе бірнеше кристалды және сұйық фракциялар шығады.

Төмен температуралы концентрация фракциялық кристалдану әдістерінің бірі болып табылады. Оны теңіз суын тұзсыздандыру, ағынды суларды әртүрлі қоспалардан тазарту, әртүрлі ерітінділерді, соның ішінде биологиялық белсенді заттардың ерітінділерін, қан плазмасын, сұйық тамақ ерітінділерін (Шай, кофе, сүт, жеміс шырындары, шарап, сүт өнімдері) концентрациялау үшін пайдалануға болады. Төмен температуралы концентрация процестерінің аппараттық дизайны өте алуан түрлі болып келеді.

Төмен температуралы концентрация процестері, әдетте, бірнеше кезеңдерді қамтып отырады. Олар ерітіндінің кристалдануы, алынған суспензияның бөлінуі, кристалды фазаны жуу, мұз кристалдарын жою және т.б. осы кезеңдердің әрқайсысы бөлу процесінің тиімділігіне белгілі бір әсер етіп отырады.

Төмен температуралық кристалдану мәселелері бойынша жарияланымдардың едәуір көлеміне қарамастан, бұл процесс теориялық және эксперименттік тұрғыдан әлі әлсіз зерттелген болып келеді. Атап айтқанда, әдебиетте бұл процестің тиімділігі туралы ақпарат жоқ деп саналады.

Осыған байланысты фракциялық кристалдану әдістерін пайдалана отырып, су ерітінділерін төмен температуралы кристалдану процестерін зерттеу және осы процесті теориялық және эксперименттік талдауды орындау **өзекті міндеттері** болып табылады.

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, бұл **жұмыстың мақсаты** «су-ерітінді» жүйелерінде бөлудің тиімді әдістерін анықтауға бағытталған төмен температуралық концентрацияның технологиялық сызбаларын құру болып табылады.

Зерттеу объектісі. Бейорганикалық және табиғи заттардың сулы ерітінділері мен аппараттары болады.

Зерттеу пәні – «су – еріген зат» бойынша, оның түріне, ағынына және берілу әдісіне байланысты болады.

Осы **мақсатқа** жету үшін келесілерді шешу қажет міндеттері:

- суда заттардың еру үдерістеріне әдеби зерттеулер жүргізу және оларды фракциялық кристалдану әдісімен бөлу;

- теориялық талдау жүргізу және «су - еріген заттар» жүйесін кристалдандырудың есептік формулаларын шығару;

- «су - еріген заттар» қоспасын әртүрлі тәсілдермен шоғырландыру әдістемесін жасау.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы. Бейорганикалық және табиғи заттардың сулы ерітінділерінен концентраттар алудың технологиялық параметрлері әзірленіп, анықталған:

- Бейорганикалық және табиғи заттардың сулы ерітінділерінен концентраттар алудың технологиялық схемалары жасалды;

- Бейорганикалық заттардың ерітінділерін төмен температуралы концентрациялау процестерінің оңтайлы технологиялық параметрлері мына байланыспен анықталды «су- NaCl , су- NaNO_3 » ;

- табиғи ерітінді зерттелді – су қоспасынан тұратын сүт өнімдері және концентрацияның оңтайлы технологиялық параметрлері табылды.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы. Бейорганикалық және табиғи заттардың сулы ерітінділері негізінде алынған концентрацияланған ерітінділерді әртүрлі мақсаттағы табиғи сусындар мен концентраттар ретінде ұсынуға болады.

Алынған нәтижелер бойынша апробациялау. Осы нәтиже бойынша 2 мақала жарияланды:

1. «Сатпаев оқулары – 2021», А. Б. Сатан, Б.К. Мустахимов. «Сүт өнімдерін фракциялық кристалдандыру арқылы концентрациялау технологиясын жасау» (337-338б., 2021г)

2. «Корреляционное взаимодействие науки и практики в новом мире» Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. «Низкотемпературное концентрирование растворов природных веществ» (232-233стр. 2020г)

1 Әдебиеттік шолу

1.1 Кристалдану процесі

Кристалдану - кристалдар түрінде қатты фазаның ерітінділер мен балқымалардан түзілу процесі. Процесс қоспаларды бөлу, заттарды терең тазарту, сондай-ақ монокристалдарды өсіру үшін қолданылады. Процесс барысында бір уақытта көптеген кристалдардың алынуы жаппай кристалдану деп аталады. Кристалдану бастапқы сұйық фаза қанықтыру немесе гипотермия жағдайында болған кезде пайда болады. Қатты түрдегі қаныққан ерітіндіден заттың артық мөлшері шығарылады (қанықтыру концентрациясымен салыстырғанда артық). Кристалдану тоқтағаннан кейін жатыр деп аталатын қаныққан ерітінді пайда болады. Кристалдар жатыр ерітіндісінен тұндыру, сүзу және басқа әдістермен бөлінеді. Кристалдану кезінде екі негізгі кезең бөлінеді: кристалды эмбриондардың пайда болуы және олардың өсуі. Егер бірінші кезеңнің жылдамдығы жоғары болса, екінші жылдамдық, содан кейін ұсақ дисперсті қатты фаза және көптеген кристалдар пайда болады. Егер кристалдардың өсу қарқыны олардың пайда болуынан асып кетсе, онда үлкен кристалдардың аз саны пайда болады[1,2,9].

Кристалдардың эмбриондары барлық көлемде емес, орталықтарда кристалдану (механикалық қоспалар, аппарат қабырғаларының кедір-бұдырлығы және т.б.) түзіледі. Кристалдануды тездету және кристалдардың пайда болуын бүкіл көлемде қоздыру үшін тұқым балқымаға немесе ерітіндіге кристаллизацияланатын заттың ұсақ бөлшектері енгізіледі. Үлкен кристалдарды өсіру кезінде енгізілген тұқым бөлшектерінің саны аз болуы керек.

Кристалдар - тегіс беттермен шектелген әр түрлі геометриялық пішіндердің қатты денелері. Хрусталь компоненттерінің пішіні, ішкі құрылымы және құрамы балқыманың немесе ерітінді компоненттерінің химиялық табиғаты мен құрамына байланысты. Кристалдардың химиялық құрамы ерітінді немесе балқыманың құрамынан ерекшеленеді. Кристалдардың бұл қасиеті заттардың ерітінділері мен балқымаларын олардың кристалдануы арқылы бөлу үшін қолданылады.

Көптеген зерттеулер сұйық ортадағы жаппай кристалдану процесін зерттеуге арналған.

Кристалдану өнімдері - бұл кристалдар массасы (кристалдану) және сарқылған ерітінді (кристаллаларлық сұйықтық). Қоспадағы заттың балқыма немесе ерітінді түріндегі басқа компоненттермен кристалдану температурасы осы қоспаның құрамына байланысты. Кристалдану процесі жылудың бөлінуімен қатар жүреді[3,4,6].

Кристалдардың ядролануы хаостық жылу қозғалысы барысында кездейсоқ соқтығысу кезінде пайда болатын еріген заттардың молекулаларының минималды ассоциациясы болып табылатын кристалдану орталықтарында жүреді. Олар өздігінен ерітінділердің белгілі бір суперқанығу дәрежесіне жеткенде ғана пайда болады. Олар механикалық қоспалар, құрылғылардың беткі кедір-бұдырлығы және басқа кездейсоқ факторлар болуы мүмкін. Кристалдану орталықтары ретінде және аппараттың ішкі беттерінде кристалдардың тұнуын азайту немесе жою үшін ерітіндіге ұсақталған кристалдардың ұсақ бөлшектері түседі. Бұл бөлшектер ерітінділердің айтарлықтай қанықтырусыз кристалдану орталықтарының көп мөлшерде түзілуін қамтамасыз етеді, нәтижесінде процесс жеделдетіледі[5,6].

1.2 Ерітінділерден кристалдану

Ерітінділерден кристалдану - ерітуге кері процесс. Ол жұту немесе бөлу жылу арқылы ағады. Кристалданудың өнеркәсіптік әдістері изотермиялық және изогидрлік болып табылады. Изотермиялық кристалдану ерітіндіні оның қанықтыру концентрациясынан жоғары буландыру арқылы жүзеге асырылады. Изогидрлік кристалдану кезінде олар салқындату арқылы ерітіндінің қанықтылығына жетеді. Изотермиялық кристалдану температураға аз тәуелді ерігіштігі бар заттардың ерітінділерін өңдеу кезінде қолданылады.

Егер ерітіндінің температурасы төмендеген кезде заттың ерігіштігі айтарлықтай төмендесе, изогидті кристалдану орынды. Кристалданудың балама әдісі-тұздану, ол ерітіндіге мақсатты компоненттің ерігіштігін төмендететін заттарды қосу арқылы жүзеге асырылады. Сонымен қатар, дедуктивті кристалдану бар, ол мақсатты компонентпен аз еритін күрделі қосылыс (аддукт) түзетін компоненттің ерітіндісіне қосылады. Әрі қарай Аддукт термиялық ыдырайды. Уақыт өте келе ағып кету режимі бойынша кристалдану мерзімді және үздіксіз болуы мүмкін. Кристалданудың технологиялық кезеңдері:

- ✓ ерітіндіні дайындау(қайта қанықтыру);
- ✓ кристалдарды аналық ерітіндіден бөлу;
- ✓ кристалдарды жуу;
- ✓ кристалдарды кептіру[7,8,18].

1.3 Кристалдану кезіндегі тепе-теңдік

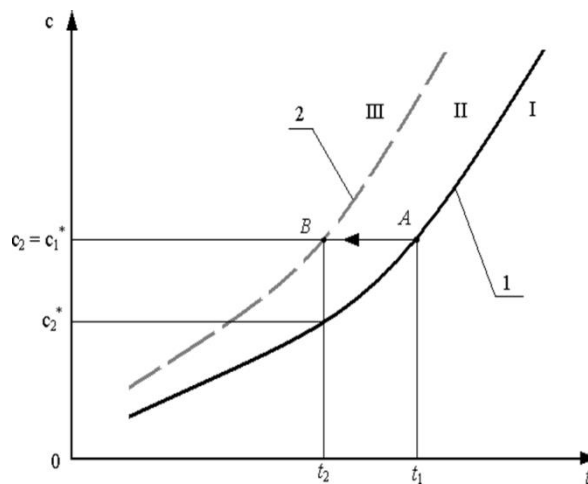
Ерігіштік ерітіндінің табиғатына, еріткішке және температура мен қысымға байланысты. Температураның жоғарылауымен заттардың көпшілігінде ерігіштігі артады. Мұндай заттардың қаныққан ерітінділері үшін температура төмендеген кезде шамадан тыс қанықтыру пайда болады және белгілі бір концентрацияға (шамадан тыс қанықтыру концентрациясына) дейін ерітінді тұрақсыз күйде қалады. Шамадан тыс концентрацияға жеткеннен кейін кристалдардың жоғалуы байқалады. Шамадан тыс қанықтылықтың шекті концентрациясына ерітінді мен еріткіштің табиғаты, температура, ерітіндінің салқындату жылдамдығы, ондағы қоспалардың болуы, сондай-ақ механикалық әсерлер әсер етеді. Ерітіндінің температурасына байланысты қанықтыру және қанықтыру қисықтарының түрі 1 – суретте көрсетілген.

Суреттегі белгілер:

t-температура;

c-концентрация;

* c-тепе-теңдік концентрациясы.



Сурет 1. Қанықтыру (1) және қанықтыру қисықтары (2)
I-қанықпаған ерітінді; II-метастабильді аймақ; III-лабильді аймақ

Кристалдану кезіндегі процестердің реттілігі. Қаныққан ерітіндіні t_1 -ден t_2 -ге дейін салқындату (шекті қанығуға дейін жеткізу); кристалдардың концентрациясының t_2 кезінде c концентрациясына дейін төмендеуі[9,10].

1.4 Кристаллизаторлар

Жұмыс принципіне сәйкес өнеркәсіптік кристаллизаторлар келесі сыныптарға бөлінеді:

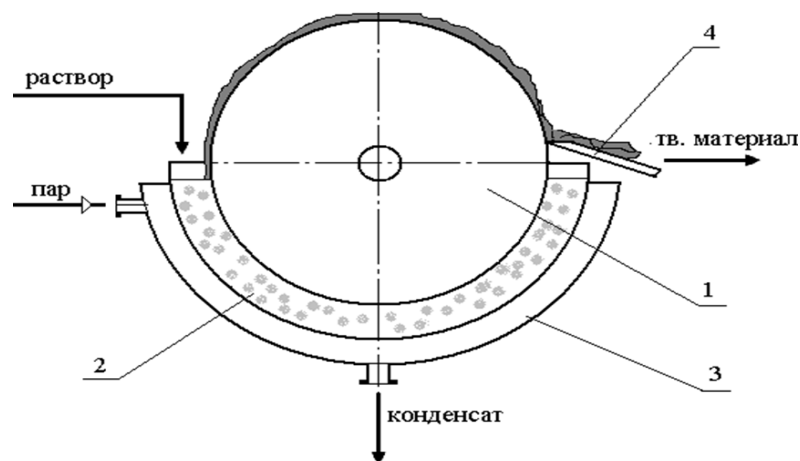
- ✓ еріткіштің бір бөлігін алып тастайтын кристаллизаторлар;
- ✓ ерітіндіні салқындататын кристаллизаторлар;
- ✓ вакуумдық кристаллизаторлар;
- ✓ псевдо-сұйытылған қабаты бар кристаллизаторлар.

Еріткіштің бір бөлігін алып тастайтын кристаллизаторлар - буландырғыш аппараттар, онда бастапқы жатыр ерітіндісі ондағы ерітіндінің концентрациясы қанықтыру концентрациясынан әлдеқайда жоғары және қанықтыру концентрациясынан асып кететін деңгейге дейін буланады. Бұл үшін ең қолайлысы - ерітінді мәжбүрлі айналымы бар буландырғыштар.

Ерітінді салқындатылған кристаллизаторлар класының типтік өкілдері роликті және тербелмелі болып табылады[11,12,22].

1.4.1 Білікті кристаллизатор

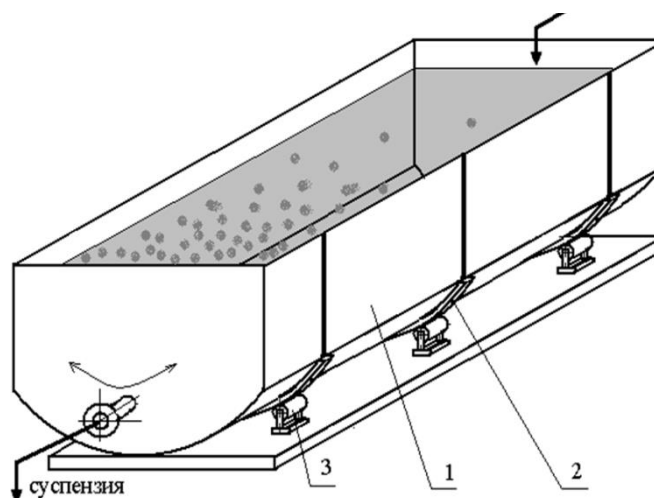
Роликті кристаллизатордың дизайны суретте көрсетілген. Осы кристаллизатордың 1 қуыс білігі оның ішіне берілетін сумен салқындатылады. Сонымен қатар, 2-шұңқырдағы ерітінді бумен жылытылады, ол 3-ші жылу көйлекіне беріледі. Кристалдар шұңқырдың сыртындағы роликтің бетінде орналасқан ерітіндіні салқындату нәтижесінде пайда болады. Роликті айналдырған кезде қатты материал оның бетінен пышақпен алынады 4[13].



Сурет 2. Білікті кристаллизатор
1-білік; 2-шұңқыр; 3-жылу көйлек; 4-пышақ

1.4.2 Буландыратын салқындататын тербелмелі кристаллизатор

Буландыратын салқындатқышы бар тербелмелі кристаллизатордың корпусы арнайы жетектің көмегімен тербелмелі қозғалыстар жасайтын 1 таяз шұңқырды білдіреді. 2 таңғыштары шұңқырдың сыртқы бетіне бекітілген, ол 3 тірек роликтеріне сүйенеді.

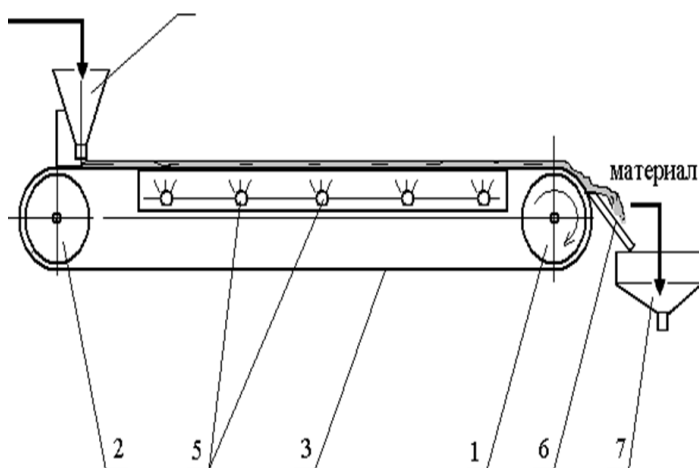


Сурет 3. Буландырғыш салқындататын тербелмелі кристаллизатор
1-шұңқыр; 2-бандаж; 3-тірек ролик

Кристаллизатор жұмыс істеп тұрған кезде оның шұңқырына ыстық қаныққан ерітінді беріледі, ол қоршаған ортамен байланысқа және еріткіштің бір бөлігінің булануына байланысты қанықтырылады. Нәтижесінде кристаллизатордан шыққан кезде түскен кристалдар мен жатыр ерітіндісінің суспензиясы алынады. Кристаллизатордың артықшылығы - ондағы кристалдар минималды механикалық кернеуге ұшырайды және қайта бөлінбейді[14,19].

1.4.3 Таспалы кристаллизатор

Таспалы кристаллизатор суретте көрсетілген. Осы кристаллизатордың жетек 1 және керме 2 барабандары арқылы 3 шексіз конвейер таспасы лақтырылады. Шексіз таспаның төменгі және жоғарғы бұтақтарының арасында 5 салқындатқыш сумен суландыру құрылғылары орнатылған. Сондай-ақ, кристаллизаторда 4 ерітінді беру құрылғысы және 6 қатты материалды алуға арналған пышақ, сондай-ақ қатты материалды жинауға арналған 7 бункер бар. Кристаллизатор жұмыс істеген кезде қатты фаза салқындатылатын және осылайша ерітіндінің қанықтылығына жетеді.



Сурет 4. Таспалы кристаллизатор

1-жетек барабаны; 2-тарту барабаны; 3-шексіз таспа; 4-ерітіндіні беруге арналған құрылғы; 5-суландырғыштар; 6-пышақ; 7-қатты материалды жинауға арналған бункер

1.5 Кристалдардың өсуі

Кристалдардың өсу процесін, сондай-ақ олардың пайда болу процесін сипаттау үшін бірқатар теориялық және эмпирикалық тәуелділіктер ұсынылады.

Кристалдардың өсу жылдамдығына, сондай-ақ олардың пайда болу процесіне зат пен еріткіштің физика-химиялық қасиеттері, ерітіндіде әртүрлі қоспалардың болуы, сондай-ақ әртүрлі физика-механикалық әсерлер әсер етеді. Әр түрлі заттар үшін кристалдардың сызықтық өсу қарқыны ондаған немесе одан да көп есе өзгеруі мүмкін екендігі анықталды. Бұл балқымалар мен ерітінділердің физика - химиялық қасиеттеріне байланысты. Ерітінділердің тұтқырлығының жоғарылауы жүйеде жылу мен масса алмасу қарқындылығының төмендеуіне байланысты кристалдардың өсу қарқынын едәуір төмендетеді. Араластыру қарқындылығының артуы, керісінше, өсу қарқынын арттырады. Әр түрлі қоспалардың кристалдардың өсу жылдамдығына әсері төменде қарастырылады[16,17].

Бөлу процестерінің тиімділігі кристалдардың пішіні мен мөлшеріне байланысты. Өз кезегінде кристалдардың пішіні мен мөлшері мыналарға байланысты бірқатар факторлар: заттардың физика-химиялық және термофизикалық қасиеттері, қанықтылықты құру әдісі, салқындату қарқындылығы, заттың құрамы, еріткіштің табиғаты, ерітіндіде әртүрлі

қоспалардың болуы және т.б. Кристалдардың өсуінің 2 формасы бар: тепе-теңдік және нақты кристал.

Тепе-теңдік кристалдарының пішіні заттың кристалдық торының құрылымымен, сондай-ақ оның элементар бөлшектері (иондар, атомдар, молекулалар) арасындағы байланыс күштерімен анықталады. Тепе-теңдік кристалдары ең аз беттік энергиясы бар беттерге ие және салыстырмалы түрде қарапайым геометриямен ерекшеленеді. Тепе-теңдік температурада жатырдың ерітіндісінде ұзақ уақыт бойы мұндай кристалдар пішінін өзгертпейді.

Нақты кристалдардың пішіні әдетте уақыт өте келе өзгереді және сыртқы факторларға байланысты. Кристалдар неғұрлым баяу өссе, олар тепе-теңдік формасына жақын болады. Шағын қанықтыру кезінде кристалдар өседі, әдетте олардың ішкі құрылымына сәйкес келетін дұрыс пішінді сақтайды. Гипотермияның жоғарылауымен әртүрлі беттердің өсу қарқыны әр түрлі болуы мүмкін. Сондықтан, өзгерту пересыщения жиі сопутствует нысанын өзгерту кристалдардың: жоғалып мүмкін кейбір қырлары және пайда басқа да.

Үлкен қанықтыру кезінде кристалдар көбінесе дендриттер, қаңқалар, сфералиттер, спиральдар және басқа жетілмеген түзілімдер түрінде болады. Ерітінділердің тез салқындауы әдетте ине кристалдарының пайда болуына әкелетіні белгілі. Бұл форма кристалдану майданынан сыртқы ортаға жылуды жақсы кетіруге көмектеседі. Сыртқы факторлардың әсерінен кристалдарда әртүрлі құрылымдық ақаулар пайда болады, бұл олардың пішіні мен физика - механикалық қасиеттеріне әсер етеді[18,19].

Кристалдардың пішіні мен мөлшері ерітінділердің салқындату жағдайларына байланысты. Араластырылатын ерітінділерді баяу салқындату кезінде «массалық» кристалдану жүреді, ол жатыр ортасында жеке кристалдардың пайда болуымен бірге жүреді. Мұндай кристалдану кезіндегі кристалдардың соңғы мөлшері эмбриондардың пайда болу жылдамдығы мен олардың кейінгі өсу коэффициентіне байланысты. Егер кристалдану орталықтарының пайда болу жылдамдығы олардың өсу жылдамдығынан едәуір асып кетсе, онда ұсақ кристалды өнім алынады. Егер кристалданатын заттың негізгі бөлігі бастапқыда пайда болған эмбриондардың бетіне түссе немесе кристалдану процесі тұқым көмегімен жүзеге асырылса, нәтижесінде ірі кристалды өнім пайда болады. Қанықтылықтың жоғарылауымен кристалдардың орташа мөлшері әдетте азаяды.

Жоғарыда айтылғандай, ерітінділер мен балқымалардың араластыру қарқындылығы кристалдардың өсу қарқыны мен формасына айтарлықтай әсер етеді. Қарқынды араластыру барлық кристалдардың өсуіне бірдей жағдай жасайды, нәтижесінде біртекті кристалды өнімдер пайда болады.

Араластыру қарқындылығының жоғарылауымен, көбінесе кристалдардың орташа мөлшерінің төмендеуі байқалады. Бұл, өз кезегінде, суспензияны бөлу сатысында аналық безді ұстап қалудың жоғарылауына ықпал етеді және бөлу тиімділігінің төмендеуіне әкеледі[20,21].

Араласпайтын немесе аздап араластырылған балқымалар мен ерітінділерді салқындату кезінде жүйеде температура градиенттері әрдайым байқалады. Мұндай жағдайларда салқындатылған беттерде кристалдардың «бағытталған» өсуі жиі кездеседі. Бұл жағдайда кристалдану процесі әдетте құрылғылардың салқындатылған бетінде кристалдану орталықтарының гетерогенді түзілуінен басталады. Әрі қарай, кристалдар қабаты пайда болады, олардың қалыңдығы салқындаған сайын біртіндеп артады. Бағытталған кристалдану жағдайындағы Кристалл қабатының құрылымы бірқатар

факторларға байланысты: фазалық шекарадағы температура градиентінің мөлшері, бастапқы қоспаның құрамы, кристалдану фронтының жылдамдығы және т.б.

Температураның едәуір градиентімен кристалдану фронты тегіс болуы мүмкін. Температураның кішкентай градиенттерінде тегіс кристалдану фронты бұзылып, оның бетінде дендриттер, жасушалар және өсудің басқа жетілмеген формалары пайда болады. Соңғы жағдайда кристалл қабаты кеуекті құрылымға ие және әдетте әртүрлі өлшемдер мен пішіндегі кристалдардан тұрады.

Білім дендритной және ұялы құрылымы движущемся майданда кристалдану орынсыз, өйткені бұл тиімділігін төмендетуге алып келеді бөліну салдарынан қармау қоспалар. Бұл әсіресе дендриттік құрылымның қалыптасуында көрінеді. Сондықтан, бағытталған кристалдану кезінде кристалдану процесін тегіс кристалдану фронтының пайда болуын қамтамасыз ететін жағдайларда жүргізген жөн. Ол үшін кристалдану алдында концентрациялық гипотермияны болдырмау керек. Мұны сұйық фазадағы температура градиентін жоғарылату және өсу қарқынын төмендету арқылы жасауға болады. Еңбектерінде жалпақ кристалдану фронтының тұрақтылығы мәселесі қарастырылады. Сонымен қатар, тұрақты, тегіс кристалдану фронтын сақтау шарттарын анықтайтын бірқатар критерийлер ұсынылған[22,23].

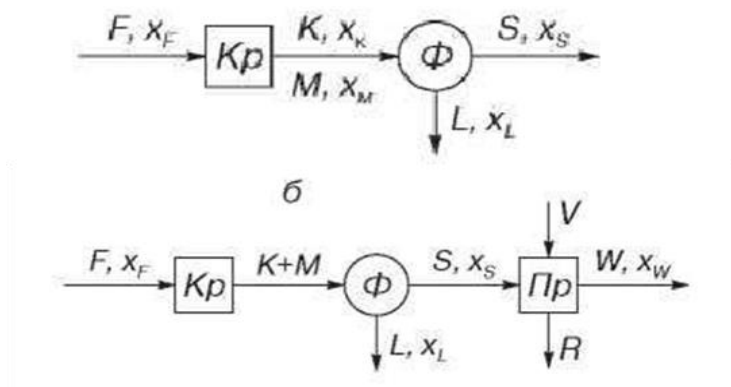
Жаппай және бағытталған кристалдану кезінде кристалдардың өсу жылдамдығына, пішіні мен мөлшеріне бастапқы бөлінетін қоспадағы еритін және ерімейтін қоспалар қатты әсер етеді. Кристалдардың баяу өсуімен ерімейтін қоспалардың бөлшектері кристалдың өсіп келе жатқан беттерімен немесе қозғалатын кристалдану фронтымен итерілуі мүмкін. Жылдам өсу кезінде мұндай қоспалар көбінесе кристалдармен ұсталады, бұл тордың жергілікті бұзылуына және кристалл беттерінің өсу қарқынының өзгеруіне әкеледі. Кристалдану процесіне еритін қоспалар одан да маңызды әсер етеді. Егер қоспа негізгі затпен қатты ерітінділер түзбесе, онда оның молекулалары өсіп келе жатқан кристалдың алдында ерітіндіде жиналып, жүйеде масса алмасуды қиындатады. Бұл, әрине, кристалдардың өсу қарқынының төмендеуіне және бөлу тиімділігінің төмендеуіне әкеледі[24,25].

1.6 Еріткішсіз фракциялық кристалдану

Ұйымдастыру әдісіне байланысты фракциялық кристалдану әдістерін бір, дәйекті, көп сатылы, қарама-қарсы және ағынды рециркуляциямен бөлуге болады.

1.6.1 Бір реттік кристалдану

Бір фракциялық кристалдану мерзімді және үздіксіз нұсқаларда да жүзеге асырылуы мүмкін болады. Бұл жағдайда осы процестің бірнеше технологиялық схемалары болуы мүмкін, олардың ең қарапайымы 6 - суретте көрсетілген.



Сурет 6. Бір реттік кристалдану схемалары
а-қалыпты жағдай; б-кристалды фазаны жуу арқылы.

Бұл нұсқада бөлу процесі екі дәйекті сатыдан тұрады: K_p кристалдануы және F суспензиясының бөлінуі, жоғары балқитын a компонентінің H_G концентрациясы бар болатын бастапқы қоспасы K_p кристалдану сатысында T_r тарату температурасы мен T_C қоспасының солидусы арасындағы аралықта орналасқан T_F фракциялау температурасына дейін салқындатылып отырады.

Нәтижесінде x_s концентрациясы бар S кристалды фракциясы және x_L концентрациясы бар L сұйық фракциясы алына бастайды.

Тепе-теңдік кристалдану жағдайында кристалды H_C және сұйық H_M фазаларының құрамын фазалық тепе-теңдіктің диаграммасы арқылы анықтауға болады. X_s және X_L композициялары нақты кристалдану процесінің тепе-теңдікке жақындау дәрежесіне және суспензияның бөліну жағдайларына байланысты келеді. Изотермиялық жағдайда суспензияны бөлу кезінде x_L концентрациясы әдетте тепе-теңдік x_M -ге жақын болады. X_s шамасы, әдетте, аналық жасушаны кристалды фазамен ұстауға байланысты H_C -ден айтарлықтай ерекшеленіп отырады[26,27].

Кристалдану сатысында алынған суспензиядағы кристалды фазаның құрамын материалдық теңдеулерден осы кезеңнің балансын анықтауға арналған:

$$\varphi_K = K/F = (x_F - x_M)/(x_K - x_M). \quad (1.4)$$

Осындай бөлу процесінің нәтижесінде кристалды өнімнің шығуы мынадай

$$\varphi_S = S/F = (x_F - x_L)/(x_S - x_L). \quad (1.5)$$

Нақты процестің тепе-теңдікке жақындау дәрежесін бағалау үшін бөлу тиімділігінің әртүрлі коэффициенттері қолданылып отырады. Олардың ішіндегі ең қолайлысы - өрнек бойынша анықталған тиімділік коэффициенті мына қалыпта

$$F = (x_S - x_L)/(x_K - x_M). \quad (1.6)$$

Бөлу сатысында кристалдық фазаның аналықтан бөлінуінің толықтығын бағалау үшін көбінесе аналықты кристалдық фазамен қамту коэффициенті қолданылғаны жөн

$$m = (x_K - x_S)/(x_S - x_M). \quad (1.7)$$

Тиімділік коэффициенттерінің өзара мәндері бірқатар факторларға байланысты: бөлінетін қоспаның физика-химиялық қасиеттеріне, кристалдану процесінің параметрлеріне, бөлу сатысының әдісі мен режимдеріне және т.б. жағдайда бұл коэффициенттердің мәндері эмпирикалық жолмен белгіленеді.

Егер біз $x_L = x_M$ деп алсақ, онда бөлу тиімділігінің коэффициентін ескере отырып, кристалдық өнімнің шығуы үшін теңдеу осылай өрнектеледі

$$\varphi_S = (x_F - x_M)/E(x_K - x_M). \quad (1.8)$$

Егер алынған S кристалды өнімінің тазалығы берілген талаптарға сәйкес келмеген жағдайда, онда көбінесе кристалды фазаны қосымша жуу арқылы бір реттік кристалдану процесі қолданылып отырады. б) Кристалдарды (Пр) жуу сатысын, әдетте, сүзгілердің бетінде немесе сүзгіш центрифугалардың роторында әртүрлі жуу сұйықтықтарын (V) пайдалана отырып жүргізеді. Су - тұз жүйелерін бөлу жағдайында жуу әдетте таза сумен жүзеге асырылады, ал көмірсутек қоспаларын бөлу кезінде жуу үшін әртүрлі еріткіштер қолданылады. Жуғаннан кейін тазартылған кристалды өнім (W) алынады. Төмен балқитын қоспаларды бөлу кезінде жуу[28,29].

Оны кристалды өнімді балқыту арқылы жасауға болады. Бұл жағдайда бөлу процесі негізінен 4 кезеңнен тұрады. Олар кристалдану (Кр), сүзу (Ф), жуу (Пр) және балқыту (Пл). Тазартылған кристалды фаза W ерігеннен кейін алынған балқыту 2 ағынға бөлінеді: V және N. Бұл ағында, N ағыны бөлу өнімдерінің бірі ретінде таңдалады, ал V ағыны болса жуу кезеңіне беріледі, онда ол жуу сұйықтығы ретінде әрекет ете бастайды. Жуу сатысында бөлінген сұйық фаза (R) көбінесе кристалдану сатысына қайтарылады. Әсіресе мұндай бөлу схемасы жібіту әдісімен сұйылтылған ерітінділерді шоғырландыру кезінде және төмен балқитын көмірсутек қоспаларын бөлу кезінде қолданылатыны анық.

1.6.2 Ағындардың рециркуляциясымен бір реттік кристалдануы

Фракциялық кристалданудың әдеттегі жағдайындағы бір процесі көбінесе бөлу процесін тиімді жүргізуге мүмкіндік бермейді. Сонымен, ерітінділерден заттардың жаппай кристалдануы кезінде салқындату процесінің бастапқы кезеңдерінде бастапқы ерітіндінің едәуір қанықтылығы байқалады. Бұл, әдетте, салқындатылған беттерде кристалды шөгінділердің пайда болуына әкеледі, бұл жүйеде жылу беру қарқындылығын төмендетіп, сәйкесінше кристалдану жабдықтарының жұмысын төмендетіп отырады. Кристалдардың пайда болу процесін жеңілдету үшін кристалдық суспензияның ішінара рециркуляциясын пайдалануға болады. Сонымен қатар, мұндай қайта өңдеуді кристаллизаторлардың мерзімді және үздіксіз жұмыс режимінде пайдалануға болады[30,31].

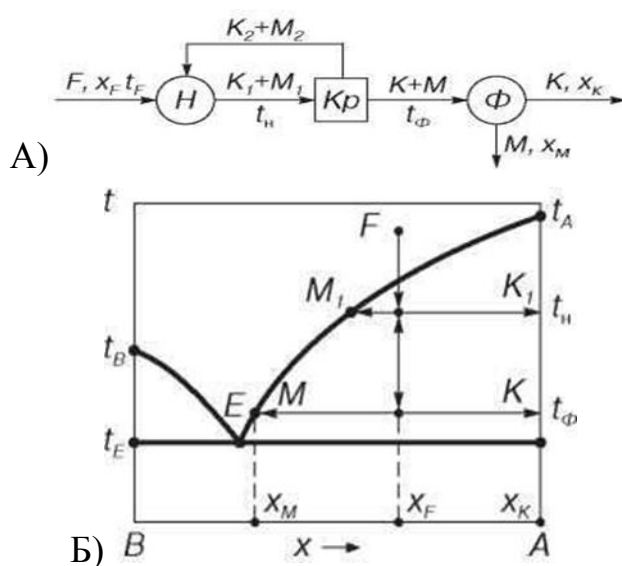
Мерзімді кристалдану процесінде аппаратта суспензияның белгілі бір мөлшерін қалдыруға болады, ол кейіннен бастапқы ерітіндімен араласып, қалған суспензия тұқым рөлін атқарады. Үздіксіз режимдегі азық-түлік суспензиясының бір бөлігі бастапқы ерітіндімен араластыруға қайтарылады. Мұндай процесті аппараттағы кристалды фазаны

бойлық араластыру қиын болған кезде идеалды ығысуға жақын режимдерде жұмыс істейтін құрылғылар үшін қолданған жөн деп есептейді.

Суспензияның ішінара рециркуляциясымен кристалдану кезінде кристалдардың өсуі негізінен дайын кристалдану орталықтарында жүріп отырады, бұл кристалдардың орташа мөлшерін ұлғайтуға және тар гранулометриялық құрамы бар кристалды өнімдерді алуға көмектеседі.

Азық-түлік суспензиясының ішінара рециркуляциясымен бір реттік кристалдану процесінің принципті схемасы 7-суретте көрсетілген. А. жалпы жағдайда бөлу процесі 3 негізгі кезеңнен тұрады: бастапқы ерітіндіні рециркуляциялық суспензиямен (Н) араластыру, ерітінді затының кристалдануы (Кр) және алынған суспензияның бөлінуі (Ф) көрсетілген[32,33].

Араластыру сатысында (Н) бастапқы F ерітіндісі TF фракциялау температурасымен араластыру сатысына түсетін рециркуляциялық суспензиямен ($K_2 + M_2$) араластырылып, бастапқы ерітіндіні рециркуляциялық суспензиямен жанасатын жылу-масса алмасу кезінде ондағы кристалды фазаның ішінара еруі жүреді. Бұл жағдайда TN температурасы бар «бастапқы» суспензия ($K_1 + M_1$) ретінде алынады, ол кристалдану сатысына (KR) ары қарай жіберіледі. Әрине, бұл қайта өңделетін суспензияның мөлшері бастапқы ерітіндімен араласқан кезде алынған «бастапқы» суспензияда белгілі бір кристалды фазаның мөлшері болатындай етіп таңдалынып алыну керек.



Сурет 7. Азық-түлік суспензиясының ішінара рециркуляциясымен кристалдануы
А-процестің схемалық диаграммасы; Б-фазалардың тепе-теңдік диаграммасындағы
процестің суреті.

Кристалдану сатысында (K_p) бастапқы суспензия t_n температурасынан t_ϕ температурасына дейін салқындатылып, нәтижесінде өнімнің суспензиясы пайда болады. Осы суспензияның бір бөлігі ($K + M$) ф бөлу сатысына, ал екінші бөлігі ($K_2 + M_2$) Н араластыру сатысына жіберіле бстайды. Бұл жағдайда кристалдық фаза k НС концентрациясы және m концентрациясы бар аналық жасуша аламыз. Фазалардың тепе-теңдік диаграммасындағы осы процестің бейнесі 8 б суретте көрсетілген.

Эвтектикалық түзуші қоспаларды бөлуге қатысты сипатталған процестің теориялық талдауы еңбектерінде жасалып, ал жұмысында кристалдану кезінде кристаллогидраттар пайда болатын күрделі су-тұзды жүйелерің бөлінуіне қатысты ұқсас талдау жүргізілді. Талдау нәтижесінде бөлу өнімдерінің шығуы мен құрамын анықтауға мүмкіндік беретін теориялық тәуелділіктер, сондай-ақ «бастапқы» суспензиядағы кристалдық фазаның берілген құрамын қамтамасыз ететін рециркуляция коэффициентін есептеуге арналған теңдеулер таңдалып алынды. Алынған тәуелділіктерді қолдана отырып, әсер талданды кейбір екілік қоспаларды бөлу процесінде әртүрлі параметрлер жасалды.

Талдау көрсеткендей, бастапқы суспензиядағы кристалды фазаның белгілі бір құрамымен бастапқы ерітіндінің температурасы мен кристалдану кезеңіндегі ерітіндінің салқындатуы барысында температураның жоғарылауы рециркуляция коэффициентінің жоғарылауына әкеледі. Ұқсас көрініс бастапқы ерітіндінің концентрациясының жоғарылауымен байқалды[34,35].

Суспензияны қайта өңдеу коэффициентінің мәні ерітінді мен еріткіштің термофизикалық және тепе-теңдік қасиеттеріне де байланысты деп көрсетілді. Сонымен, Кристалл гидраттарын құрайтын жүйелер үшін негізгі технологиялық параметрлердің рециркуляция коэффициентіне әсері бұл кристалл гидраттарын жасамайтын жүйелерге қарағанда едәуір көп әсер ететіндігі. Бұл кристаллогидраттардың пайда болуы кристалдану аймақтарының азаюына әкеліп соқты.

Ерітінділерден заттардың массалық кристалдануы кезінде алынатын суспензиядағы ϕ_k кристалдық фазасының құрамы әдетте 25-30% құрайды. Сирек жағдайларда ϕ_k 30-40% жетеді. Бұл кристалдық фазаның едәуір құрамымен суспензияны араластыру қиынға соғады және жүйеде жылу беру қарқындылығы төмендейді. Бұдан басқа, ϕ_k үлкен мәндерінде суспензияны кристаллизаторлардан түсіру және оны одан әрі сепарация сатысына тасымалдау қиынға соқты.

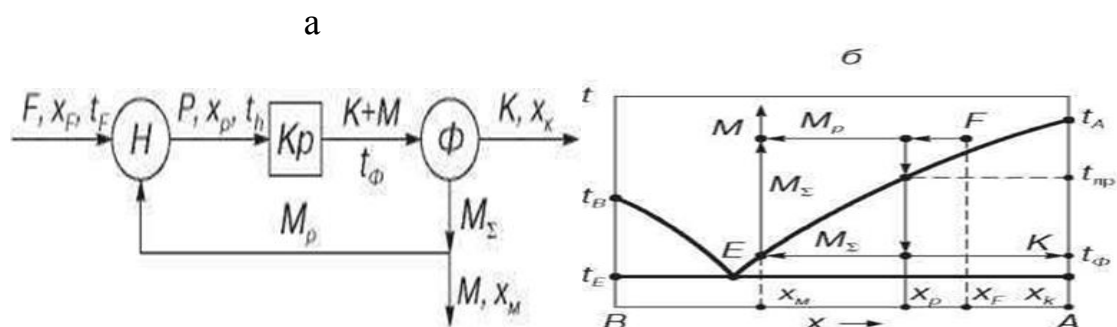
Сонымен қатар, ДШ-ны 35-40% - дан астам ұлғайту мүмкін еместігі мақсатты өнімдердің шығуын азайтады және қайта кристалданудың көп сатылы схемаларын қолдануға мәжбүр етеді. Бұл жағдай әсіресе жүйеде Кристалл гидраттарының пайда болуында жиі кездеседі, нәтижесінде кристалданудың фазалық өрістерінің ұзындығы айтарлықтай төмендеп отырды.

Кристалдық өнімдердің шығымын маточниктің ішінара рециркуляциясы бар ерітінділерден заттардың кристалдану процесін пайдалану кезінде едәуір арттыруға болады екен. Мұндай процестің схемалық диаграммасы және оның фазалық тепе-теңдік диаграммасындағы бейнесі 8-суретте келтірілген.

Бұл процесс сондай-ақ 3 негізгі кезеңнен тұрады: бастапқы ерітіндіні рециркуляциялық аналық безбен (Н) араластырумен, кристалдану сатысымен (K_p) және алынған кристалды суспензияның бөліну сатысымен (Ф). Бөлу келесідей жүзеге асырылған болатын. H_H концентрациясы мен T_F температурасы бар f бастапқы ерітіндісі h араластыру сатысына беріліп, онда ол T_F фракциялау температурасы кезінде F азық-түлік суспензиясын бөлу сатысынан келетін mg рециркуляциялық аналық жасушамен араласты[36,37].

Бастапқы F ерітіндісі мен M_p рециркуляциялайтын аналық сұйықтық ағындарының шығынына, сондай-ақ H араластыру сатысында олардың температурасына байланысты екі жағдай байқалуы мүмкін екен. Егер A және M_p ағындарын араластыру кезінде алынған t_y қоспасының температурасы оның қанықтыру температурасынан жоғары болса, онда алынған ерітінді қанықпаған күйде келеді. Егер араластыру нәтижесінде алынған T_N

ерітіндісінің температурасы оның L_p қанықтыру температурасынан төмен болса, онда мұндай араластыру нәтижесінде алынған ерітіндінің «бастапқы» суспензияның пайда болуымен ішінара кристалдануы арқылы болады.



Сурет 8. Аналықтың (а) рециркуляциясымен кристалдану процесінің принципті схемасы және оның тепе-тендік диаграммасындағы бейнесі фазалары (б)

Кристаллизация процесін аналықтың рециркуляциясымен теориялық талдау болды. Сонымен қатар, оның тиімділігіне әртүрлі факторлардың оған әсері анықталды[38].

2 Фракциялық кристалдану түрлері

Фракциялық кристалданудың келесі түрлері бар: масса, салқындатылған беттерде, бағытта, зоналық балқу.

Жаппай кристалдану. Әдіс аппараттың бүкіл көлеміне бір уақытта көптеген кристалдар алуынан тұрады. Өнеркәсіпте мерзімді немесе үздіксіз жұмыс істейтін аппараттарда жүзеге асырылатын жаппай кристалданудың бірнеше нұсқалары жүзеге асырылды: сыртқы салқындатқыш курткалармен немесе ішкі катушкалармен және жиі араластырғыш құрылғылармен жабдықталған сыйымдылықты; құбырлы, қырғыш, диск, бұранда және т.с.с. есептеу әдісі болмағандықтан, параметр эксперименталды түрде массалық кристалдану кезінде табылады.

Қабырға арқылы жылу берумен кристалдану. Еріген жағдайда, процесс оларды салқындату арқылы жүзеге асырылады. Ерітінділерді кристалдандыру кезінде процесс режимін таңдау негізінен заттардың ерігіштігінің температураға тәуелділік сипатымен анықталады. Егер температураның өзгеруімен заттың ерігіштігі аз өзгерсе (мысалы, NaCl суда), онда кристалдану қаныққан ерітіндіні тұрақты температурада ішінара немесе толықтай буландыру арқылы жүзеге асады (изотермиялық кристалдану). Ерігіштігі температураға қатты тәуелді заттар (мысалы, суда KNO_3) ыстық ерітінділерді салқындату арқылы кристалданады, ал аналық сұйықтық құрамындағы еріткіштің бастапқы мөлшері жүйеде өзгермейді (изогидрлі кристалдану). Пайда болған кристалдар олардың қасиеттеріне, пішініне және процестің жағдайына байланысты әртүрлі мөлшерде аналық сұйықтықты алады. Оның қатты фазадағы кеуектердегі, жарықтар мен қуыстардағы қосынды түріндегі мөлшері кристалдар мен аналық сұйықтықты бөлу әдісіне айтарлықтай

тәуелді. Сонымен, барабанды вакуум-фильтрде кристалдарды бөлген кезде олардағы аналық сұйықтықтың концентрациясы 10-30% құрайды, фильтрлейтін центрифугада - 3-10%.

Процестің негізгі артықшылықтары: жоғары өнімділік, бөлінетін қоспаның салқындатқышпен байланысы жоқ, аппараттық құралдың қарапайымдылығы; кемшіліктері: салыстырмалы түрде төмен жылу беру коэффициенті, салқындатқыш беттердің инкрустациясы, аналық сұйықтықты кристалдардың көп ұстауы, қатты және сұйық фазаларды бөлуге арналған қосымша жабдықты орнату қажеттілігі, кристалды өнімнің жеткіліксіз жоғары өнімі. Қолдану мысалдары: силвиниттен К және Na хлоридтерін дайындау, ксилол изомерлерін бөлу[39,40].

Буландыру ерітіндіні шоғырландыру, еріген затты окшаулау немесе таза еріткіш алу үшін жүзеге асырылады. Негізінен сулы ерітінділер булануға ұшырайды. Жылу тасымалдаушысы көбінесе су буы болып табылады (қысым 1,0-1,2 МПа), оны қыздыру немесе бастапқы деп атайды; ерітіндіні қайнату кезінде пайда болған буды екінші реттік деп атайды. Буланудың қозғаушы күші, қыздырғыш бу мен қайнаған ерітінді арасындағы температура айырмашылығы пайдалы деп аталады. Ол әрдайым бірінші және екінші будың температуралық айырмашылығынан аз болады. Бұл ерітіндінің таза еріткішке қарағанда жоғары температурада қайнатылуына байланысты (физико-химиялық, немесе концентрация, депрессия). Сонымен қатар, ерітіндінің бу кеңістігіне қарағанда қысымның жоғарылауына байланысты қайнау температурасы көтеріледі. Қысымның жоғарылау себептері: ерітіндінің гидростатикалық қысымы; қайнап жатқан (бу-сұйық) қоспаның қозғалысы кезіндегі гидравликалық кедергі; бұл қоспаның қозғалыс жылдамдығының бастапқы ерітіндіден гөрі әлдеқайда көп көлемді алуына байланысты өсуі.

Буландыру үшін қысыммен немесе вакууммен жұмыс жасайтын қондырғы қолданылады. Олардың негізгі элементтері: жылыту камерасы; концентрацияланған ерітінді таңдау кезінде бу-сұйық қоспаны бөлуге арналған сепаратор; ерітінді сепаратордан камераға оралатын айналым құбыры (бірнеше рет буланған кезде). Аппараттың құрылымы негізінен құрамымен, физико-химиялық қасиеттерімен, ерітінділердің қажетті концентрация дәрежесімен, олардың шкалалар мен көбік түзуге бейімділігімен анықталады (масштаб жылу беру коэффициентін күрт төмендетеді, ерітіндінің айналымын бұзады және коррозияны тудыруы мүмкін дәнекерленген қосылыстар, және бағалардың көп болуы ерітіндіні екінші пароммен тасымалдауды арттырады).

Ең кең тарағандары - жылыту беті 1250 м² жететін құбырлы жылыту камералары бар тік аппарат. Мұндай құрылғыларда ерітінді құбырда, ал қыздыру буы камераның тубааралық кеңістігінде болады. Олардағы ерітіндінің циркуляциясы табиғи немесе мәжбүрлі болуы мүмкін, оны арнайы сорғы жасайды. Тұтқырлығы төмен (л 6-8 мПа-с дейін) концентрация кезінде тұнбаға түспейтін (мысалы, NaNO₂, NaNO₃, NH₄NO₃, KCl) қанықпаған және еритін тұздардың қанықпаған ерітінділерінің булануы табиғи циркуляциясы бар буланған аппарат, оның жылыту түтіктерінде ерітінді қызып қана қоймай қайнайды. Концентрация кезінде тұнатын нашар еритін заттардың ерітінділерін буландыру үшін (мысалы, CaCO₃, CaSO₄, Mg (OH)₂, алюминий) қолданылады[41,42].

2.1 Ерітінділерден фракциялық кристалдану әдістері

Фракциялық кристалдану оны жүзеге асырудың көптеген әдістері мен тәсілдерімен ерекшеленеді. Төменде олардың ең көп тарағандары қысқаша қарастырылады.

2.1.1 Сыртқы салқындату аппараттарындағы массалық кристалдану

Бұл жағдайда қанықтыру бастапқы қоспаны (ерітіндіні) салқындату арқылы жасалады. Салқындату әдісімен кристалдану ерігіштігі температураға айтарлықтай тәуелді заттар үшін тиімді. Мұндай процесті жүргізу үшін әртүрлі дизайндағы кристаллизаторлар қолданылады. Бұл жағдайда процесс мерзімді және үздіксіз режимдерде жүзеге асырылуы мүмкін. Кристаллизатордың дизайнын және оның жұмыс режимдерін таңдау көптеген факторларға байланысты: өнімді өндірудің технологиялық схемасы, ерітіндінің физика-химиялық қасиеттері, өнімділігі және т. б.

Процесс үшін салқындатқыш жейделермен жабдықталған сыйымдылық кристаллизаторлары жиі қолданылады. Мұндай құрылғылардың ішіне рамалық, якорь немесе пышақ араластырғыштар орналастырылған. Араластыру кристалдардың суспензияда сақталуына ықпал етеді. Мұндай кристаллизаторлардың көлемі бірнеше текше метрге жетуі мүмкін.

Көбінесе сыйымдылық кристаллизаторлары мерзімді режимде жұмыс істейді. Бұл жағдайда салқындату режимі белгілі бір заттардың ерекшеліктерін ескере отырып орнатылады, көп жағдайда аппараттағы температураны белгілі бір бағдарламаға сәйкес біртіндеп төмендетеді. Гипотермияға бейім заттардың кристалдануы жағдайында қанықтыру жеткен кезде ерітіндіге тұқым кристалдары енгізіледі.

Сыйымдылық кристаллизаторларының кемшілігі-жылу алмасудың салыстырмалы түрде кішкентай беті. Салқындату қарқындылығын арттыру үшін сыйымдылық аппараттарында кейде салқындатқыш катушкалар, түтікшелер, сондай-ақ әртүрлі айналмалы салқындатқыш элементтер (барабандар, дискілер және т.б.) орналасады[43,44].

Үздіксіз кристалдану үшін сыртқы салқындатқыш күртешемен жабдықталған көлденең, құбырлы немесе бұрандалы кристаллизаторлар жиі қолданылады. Бұл құрылғылардың ішіне әдетте кристаллдарды араластыруға және тасымалдауға арналған шнек орналастырылады. Бастапқы ерітінді бір ұшынан беріледі, ал дайын суспензия кристаллизатордың қарама-қарсы ұшынан шығарылады. Құбырлы кристаллизаторлардың ұзындығы көбінесе 30-40 м-ге жетеді. осы ұзындықпен олар әдетте ұзындығы 6-8 м болатын жеке бөлімдерге бөлінеді.

Үздіксіз жұмыс істейтін аппараттарға тік типті дискілі кристаллизаторлар да жатады. Мұндай кристаллизаторлар хладагент сақиналы арналар арқылы қозғалатын қуыс дискілерден тұрады. Дискілер пакетке жиналады және суспензияны араластыруға арналған қырғыштар орналасқан білік өтетін орталық тесік бар. Ерітінді әдетте аппараттың үстіне түседі, нәтижесінде пайда болған суспензия интерстициальды кеңістіктерден өтіп, құрылғының түбінен шығарылады.

Су ерітінділерінен заттардың үздіксіз кристалдануы үшін сыртқы салқындатқыш курткасы бар барабан кристаллизаторлары жиі қолданылады, олардың дизайны айналмалы барабан кептіргіштеріне ұқсайды. Мұнда бастапқы ерітінді аппараттың бір ұшынан беріледі, ал дайын суспензия екіншісінен шығарылады.

Су ерітінділерінен бейорганикалық тұздарды кристалдану үшін кристалдардың қабаты бар циркуляциялық кристаллизаторлар да қолданылады. Мұндай кристаллизаторлар әдетте кристалл таратқыштан, жылу алмастырғыштан, айналым сорғысынан тұрады. Ерітіндіні салқындату әдетте түтікшелі жылу алмастырғышта жүзеге асырылады, сол жерден қаныққан ерітінді кристалл таратқыштың түбіне түседі. Кристалдардың өсуі тоқтатылған қабатта жүреді. Арқылы өтіп, қабат, маточник және циркуляциялық құбырға оралып, жылу алмастырғышқа барады.

Салқындатқыш кристаллизаторлардың конструкцияларының неғұрлым егжей-тегжейлі сипаттамасы, сондай-ақ олардың жұмысының ерекшеліктері монографияларда келтірілген.

Әр түрлі кристаллизация әдісін сипаттау үшін аппараттарда монографияларда ұсынылған бірқатар теориялық модельдер ұсынылған. Жұмыстың едәуір бөлігі әртүрлі қоспаларды бөлуге және олардың ерітінділерінен заттардың бөлінуіне қатысты осы процесті тәжірибелік зерттеулерге арналған. Бұл зерттеулердің нәтижелері монографияларда ішінара жинақталған[45,46].

2.1.2 Бөлінетін қоспаның хладагентпен тікелей жанасуы кезіндегі кристалдану

Сыртқы жылу сорғымен кристалдану процесінің кемшіліктерінің бірі-салқындату жылдамдығы төмен, бұл көбінесе жабдықтың жұмысын шектейді. Қоспаларды салқындату кезінде кристалдану процесінің қарқындылығын ерітіндінің сұйық, газ тәрізді немесе буланған салқындатқышпен тікелей байланысы арқылы едәуір арттыруға болады. Бұл әдіс дамыған интерфазалық бетке және кристалданған ерітіндінің қарқынды араластырылуына байланысты жылу мен масса алмасудың жоғары қарқындылығымен сипатталады. Бұл әдіс кристалданатын ерітінді мен салқындатқыш (0,5-2,0 °C) арасындағы температураның шамалы айырмашылығымен процесті жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл процестің артықшылығы, бұл жағдайда кристаллизаторларда жоқ.

Жылу өткізгіштігі төмен материалдардан (полимерлер, шыны, керамика және т.б.) аппараттарды дайындау мүмкіндігі пайда болады. Қарастырылған процестің кемшіліктері де бар: кристалды өнімдерді салқындатқышпен ластау мүмкіндігі; пайдаланылған салқындатқышты бөлу өнімдерінен бөлудің қосымша операциялары пайда болады.

Су ерітінділерінен бейорганикалық заттардың контактілі кристалдануы кезінде хладагент ретінде әдетте бастапқы ерітіндімен араласпайтын әртүрлі органикалық сұйықтықтар қолданылады. Бастапқы ерітінді мен салқындатқыштың ағындарының қатынасына, олардың физика-химиялық қасиеттері мен жұмыс жағдайларына байланысты кристалдану процесі үздіксіз немесе дисперсті фазаларда жүруі мүмкін. Дисперсті фазада кристалдану кезінде бастапқы ерітінді салқындатқыш ағындағы тамшылар түрінде таралады. Үздіксіз фазада кристалдану хладагентті кристалданатын ерітіндіге тарату арқылы жүзеге асырылады. Бұл жағдайда процесс мерзімді және үздіксіз режимдерде жүзеге асырылуы мүмкін[47,48].

Мерзімді процесс әдетте сыйымдылық аппараттарында жүзеге асырылады. Бұл жағдайда бастапқы ерітінді аппаратқа бірнеше қызып тұрған күйде құйылады. Әрі қарай, үздіксіз араластыра отырып, тарату коллекторлары немесе саптамалар арқылы біртіндеп кристаллизаторға бөлудің (салқындатудың) белгіленген температурасына жеткенге дейін

салқындатқыш беріледі. Кейбірден кейін алынған гетерогенді қоспаның үзінділері бөлінеді. Кристалдық фаза сүзу әдісімен бөлінеді, ал хладагент аналықтан тұндыру арқылы бөлінеді.

Сұйық хладагенттерді пайдаланумен контактілі кристалданудың үздіксіз процесі түрлі аппаратуралық рәсімдеуге ие. Ол әртүрлі сыйымдылық аппараттарында жүзеге асырылуы мүмкін. Үздіксіз контактілі кристалдану көбінесе салқындатқыш пен кристалданатын ерітіндінің ағынға қарсы қозғалысы бар Бағаналы типтегі аппараттарда жүзеге асырылады. Мұндай құрылғылар колонналық сұйық экстракторларға ұқсайды. Салқындатқышты кристалданған қоспадан неғұрлым толық бөлу үшін бұл құрылғылар әдетте тұндыру бөлімдерімен қамтамасыз етіледі.

Ерітінділерді кристалдау үшін газ тәріздес хладагенттер сұйық және буланатын хладагенттерге карағанда едәуір аз пайдаланылады. Бұл мұндай салқындатқыштардың жылу мөлшері өте төмен екендігіне байланысты және процесті жүргізу үшін олардың айтарлықтай шығыны қажет. Сонымен қатар газ тәрізді хладагенттерді пайдалану процестің аппаратуралық рәсімделуін айтарлықтай жеңілдетеді, өйткені мұндай хладагенттер кристалданатын ерітіндіден оңай ажыратылады.

Буланатын хладагенттерді пайдалану кристалдану процесін айтарлықтай қарқындатуға мүмкіндік береді. Әсіресе, мұндай процесс ерітінділерді шоғырландыру және теңіз суын мұздату арқылы тұзсыздандыру үшін қолданылады. Буланатын хладагенттер ретінде бутан, изобутан, бутилен, хлорлы метил, фреондар және т.б. қолданылады[49].

Мұндай процесті жүзеге асыру кезінде салқындатқыш жабық тізбекте үздіксіз айналады. Сұйылтылған хладагент ерітіндімен жанасқанда, ол қарқынды буланып, ерітіндіні салқындатады. Алынған жұптар кристаллизатордан шығарылады, сығылады, конденсацияланады және қайтадан кристаллизаторға қайтарылады. Мұндай процесті жүргізу үшін әртүрлі жабдықтар қолданылады.

Контактілі кристалдану процестерінің математикалық сипаттамасы және оларды есептеу ерекшеліктері келтірілген. Осы үдерістің эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері монографияларда ішінара жинақталған.

2.2 Кристалдану әдістері

Ерітінділердің буланған кристалдануы кезінде еріткішті ішінара айдау арқылы қанықтыруға қол жеткізіледі. Мұндай процесс кейде изотермиялық кристалдану деп те аталады, өйткені бұл жағдайда ерітіндінің булануы тұрақты температурада жүзеге асырылады. Булану кристалдануы ерігіштігі температураға аз тәуелді заттар үшін пайдалы.

Дизайн бойынша буланған кристаллизаторлар кристалды суспензияның Шығыс түйінімен толықтырылған қарапайым буландырғыштарға ұқсайды.

Әдетте мұндай кристаллизаторлар қыздыру камерасынан, сепаратордан, айналым түтігінен және кристалды бөлгіштен тұрады. Бұл жағдайда буланған кристаллизаторлардың ішкі немесе сыртқы жылыту камерасы болуы мүмкін. Көбінесе буланған кристаллизаторлар үздіксіз режимде жұмыс істейді.

Буланған кристалдану процесінде ерітінді немесе кристалды суспензия әдетте ішкі немесе сыртқы контур бойымен айналады. Бұл жағдайда айналым ерітінді қыздыру камерасында қайнау температурасына дейін қызады. Алынған бу-сұйық қоспасы сепараторға түседі, онда қайталама булардың ерітіндіден бөлінуі орын алады. Еріткішті

ішінара айдау нәтижесінде ерітіндінің қанықтылығына қол жеткізіледі және кристалдану процесі жүреді. Сепаратордан өсіп келе жатқан кристалдар айналым түтігі арқылы аналық жасушамен бірге суспензия қалыңдататын Кристалл бөлгішке жіберіледі. Соңғысы аппараттан шығарылады және сүзуге беріледі. Ағартылған аналық без бастапқы ерітіндімен бірге жылыту камерасына жіберіледі.

Жылу алмасу беттерінің инкрустациясын болдырмау үшін қыздыру камерасының түтіктеріндегі ерітіндінің қозғалыс жылдамдығы кемінде 2 м/с болуы тиіс. Бұл жылдамдықты қамтамасыз ету үшін әдетте осьтік сорғылардың көмегімен ерітіндінің мәжбүрлі айналымы қолданылады. Егер инкрустацияны толығымен болдырмау мүмкін болмаса, онда жылыту камерасы мезгіл-мезгіл жуылады.

Кристалдардың біртекті құрамы бар ірі кристалды өнімді алу үшін буланған кристаллизаторлар қолданылады, олар кристалдардың өсуіне арналған арнайы бөлімдермен (кристалл таратқыштармен) жабдықталған. Бұл бөлімдерде белгілі бір мөлшерге дейін сұйылтылған күйдегі кристалдардың қосымша өсуі байқалады.

Көбінесе булану көп корпустық қондырғыларда жүзеге асырылады. Мұндай қондырғыларда жаңа жылыту буы әдетте тек бірінші корпустың жылыту камерасына беріледі. Келесі корпустарды жылыту алдыңғы корпустардың екінші буларын пайдалану арқылы жүзеге асырылады. Бұл жағдайда корпустардағы қысым біртіндеп бірінші корпусқа азаяды. Соңғы корпустар әдетте вакууммен жұмыс істейді. Соңғы корпустың екінші жұптары барометрлік конденсаторға жіберіледі. Бастапқы ерітінді бірінші корпусқа түседі, ал дайын суспензияны түсіру соңғы корпустан жүзеге асырылады. Процесті мұндай ұйымдастыру ерітінділерден заттардың кристалдануын жүзеге асыру үшін энергия шығынын едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

Булану кристалдану процесінде энергия шығынын едәуір азайтуға болады, сонымен қатар әртүрлі жылу сорғыларын қолдана отырып, шығарылған кайталама булардың жылуын ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді.

Вакуум-буланған кристалдану. Бұл кристалдану процесі қысымның төмендеуі арқылы еріткіштің бір бөлігін адиабатикалық буландыру арқылы, яғни өзін-өзі буландыру арқылы сыртқы жылу жеткізусіз жүзеге асырылады. Бұл жағдайда ерітіндінің физикалық жылуы еріткіштің булануына жұмсалады, бұл қалдық қысым кезінде ерітіндінің қайнау температурасына дейін салқындауға әкеледі. Бұл жағдайда концентрацияның жоғарылауына да, температураның төмендеуіне де байланысты болады. Буланатын еріткіштің мөлшері әдетте ерітіндінің жалпы массасының 10-15% құрайды.

Вакуум-кристаллизаторлар үлкен өнімділікпен ерекшеленеді, сондықтан олар көбінесе минералды тыңайтқыштар өндірісі сияқты көп тонналы өндірістерде қолданылады. Мұндай кристаллизаторлардың артықшылығы сонымен қатар ерітіндінің бүкіл жұмыс көлемінде біркелкі қанықтылығын қамтуы керек. Бұл құрылғының ішкі беттерін инкрустациялау мүмкіндігін күрт төмендетеді[50,2].

Вакуум-кристаллизаторларда жылу беретін беттердің болмауы оларды кез келген коррозияға төзімді материалдардан дайындауға мүмкіндік береді. Бұл жағдай көбінесе кристалдану жабдығын таңдауда өте маңызды. Мұндай құрылғылар мерзімді және үздіксіз режимде жұмыс істей алады.

Вакуум-кристаллизаторлар конструкциялық безендірудің алуан түрлілігімен ерекшеленеді. Мұндай кристаллизаторлар, әдетте, кристалданған ерітіндінің ішкі немесе сыртқы айналым тізбектеріне ие, бұл құрамы бойынша біртекті кристалды өнімдерді алуға

мүмкіндік береді. Бұл жағдайда айналым осьтік немесе центрифугалық сорғыларды қолдану арқылы жүзеге асырылады. Ірі кристалды өнімдерді алу үшін вакуум-буланған кристаллизаторлар, сондай-ақ буландырғыштар көбінесе арнайы бөлімдермен қамтамасыз етіледі, онда псевдооживленном қабатта кристалдар белгілі бір мөлшерге дейін өседі.

Вакуум-кристалдану қондырғыларының маңызды құрамдас бөлігі вакуумды құруға және ұстап тұруға арналған аппаратура болып табылады. Мұндай жабдыққа беттік және түйіспелі конденсаторлар, вакуум - сорғылар, барометрлік құбырлар, гидрокондырғылар және т.б. жатады. Вакуум-сорғылар ретінде әдетте эжекторлы бу ағынды сорғылар пайдаланылады.

Көп тонналы өндірістерде корпустар саны 3-тен 24-ке дейін болатын көп корпусты вакуум-кристалдану қондырғылары жиі пайдаланылады. Бұл жағдайда корпустардағы қысым бірінші корпустан екіншісіне біртіндеп төмендейді. Әр корпустың жоғарғы жағында беттік конденсаторлар орнатылады. Қыздырылған бастапқы ерітінді бірінші корпуста беріледі, онда ол қайнайды және өздігінен булану есебінен осы корпустағы қалдық қысымға сәйкес келетін температураға дейін салқындатылады. Бұл жағдайда пайда болған суспензия корпустардағы қысым айырмашылығына байланысты екінші корпуста түседі, онда ол қайтадан жартылай буланады және т. б.

Алынған кристаллизат (соңғы суспензия) соңғы корпустан барометрлік құбыр арқылы шығарылады. Булардың конденсациясы суық сумен жүзеге асырылады, ол корпустың барлық конденсаторларынан өтеді. Мұндай ағындарды ұйымдастыру кристалдану процесін жүргізуге энергия мен салқындатқыш судың шығынын едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

Вакуумдық кристалдану кезіндегі кристалды өнімнің шығымдылығын басқа әдістер сияқты материалдық және жылу баланстарының теңдеулерін бірлесіп қарастырудан анықтауға болады. Вакуум-кристалдандыру қондырғыларының жұмыс параметрлерін есептеу ерекшеліктері жұмыстарда келтірілген[45,40].

Тұздау әдісімен кристалдану. Жоғарыда айтылғандай, бастапқы ерітіндіге қарастырылып отырған жүйеде негізгі заттың ерігіштігін төмендететін затты қосу арқылы қанықтылыққа қол жеткізуге болады. Қосылған зат көбінесе тұздану агенті деп аталады. Ол сұйық, қатты немесе газ тәрізді болуы мүмкін. Ең жиі қолданылатын сұйық тұздану агенттері. Кристалданудың бұл әдісі көбінесе тұздану деп аталады.

Тұздау агенттері әртүрлі сипатта болуы мүмкін. Сонымен, Бейорганикалық тұздардың кристалдануы кезінде спирттер, кетондар және органикалық қышқылдар көбінесе тұздану агенттері ретінде қолданылады. Органикалық еріткіштерді Бейорганикалық тұздардың ерітінділеріне енгізу ерітіндіден тұз алу дәрежесін едәуір арттырады. Бұл процестің кемшілігі-мұндай тұздану агенттерінің салыстырмалы түрде жоғары құны, сондай-ақ оларды қалпына келтіру қажеттілігі.

Тұздау агенттері ретінде кристалданған тұзбен бірдей ионы бар заттарды қолдануға болады. Мұндай процестің мысалы-магний хлоридін немесе кальций хлоридін енгізу арқылы тұзды ерітінділерден NaCl тұздануы.

Қатты тұздау агенттерін қолданған кезде, соңғысы бастапқы ерітіндіде жақсы ерігіштікке ие болуы керек. Әйтпесе, шығарылған заттың кристалдары қатты тұздану агентінің бетіне түсуі мүмкін. Кейде тұздану агенттері көп компонентті ерітінділерден Қос тұздарды окшаулау үшін қолданылады. Органикалық заттарды шығару үшін су немесе минералды қышқылдардың сулы ерітінділерін тұздаушы зат ретінде пайдалануға болады.

Айта кету керек, тұздау процесі химиялық технологияда кеңінен қолданылғанымен, ол теориялық және тәжірибелік тұрғыдан әлсіз зерттелген. Тұздау агенттерін таңдау әдетте эмпирикалық жолмен жасалады.

2.3 Су ерітінділерін мұздату әдісімен шоғырландыру

Мұздату - фракциялық кристалдану әдістерінің бірі. Ол әдіс концентрацияның әр түрлі су ерітінділері, суды тұщыландыру, ағынды суларды қоспалардан тазарту және т. б. үшін қолданылады.

Термодинамикалық тұрғыдан алғанда, мұздату процесі әдеттегі фракциялық кристалданудан еш айырмашылығы жоқ болады. Оның басты ерекшелігі - бұл жағдайда ерітінділерді салқындату кезінде кристалдану процесі судың кристалдану өрісінде жүзеге асырылады. Мұз кристалдары пайда болған кезде жатыр ерітіндісіндегі ерітіндінің мөлшері артады және соның салдарынан ерітінділер кристалданады.

Ерітінділерді мұздату әдісімен шоғырландыру нәтижелері (алынған ерітінділердің шығуы мен концентрациясы) көбінесе су - ерітінді жүйесіндегі фазалық тепе-теңдік арқылы анықталады. Ерітінді ретінде әр түрлі бейорганикалық және органикалық тұздар, қышқылдар, сілтілер, қант, ферменттер және т.б. болуы мүмкін деп саналады. Бұл жағдайда ерітінділердің концентрациясының максималды дәрежесіне эвтектикалық кристалдану температурасына тең фракциялау температурасында қол жеткізіледі және фазалық тепе-теңдік диаграммасындағы эвтектикалық нүктенің жағдайына байланысты болып келеді[1,9,10].

Мұздату процесі әдетте келесі бөлімдерден тұрады: ерітіндінің кристалдануынан, алынған кристалды суспензияның бөлінуінен, кристалды фазаны (мұзды) жуудан және оны балқытудан.

Мұздату, ерітінділерден заттардың кристалдануының әдеттегі процесі сияқты, жылу алмасу беттері арқылы салқындатылған ерітіндіден жылуды кетіру арқылы өтіп, ерітіндіні сұйық немесе буланған салқындатқышпен тікелей араластыру арқылы, вакуум астындағы судың белгілі бір мөлшерін буландыру арқылы жүреді. Сондай-ақ алдын-ала мұздатылған ерітіндінің фракциялық балқу процесін қолдану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін болады. Мұздатудың осы әдістерінің біріншісі әртүрлі тағамдарды (шырындар, сыра, шарап, кофе, сүт өнімдері және т.б.), сондай-ақ биологиялық белсенді заттардың ерітінділерін шоғырландыру үшін жиі қолданылатыны белгілі. Суды тұщыландыру кезінде контактілі мұздату және вакуумдық кристалдану пайдаланылады.

Мұздату процесін жүзеге асыру үшін кристаллизаторлардың әртүрлі конструкциялары қолданылады: сыйымдылық, қырғыш, бұрандалы, бағаналы және т.б. түрлері кіреді. Мұздату процесінің әртүрлі технологиялық сызбаларының өте көп саны ұсынылып, олардың мақсаты бөлінген мұз кристалдарымен ерітінділердің жоғалуын азайту, тұзсыздандырылған судың сапасын жақсарту, сондай-ақ нақты энергия шығынын азайту болады.

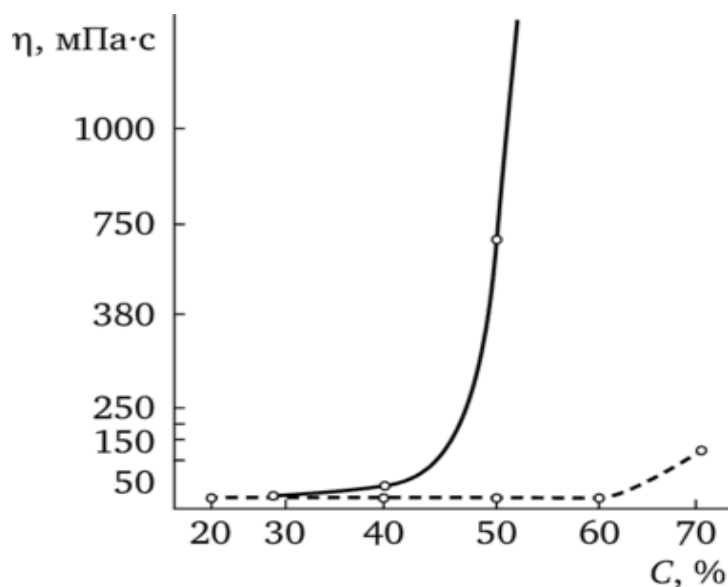
Ерітінділерді мұздату әдісімен бөлу кезінде жұмыстарда сипатталған көп сатылы қайта кристаллизацияның әртүрлі схемалары пайдаланылады.

Бұл процестің мәні жүйе берілген температурада сұйықтық күйінде қалуы жағдайында бос суды ішінара алып тастауда болады. Судан бөлу әдістері әр түрлі болуы мүмкін: мұздатылған, сұйықтық және бу түрінде.

Криоконцентрация кезінде бастапқы сүт шикізаттары теріс температураға дейін салқындатылып, су мұз кристалдары түрінде кристалданады, содан кейін сепараторларда бөлінеді. Мұздату кезінде сүттің құрамдас бөліктері аздап өзгереді. Бұл әдістің маңызды энергетикалық артықшылықтарына қарамастан, сұйықтықты буға айналдыру шығындары оны мұзға айналдыруға қарағанда көбірек болғандықтан, әдіс құрғақ заттардың мұзбен, жоғары капиталмен едәуір ысырабына байланысты қолдануды таппайды және өндірістік шығындар жеткілікті болады.

Фазалық түрлендірусіз, суды шикізаттан молекулалық фильтрлеуді қолдана отырып, кері осмосқа негізделген, целлюлоза ацетатынан немесе басқа материалдардан жасалған, кеуектерінің диаметрі 1-2 микроннан тұратын мембраналар арқылы 4 МПа артық емес қысыммен шығарады. Кері осмос көмегімен сіз сүтті 17% дейін, майсыздандырылған сүт пен сарысуды 31-35% құрғақ затқа дейін қоюлата аласыз. Осындай өңдеу кезінде қалыңдатылған шикізаттың бастапқы қасиеттері жеткілікті түрде сақталады, ал электр энергиясының шығыны біршама аз болады. Кері осмос қондырғылары шағын өндіріс аймағын алады және 4-тен 85 °C дейінгі температурада 20 сағатқа дейін үздіксіз жұмыс істейді. Көлем бірлігін қоюлату құны бұл жағдайда булану кезіндегіден 2-3 есе аз.

Кері осмос консервілер өндірісінде өнеркәсіпте кеңінен қолданыла бермейді, өйткені қазіргі кезде жартылай өткізгіш мембраналарды тиімді жуу және толық сүттің концентрациясы мәселелері шешілмеген. Нормаланған сүт қоспалары кері осмос қондырғысы арқылы өткенде гомогенді әсер байқалады, май түйіршіктерінің ақуыз-лецитин қабықшалары бұзылады, бос сүт майы түзіліп, өнім сапасы төмендейді (9 - суретте көрсетілген)[17,25].



Сурет 9. Өнім сапасының төмендеуі

Булану арқылы бастапқы қоспалардың қоюлануының негізінде булану жатыр. Атмосфералық қысым кезінде сүт 100,5 °C-та қайнайды. Бұл температурада сүттің құрамдас бөліктерінде қайтымсыз өзгерістер болады. 55 °C температурада қайнату арқылы

булану сүттегі қайтымсыз өзгерістермен жүрмейді. Тіпті тұтқырлық, электр өткізгіштік, беттік керілу сияқты қасиеттер бұл қыздыруға төзімді. Қайтымсыз өзгерістер 65 °C және одан жоғары қызған кезде ғана байқалады. Осылайша, сүт үшін буға айналу үшін оңтайлы қайнау температурасы сирек кездесетін кеңістікте қайнату кезінде қамтамасыз етілетін 55-дан 70 °C-қа дейін болады, бұл кезде қайнаған сұйықтықтың будың ішінара қысымы оған әсер ететін жалпы қысымнан асып түседі.

Сүт пен сүт өнімдері адамның тамақтануында маңызды рөл атқарады. Олар денені теңдестірілген және жеңіл сіңімді белоктармен, майлармен, көмірсулар, минералдар мен дәрумендер. Институттың ұсыныстары бойынша Ресей Федерациясы Медицина ғылымдары академиясының тамақтануы сүт өнімдерін күнделікті тұтыну тағамның жалпы көлемінің 30% құрауы керек. Алайда, сүт - бұл даму үшін өте қоректік орта микроорганизмдер және бактериялық және ферментативті тозуға ұшырайды. Оны сақтау мерзімі тіпті салқындатылған күйде де ол сағатпен есептеледі[7,17].

3 Әдеби шолуды талдаудан алынған қорытындылар

Төмен температуралы концентрациялау әдісімен су ерітінділерін концентрациялау мәселелері бойынша әдебиеттерді талдау мынадай қорытынды жасауға мүмкіндік береді:

- төмен температуралы концентрация процестері химиялық, микробиологиялық, тамақ және басқа салаларда әртүрлі су ерітінділерін кристалдандыру үшін кеңінен қолданылады;

- жарияланымдардың едәуір санына қарамастан, бұл процесс теориялық және эксперименттік аспектілерде әлі күнге жеткілікті зерттелген жоқ;

- бөлу процесінің тиімділігіне әртүрлі технологиялық факторлардың әсерін анықтауда осы процесті эксперименттік зерттеулердің жеткіліксіз болды. Бұл әсіресе алынған кристалды суспензияның бөліну сатысына байланысты.

4 БАСТАПҚЫ ШИКІЗАТ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТЕР ЖҮРГІЗУ ӘДІСТЕМЕСІ

4.1 Бастапқы шикізат пен аппараттардың сипаттамасы

Тәжірибелер бейорганикалық су ерітінділерін қолдану арқылы жүргізілді NaCl , NaNO_3 тұздары және табиғи сулы ерітінді – сүт өнімдері (сүт және қымыз).

Су - еріткіш, қалыпты жағдайда сұйық болып келеді.

NaCl (натрий хлориді). Ас тұзы суда қиын ериді, ерігіштік температураға аз тәуелді болады: ерігіштік коэффициенті NaCl -дің (100 г суға граммен) + 21 °C-та 35,9 және 38,1 +80 °C та.

NaNO_3 (натрий нитраты). Өнеркәсіптегі таптырмас қосылыс және ол өте кең қолданылады.

Сүт – тамақ өндірісінде кең қолданылатын сұйықтық.

Қышқылдығы – 16 - 18 Т

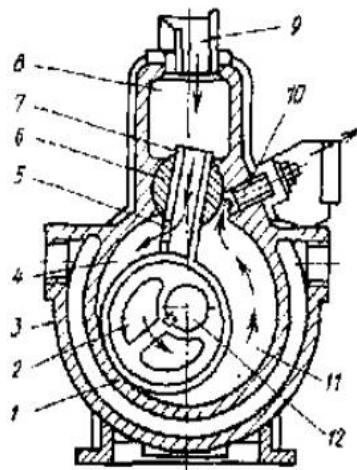
Тұтқырлығы – 1,67 – 2,18сП

Тығыздығы – 1,027 – 1,032г/см³

Қымыз - қышқыл сүт өнімі.

Вакуумдық сорғы. Вакуумдық сорғылар суды соруға арналған сорғы жабдықтарының арнайы түріне жатады, алайда олар герметикалық қуыстардан газды немесе сұйықтықты газбен араластыра алады. Мұндай қондырғылар көбінесе бақшаларды суару, сумен жабдықтау жүйелерін орнату немесе бассейндерден, жертөлелерден немесе жертөлелерден суды сору үшін қолданылады. Жабдықтың жоғары танымалдылығы оның тұрақты пайдалану қасиеттерімен және қызмет көрсетудің қарапайымдылығымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, вакуумдық сорғылар ұзақ уақыт бойы энергия шығынын болдырмайтын автономды жұмыс істеуге бейімделген.

Суды соруға арналған вакуумдық сорғының жұмыс принципі басқа ұқсас қондырғылардың принципіне ұқсас – ол ығыстыруға негізделген. Сұйықтық су ұңғымасынан алынады, ал жұмыс камерасының өлшемдері өзгерген кезде су құбыры толтырылады. Вакуум мөлшері жұмыс кеңістігінің тығыздығына байланысты. Ол су құбыры жұмыс істеп тұрған кезде белгілі бір учаскелердегі қысым деңгейі сияқты реттеледі. Барлық вакуумдық сорғылар цилиндр тәрізді. Онда арнайы пышақтармен (импеллер) толықтырылған дөңгелегі бар білік бар. Бұл осындай қондырғылардың ең көп таралған түрінің негізгі элементі. Құрылғының жұмыс принципі - доңғалақтың қарапайым айналуы. Нәтижесінде пышақтар цилиндр қабырғаларына кететін суды жинайды. Орталықтан тепкіш күш пайда болады және сұйық сақина пайда болады. Онда вакуум пайда болады. Газ сақина мен пышақтар арасында қозғалады. Ол пышақтарда бос орындар көбейген кезде сорылады.



Сурет 10. Вакуумдық сорғы сызбасы

1 – плунжер; 2 – ротор; 3 – сорғы корпусы; 4 – сорғының сол жақ бөлігі; 5 – тесігі; 6 – алтындық; 7 – толық параллелепипед; 8 – жоғарғы камера; 9 – құбыр; 10 – клапан; 11 – сорғының оң жақ бөлігі

4.2 Аппараттық-технологиялық схеманың сипаттамасы

11 - суретте шоғырлану үдерісінің технологиялық қондырғысы көрсетілген. Шоғырлану екі негізгі түйіннен (циклдерден) тұрады. Кристалдау торабы скрабты кристалдаушы мен өсу резервуарын қамтиды. Пайда болған кристалда кристаллизатордың қабырғаларынан алынып кристалдарды мөлшерлерде (жетілу) ұлғайту үшін қажетті уақытты қамтамасыз ететін өсу камерасына түседі. Кристалдар кристалдану торабында қажетті мөлшерге жеткеннен кейін, олар поршень түріндегі жуу колоннасындағы концентраттан бөлінетін бөлу торабына жіберіледі. Үдеріс бастапқы өнімнің жаңа бөлігін өсу резервуарына енгізуден басталады. Онда өнім кристалдардың суспензиясымен араласады, ол өсу резервуары мен кристаллизатор арасында үздіксіз айналады. Пісіп жеткен кристалды жүзінді шаю бағанасына жіберіледі, онда поршеньдің көмегімен шоғырланған сұйықтық пен мұз кристалдарына бөлінеді.

Концентрацияланған сұйықтық жуу бағанасының түбінен шығарылады, ал жуылған мұз кристалдары колоннаның жоғарғы бөлігінен шығарылады. Мұз кристалдары балку контурында ериді және қондырғыдан таза су түрінде шығарылады.



Сурет 11. Шоғырлану үдерісінің технологиялық қондырғысы

Жуу колоннасының жұмыс істеу принциптері:

✓ **Толтыру.** Толтыру кезеңі поршеньді төмен жылжытудан басталады. Поршень үстіндегі кеңістік кристалдану контурынан суспензиямен толтырылады. Сонымен қатар поршень астындағы аймақтан сұйық қалдық кристалдану контурына қайта шығарылады немесе қондырғыдан концентрат ретінде шығарылады. Поршень жүрісінің циклі төменгі күйде аяқталады.

✓ **Фильтрлеу.** Енді поршень мен кристалды қабат арасындағы көлем кристалды суспензияға толы. Поршень сұйық фазаны сүзгіш тор арқылы соруға мәжбүр етеді. Кристалдар тор арқылы өтуі мүмкін емес және жуу бағанасында қалады. Поршень өз жүрісін жалғастыруда, қолданыстағы кристалды қабатта кристалдардың жаңа қабаты қалыптасады.

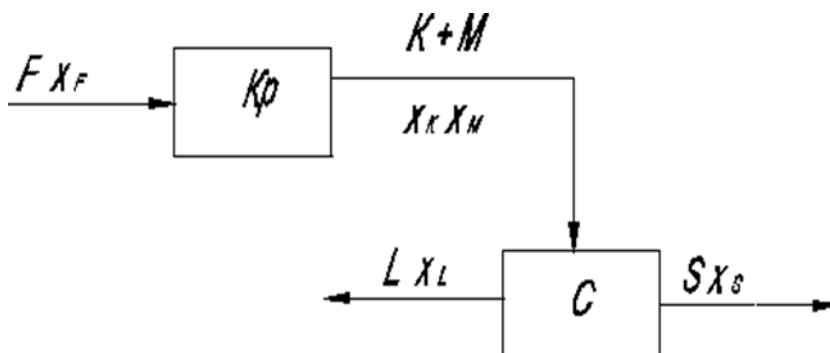
✓ **Шаю.** Поршень кристалды қабатқа қысым жасайды. Бұл кристалды қабат арқылы қысым айырмашылығын жасайды және балқу контурынан тазартылған сұйықтықты пышақпен диск тесіктері арқылы және кристалды қабат арқылы ағып кетуге мәжбүр етеді. Сұйықтықтың алдыңғы жағы төмен жылжиды.

4.3 Эксперимент жүргізу әдістемесі

Төмен температуралы шоғырландыру үдерісі үшін 12 - суретте көрсетілген схема қолданылды:

Фракциялық кристалдау әдісімен төмен температуралы концентрациялау екі негізгі сатыдан тұрады: бастапқы ерітіндінің кристалдануы және алынған кристалды суспензияның сепарациясы.

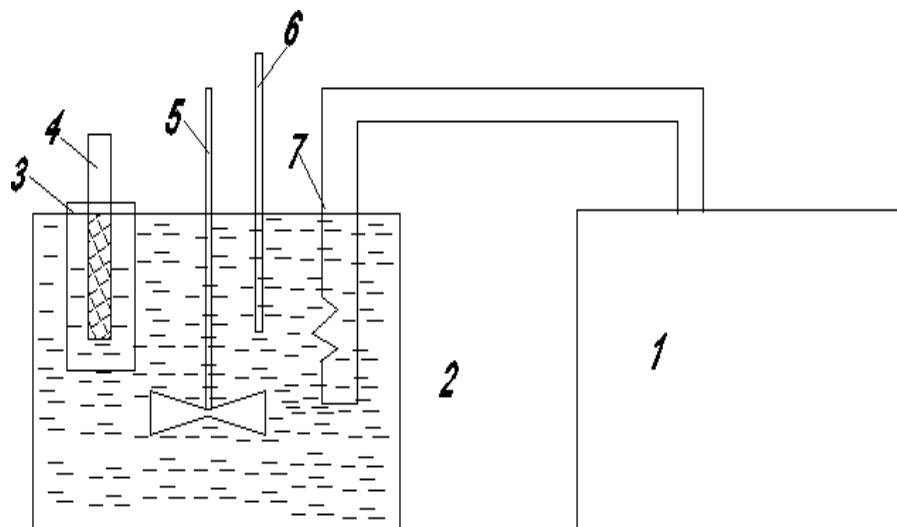
Эксперименттерде шоғырлану сатысы екі жолмен жүргізілді.



Сурет - 12. Центрифуганы бөлу факторының ротордың айналу жиілігіне тәуелділігі

а) бірінші жағдайда шоғырлану үдерісін минус 12-13°C деңгейінде температура ұстап тұрған мұздатқыш камерада жүргізілді. Салқындату кезеңінің ұзақтығы әдетте 18-24 сағатты құрайды. Осыдан кейін кристалдысуспензия бөлінеді.

б) екінші жағдайда тәжірибе зертханалық эксперименталдық қондырғыда жүргізілді (12- сурет).



I - тоңазытқыш қондырғы; 2 - термостат; 3 - кристалдауға арналған ыдыс; 4 - термометр; 5 - араластырғыш; 6 - контактілі термометр; 7-алғашқы хладагентке (фреон) арналған змеевик.

Сурет 13. Криоконцентрлеу үдерісін жүргізу үшін орнату схемасы

Құрылғы тоңазытқыш машинадан (1) және аралық хладагентке арналған ультратермостаттан (2) тұрады (13-сурет). Сұйық фреонның бірі-тоңазытқыш машиналар арқылы жылан тәрізді термостатқа орналастырылған буландырғышқа түседі (7). Буландырғыштың жылу алмасу беті $0,2 \text{ м}^2$ құрады, фреонның булануы нәтижесінде аралық хладагенттің салқындауы болады, ол ретінде 50% этиленгликоль су ерітіндісі пайдаланылды. Хладагенттің температурасын реттеу автоматты түрде жүзеге асырылды. Қондырғы тұрақты салқындату температурасында, салқындаудың такипрограммалық режимінде шоғырландыру үдерісін жүргізуге мүмкіндік берді.

Ерітіндіні шоғырландыру диаметрі 35 мм, биіктігі 70 мм, термотөзімді шыныдан жасалған цилиндрлік шыны ыдыста (3) жүргізілді. Кристаллизатор тікелей салқындатқыш агентке батырылды. Шоғырландыру үдерісінде ерітіндінің температурасын өлшеу (4) термометрмен жүргізілді. Шоғырланукезеңі аяқталғаннан кейін алынған суспензия бөлінді.

в) Сепарация сатысын қарапайым сүзу, вакуумдық сүзу және центрифугалау жүзеге асырды.

Қарапайым сүзу сүзгіш қағаздың көмегімен қарапайым стаканда жүргізілді.

Вакуумдық сүзгілеу қондырғысы Бюхнердің воронкасымен жабдықталған Бунзен колбасында жүргізілді. Сүзгі қалқасы ретінде капрон мата қолданылды. Вакуум ағынды сорғының көмегімен құрылды; ол әдетте 700 - 730 мм рт бағанды құрады. Суыту сатысынан кейін ерітінді кристаллизатордан құйғышқа түсірілді.

Суспензияны орталықтан тепкіш бөлу жағдайында WE1 маркалы жаңғыртылған зертханалық сүзгіш центрифуга пайдаланылды.

Центрифуга сүзгіш қалқа бекітілген төрт стаканмен жабдықталған. Центрифуга ротордың айналу жиілігін минутына 500-ден 4000 айналымға дейін өзгертуге мүмкіндік берді. Центрифуга таймермен және тахометрмен жабдықталған. Центрифугалаудан кейін бөлу өнімдері де қалыпты сүзілу жағдайында өлшеніп, талданды.

Бастапқы ерітінділер мен алынған өнімдерді талдау ИРФ-22 термостатирленген

рефрактометрiнiң және ОК-102 термостатирленген кондуктометрiнiң көмегiмен жүргiзiлдi. Талдаудың дәлдiгi 0,01% құрады. Концентрациялар мақсатты (ерiтiлген) компоненттiң салмақтық пайызы түрiнде көрсетiлген. Ерiтiндiлер мен бөлу өнiмдерiнiң массасы 0,1 г дәлдiкпен зертханалық таразыда өлшеу жолымен анықталды.

5 ТӨМЕН ТЕМПЕРАТУРАЛЫ ШОҒЫРЛАНУ ҮДЕРІСТЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

Осы үдерістің бірнеше әдістері эксперименталды зерттелді. Бұл ретте суспензияның бөліну (айыру) сатысының фракциялау тиімділігіне әсерін зерттеуге ерекше көңіл бөлінді.

5.1 Қарапайым сүзу әдісімен төмен температуралы концентрлеуді шоғырландыру

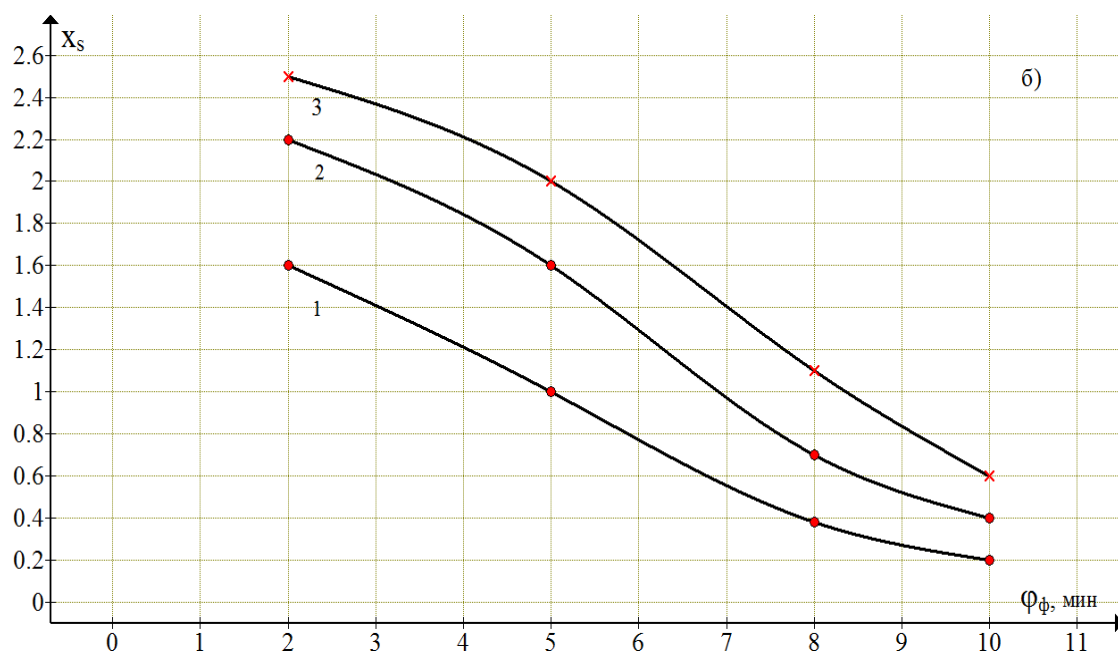
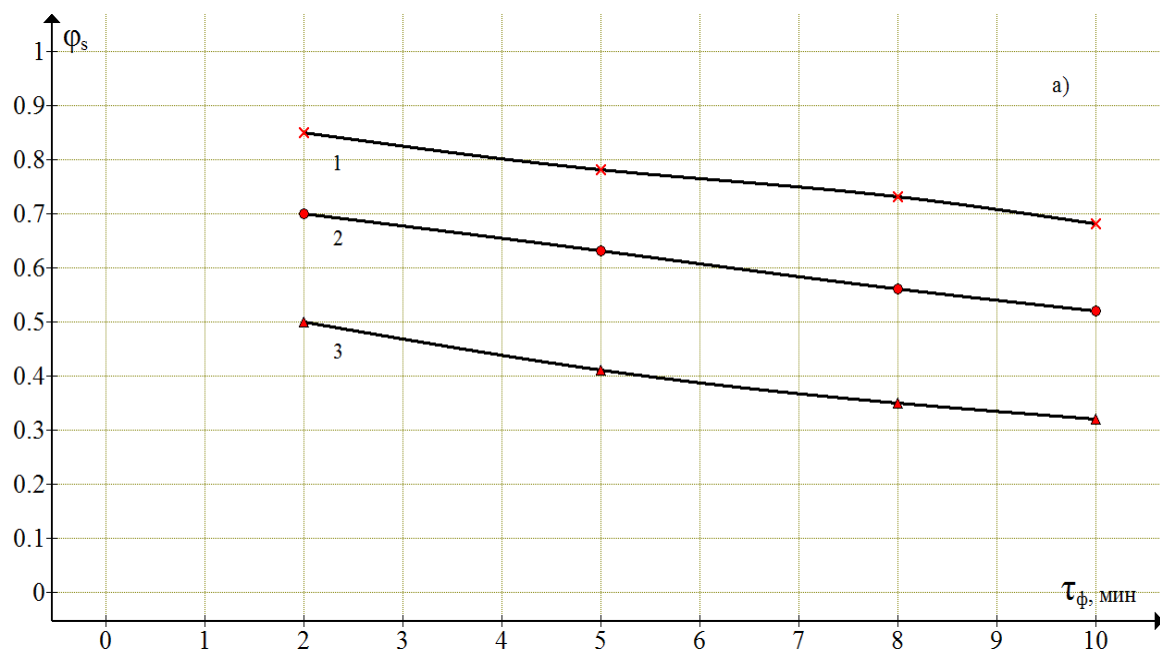
Бұл нұсқада шоғырлану сатысы мұздатқыш камерада жүргізілді, ал айыру сатысы қарапайым сүзу әдісімен жүзеге асырылды.

Жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, бұл жағдайда үдерістің негізгі технологиялық факторы сүзілу ұзақтығы τ_F болып табылады. Сонымен қатар, су - NaCl жүйесі үшін бөлу үдерісіне τ_F шамасының әсері көрсетілген, ал 3.6 - суретте су - NaNO_3 жүйесі үшін ұқсас мәліметтер көрсетілген. Кезең ұзақтығын арттыру бұл кристалды фракцияның шығымын азайтады ϕ_S (сурет 3.3,а) және тиісінше бөлінген аналық ерітінді шығымды арттырады ϕ_L , (сурет 3.6,а). Бұл екі факторлардың әсерімен байланысты. Біріншіден, τ_F ұлғаюымен аналық ерітіндінің кристалдық фазадан толық бөлінуі болады, ал екіншіден, сүзу үрдісінде сорылатын ауамен байланыс есебінен мұз кристалдарының жартылай балқуы болады. Мысалы, $x_F = 5\%$ NaCl ерітіндісінің бастапқы концентрациясы кезінде сүзілу ұзақтығының τ_F с 0-ден 10 мин-ға дейін артуы ϕ_S 0,23-тен 0,05- ке дейін төмендеуіне әкеледі. Осы себептерге байланысты біз τ_F ұлғайған кезде X_S кристалдарында тікелей компонент концентрациясының төмендеуін аламыз (3.3 б сурет).

Аталған себептерге байланысты кристалды фазаны ішінара балқытқан кезде аналық ерітіндінің сұйылтылуы болады (3.4 а және 3.6 б сурет), демек, оның шоғырлану дәрежесінің төмендеуі (3.4 б сурет) болып табылады. Бұл тұрғыда сүзілу ұзақтығын арттыру τ_F бөлу үрдісінің тиімділігін төмендетеді. Бірақ мұнда басқа факторды да ескеру керек: τ_F өсуімен кристалдық фазамен аналық ерітіндінің, мақсатты заттардың жоғалуы азаяды.

Бөліну үрдісіне бастапқы x_F ерітіндісінің концентрациясы елеулі әсер етеді. Тәжірибелер көрсеткендей, ұлғайту бастапқы концентрациясы кезінде өзге де тең жағдайларда туғызады төмендеуі шығу кристалдық фазаның ϕ_S (3.7 а сурет) және, тиісінше, аналық ерітіндінің шығуын ϕ_L арттырады. Бұл x_F концентрациясының өсуімен t_L қоспасы ликвидусының температурасы төмендеуімен және сәйкесінше, $\Delta t = t_L - \Theta$ шоғырлану үдерісінің қозғаушы күші азаюымен түсіндіріледі.

x_F концентрациясының өсуі сондай-ақ аналық ерітіндінің концентрациясының x_L (3.7 б сурет) және ерітілген затты алу коэффициентінің η_L (3.8 б сурет) заңды артуына әкеледі, бұл ретте N_L ерітіндісінің шоғырлану дәрежесі төмендейді (3.8 а сурет).



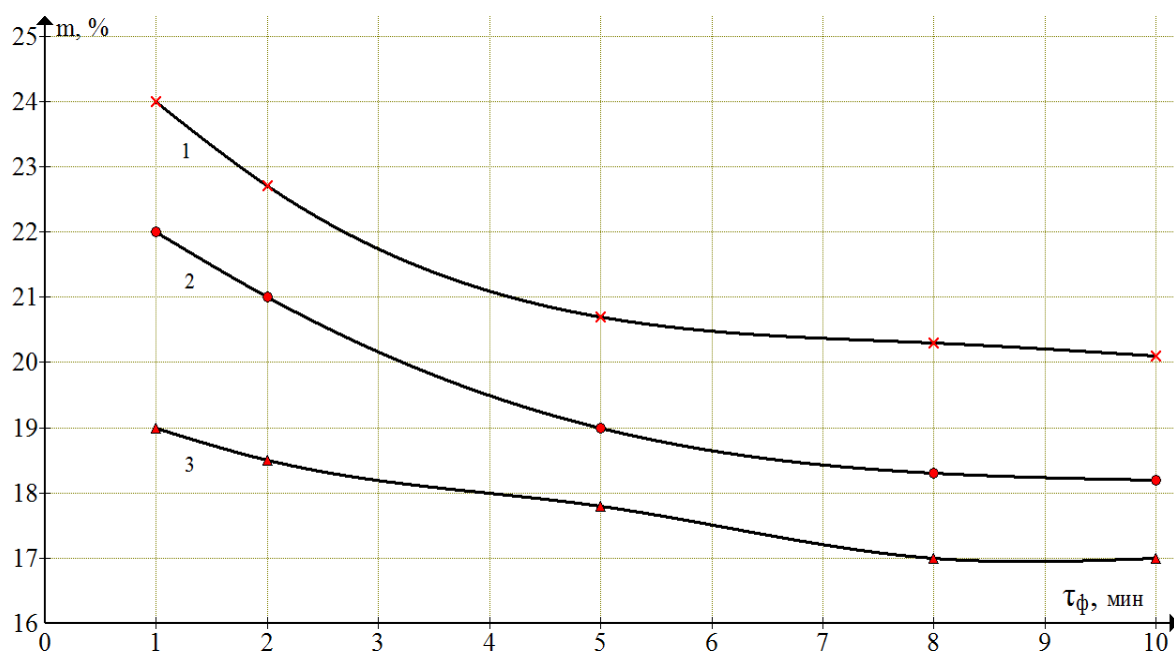
1- $x_F=5\%$ NaCl; 2 - $x_F=7\%$; 3- $x_F=10\%$.

Сурет 14. Кристалл фазасы кірісінің (а) және оның концентрациясының(б) сүзү сатысының ұзақтығына (су – NaCl жүйесі: $\Theta=-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) тәуелділігі



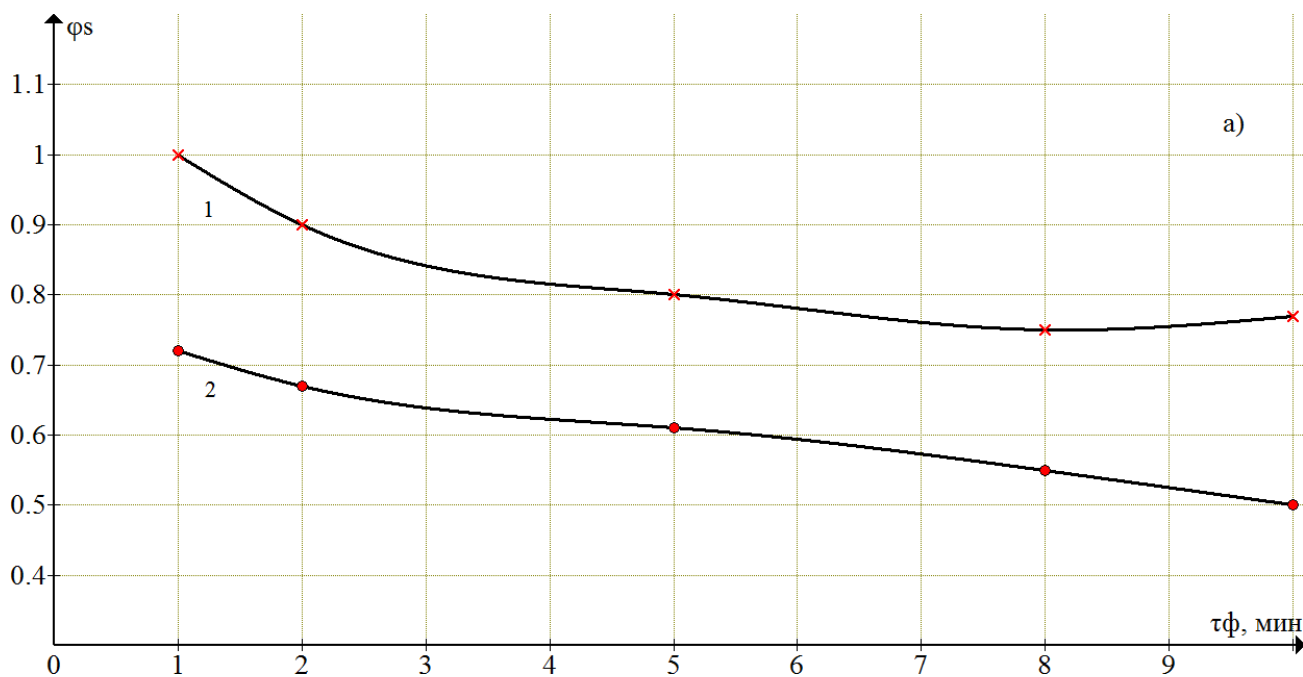
1- x_F =5 % NaCl; 2 - x_F - = 7 %; 3- x_F = 10 % .

Сурет 15. Аналық ерітінді концентрациясының (а) сүзу сатысының ұзақтығына тәуелділігі (жүйе.су-NaCl: $\Theta = -12,5^\circ\text{C}$)



1- x_F =5 % NaCl; 2- x_F = 10 %; 3 - x_F = 15% .

Сурет 16. Аналық ерітіндінің сүзу сатысының ұзақтығына тәуелділігі (су -NaCl жүйесі: $\Theta = -12,5^\circ\text{C}$)

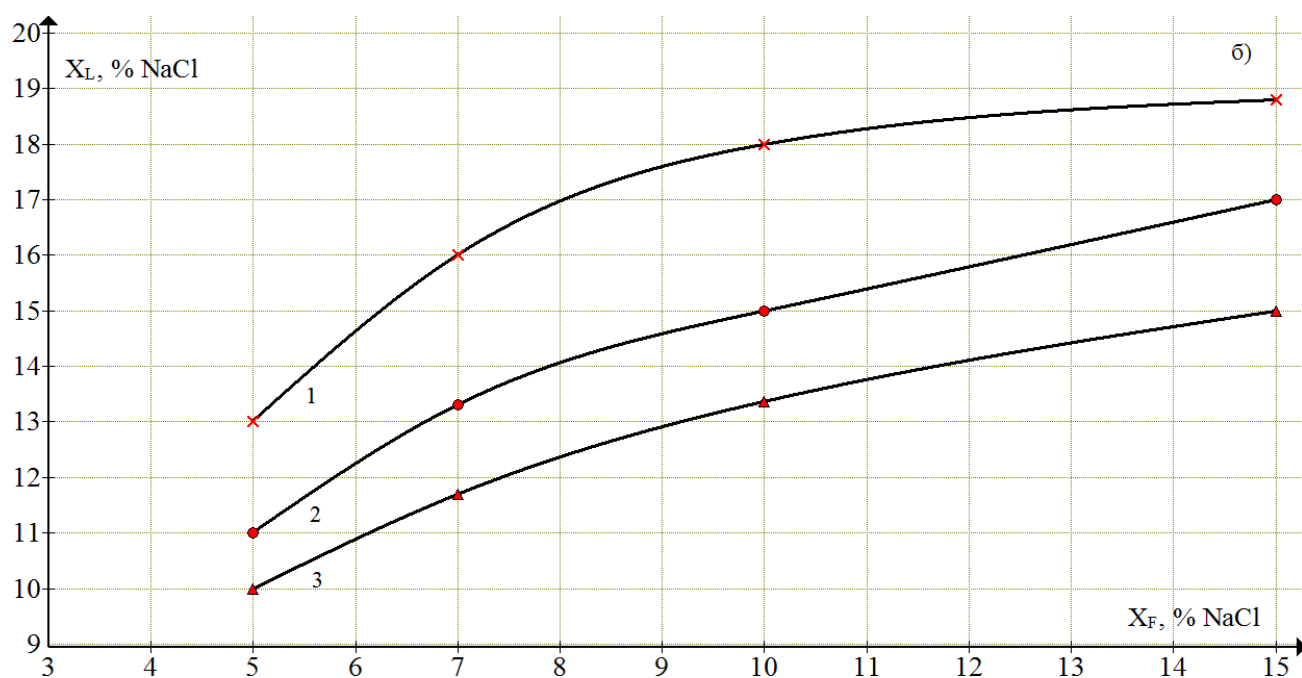
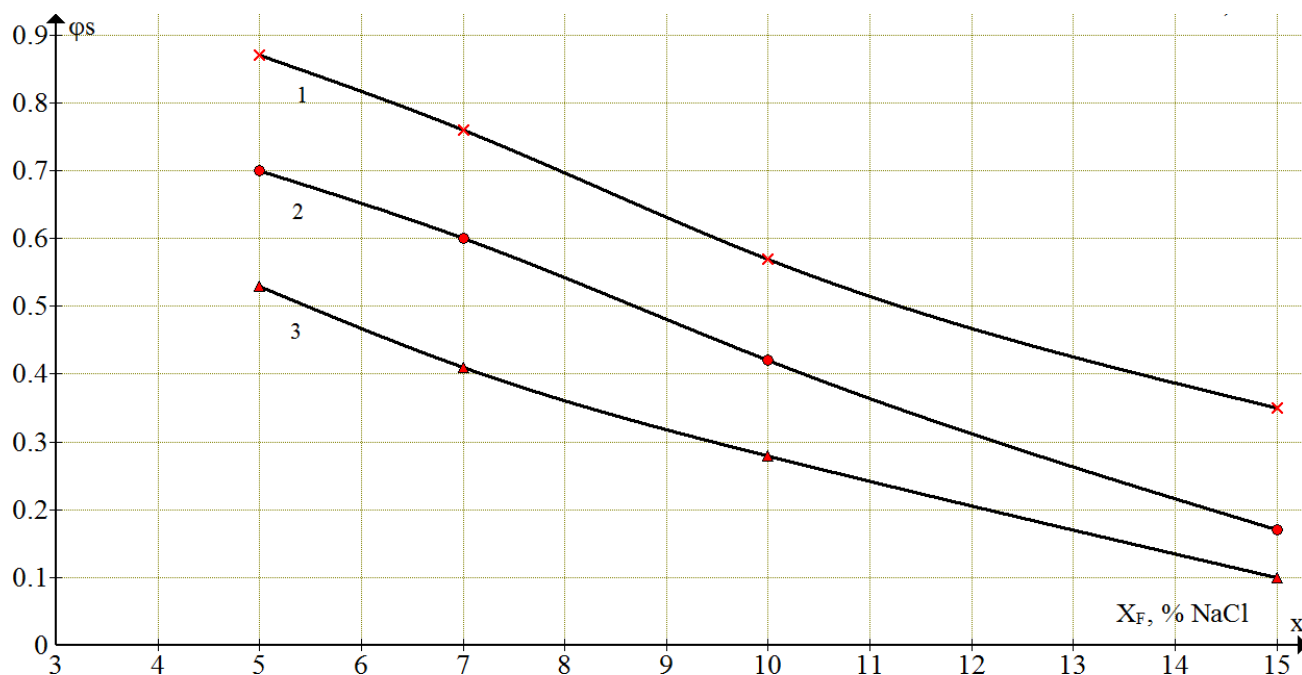


1 - N_L , 2 - ϕ_L .



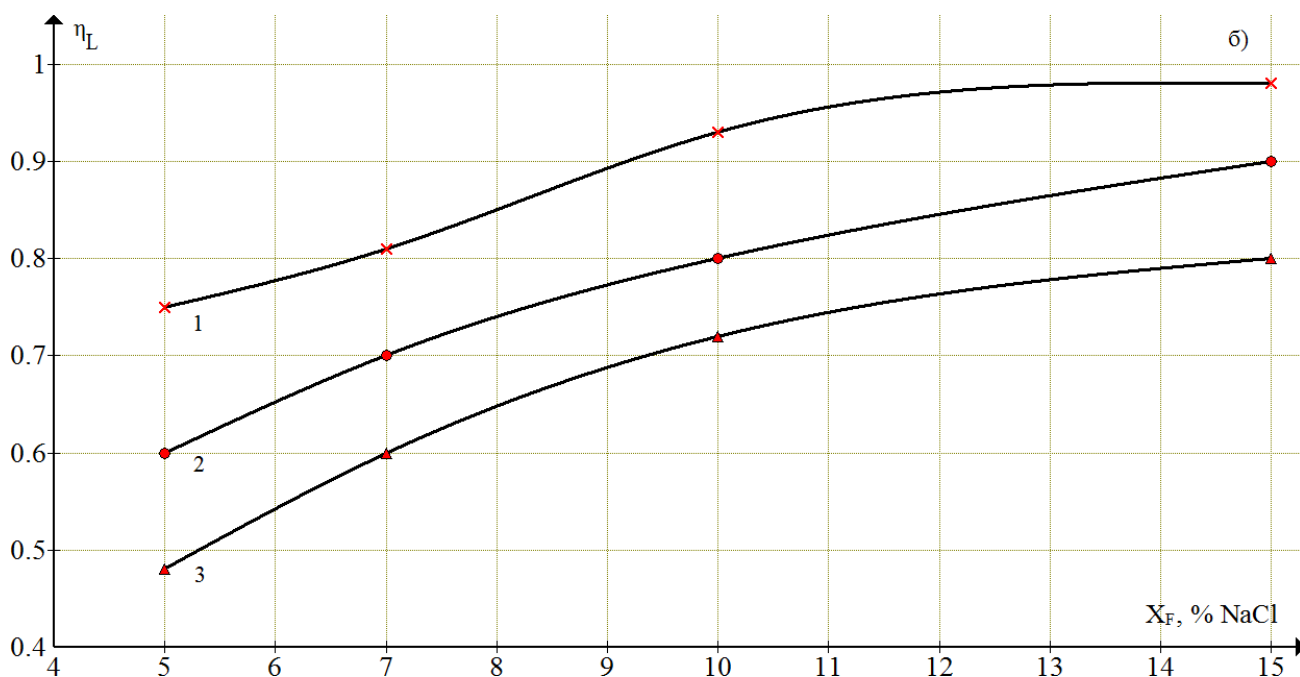
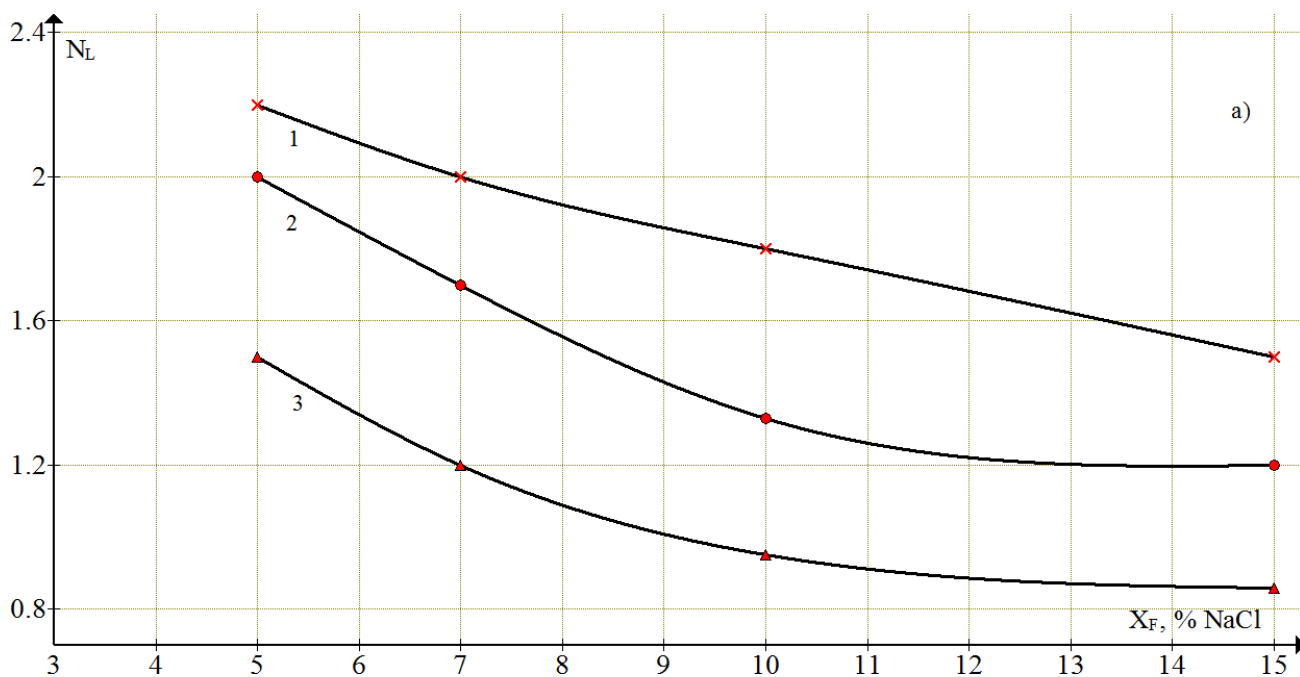
1 - m , 2 - x_L .

Сурет 17. Аналық ерітіндінің шығуының ϕ_L тәуелділігі, оның N_L шоғырлану дәрежесі, x_L аналық ерітіндінің концентрациясы және сүзу сатысының ұзақтығына m қармауыштың тәуелділігі (су- NaNO_3 жүйесі: $x_F = 20\%$)



1- τ_{Φ} = 3 мин; 2- τ_{Φ} = 5 мин; 3 - τ_{Φ} = 10 мин.

Сурет 18. Кристалдық фаза (а) шығуының және аналық ерітінді концентрациясының (Б) бастапқы ерітіндінің концентрациясына тәуелділігі (су-NaCl жүйесі: $\Theta = -12,5^{\circ}\text{C}$)



1- τ_{Φ} =3 мин; 2- τ_{Φ} = 5 мин; 3 - τ_{Φ} = 10 мин.

Сурет 19. Аналық ерітіндінің шоғырлану деңгейінің (А) және аналық бар мақсатты компонентті алу коэффициентінің (Б) бастапқы ерітіндінің шоғырлануына тәуелділігі (су-NaCl жүйесі: $\Theta = -12,5^{\circ}\text{C}$)

5.2 Ортадан тепкіш сүзу әдісімен төмен температуралы шоғырландыру

Концентрациялау үрдісінің осы нұсқасында шоғырлану сатысы мұздатқыш камерада жүргізілді, ал алынған суспензияны бөлу сүзгіш центрифуганың көмегімен жүзеге асырылды.

Бұл ретте келесі факторлардың бөліну үрдісіне әсері зерттелді: $\tau_{Ц}$ центрифугалау ұзақтығы, $n_{Ц}$ центрифугасы роторының айналу жиілігі және x_F ерітіндісінің бастапқы концентрациясы.

Су-NaCl жүйесінің бөліну үрдісіне $\tau_{Ц}$ шамасының әсері 20 - 22а суретте көрсетілген, ал шабдалы шырыны – 23-24 суретте көрсетілген.

Центрифугалау ұзақтығын ұлғайта отырып, ϕ_s кристалды фракцияның шығысы төмендейді (20 - 23 сурет). Бұл құбылыс вакуумдық сүзу сияқты екі факторлардың әсерімен түсіндіріледі.

Біріншіден, $\tau_{Ц}$ ұлғайғанда аналықтың кристалдық фазадан толық бөлінуі болады, ал екіншіден, центрифугалау кезінде ротор айналғанда қоршаған ауасы бар сүзгіш стакандардың сыртқы жылу алмасуы есебінен мұз кристалдарының жартылай балқуы болады.

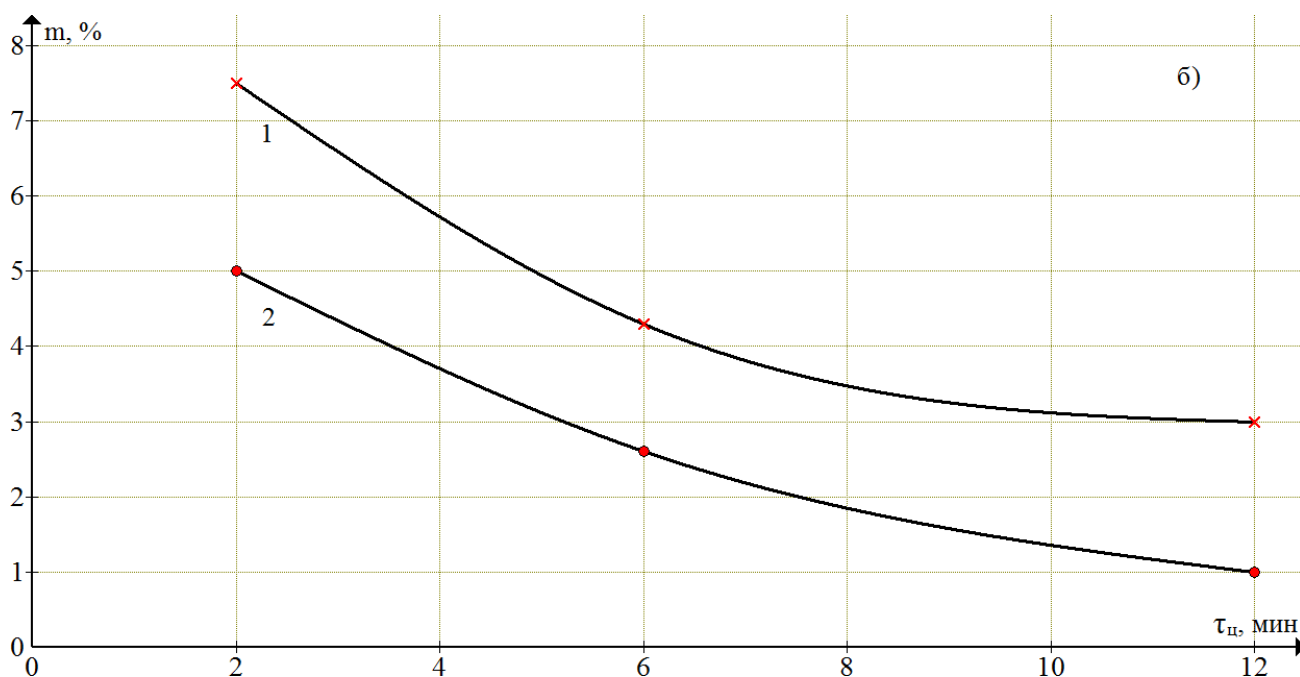
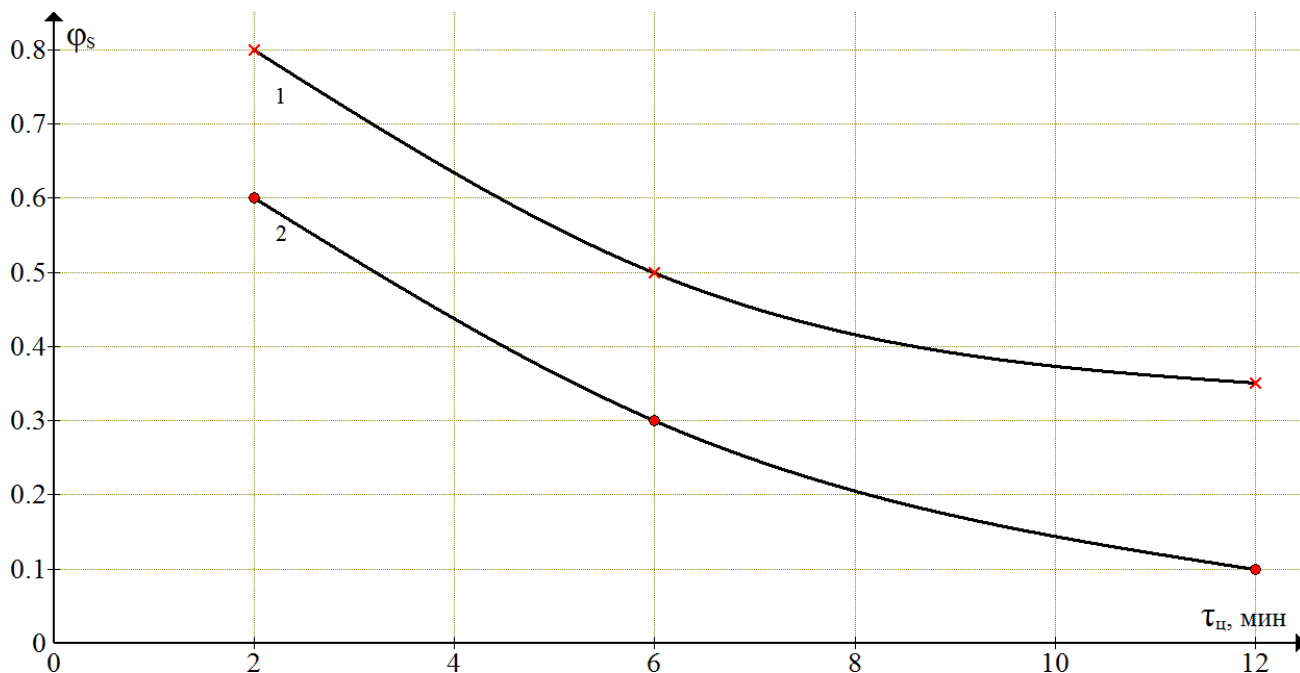
Ұлғайту $\tau_{Ц}$ аналық ерітіндіні шоғырландыру мақсатты компоненттің x_L және кристалдық фаза x_S төмендеуіне әкеледі (сурет 21 және 24), сондай-ақ N_L өсуіне мақсатты компоненттің коэффициентін η_L аналық ерітіндінің дәрежесін азайту болып табылады (21 және 24 сурет).

Ортадан тепкіш сүзу кезінде m кристалды фазамен аналық ерітіндіні қармау коэффициентінің шамасы 1-ден 7% - ға дейінгі диапазонда өзгерді, бұл әдеттегі сүзу үшін ұқсас мәндерден айтарлықтай төмен.

Пайдалану кезінде сепарация сатысында центрифугалаудың, сонымен қатар, үрдіс ұзақтығының, ротордың айналу жиілігінің үлкен мәні бар. Жүргізілген тәжірибе көрсеткендей, $n_{Ц}$ ұлғаюы бөліну үрдісіне шамамен τ_S шамасы сияқты әсер етеді. Ротордың айналу жиілігін (бөлу факторын) арттырғанда кристалды фазаның шығысы ϕ_s бірнеше азайтылады (3.1-кесте), бұл мұз кристалдарынан аналық ерітіндінің неғұрлым толық алыстығымен түсіндіріледі.

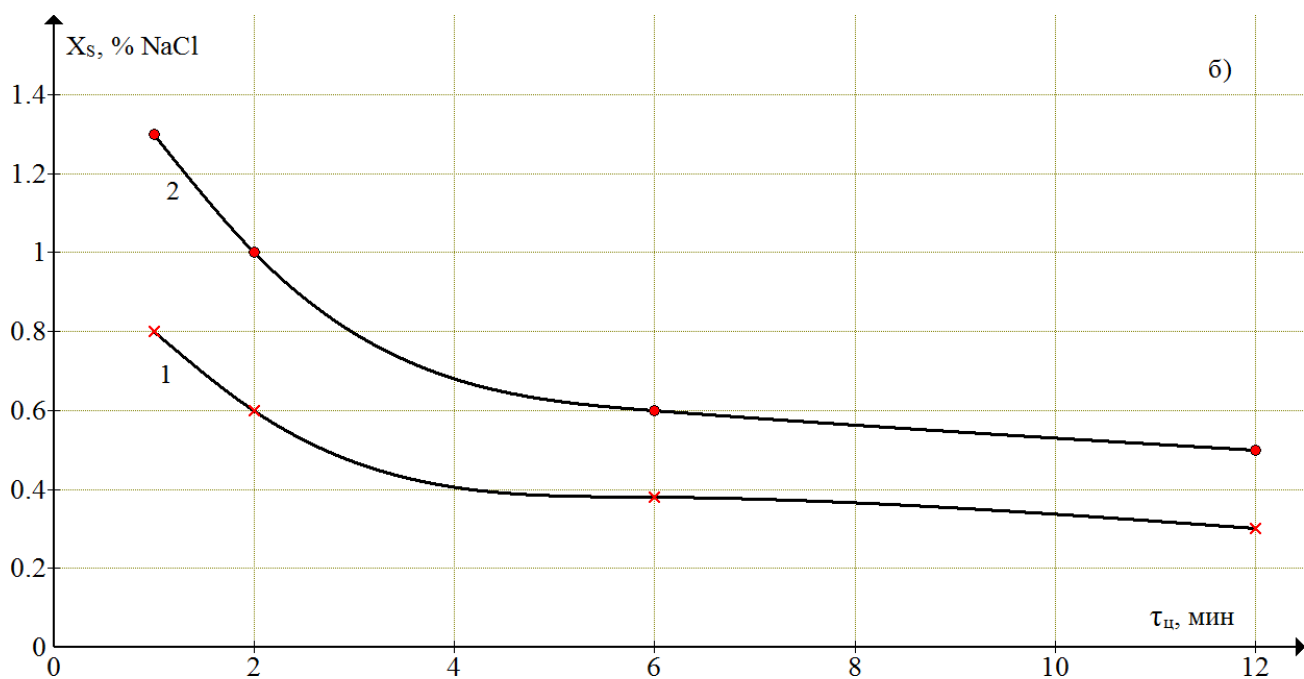
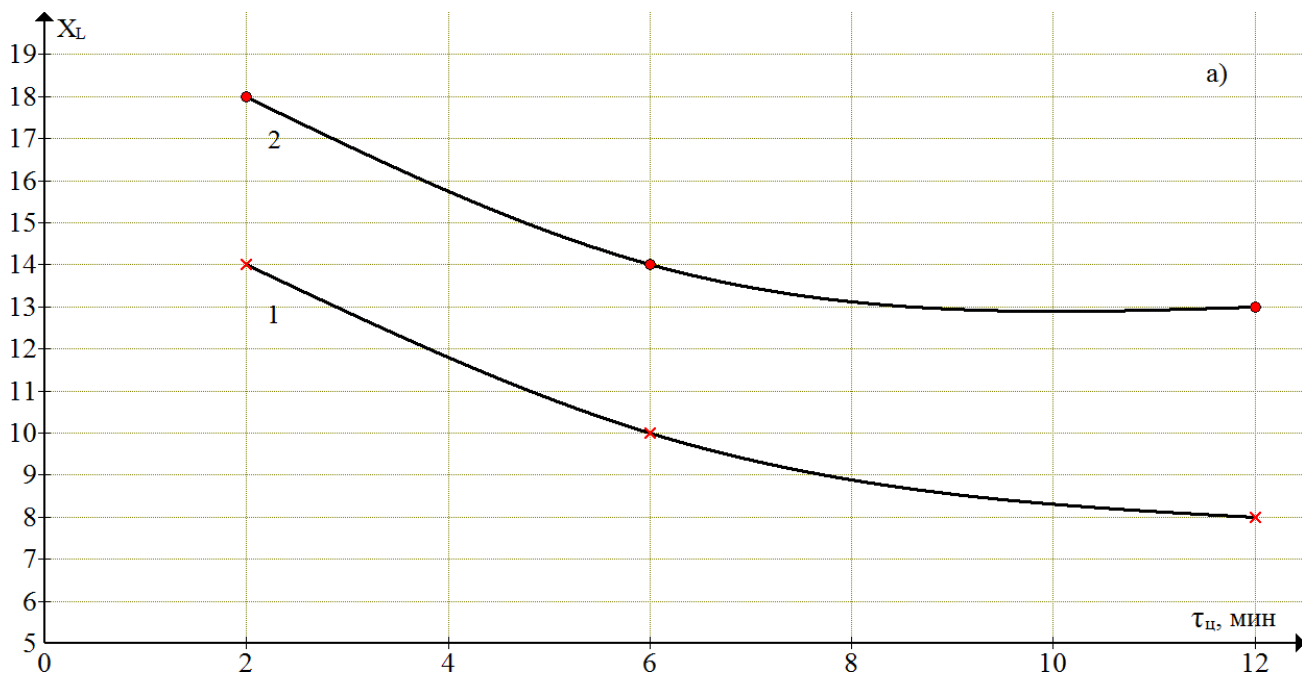
Ротордың айналу жиілігінің жоғарылауы ерітілген затты аналық ерітіндімен шығару коэффициентінің өсуіне әкеледі (3.3-кесте). Бұл әсіресе сұйылтылған ерітінділер аймағында көрінеді.

Сондай-ақ, әдеттегі сүзу сияқты бөлу үрдісіне бастапқы ерітіндінің құрамы күшті әсер етеді. x_F ерітіндісінің бастапқы концентрациясы ұлғайған кезде кристалды фазаның шығуы төмендейді (3.4-кесте). Сонымен бір мезгілде концентрация дәрежесі де төмендейді (3.4-кесте), алайда ерітілген затты шығару коэффициенті жоғарылайды.



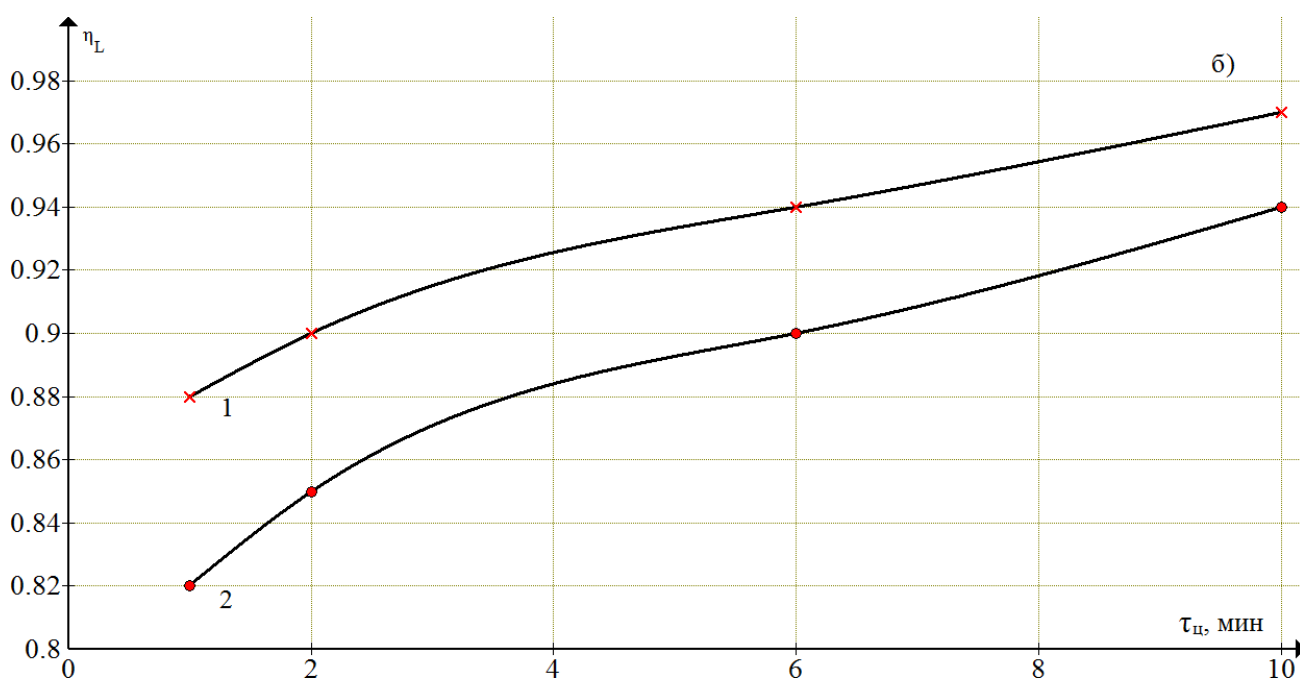
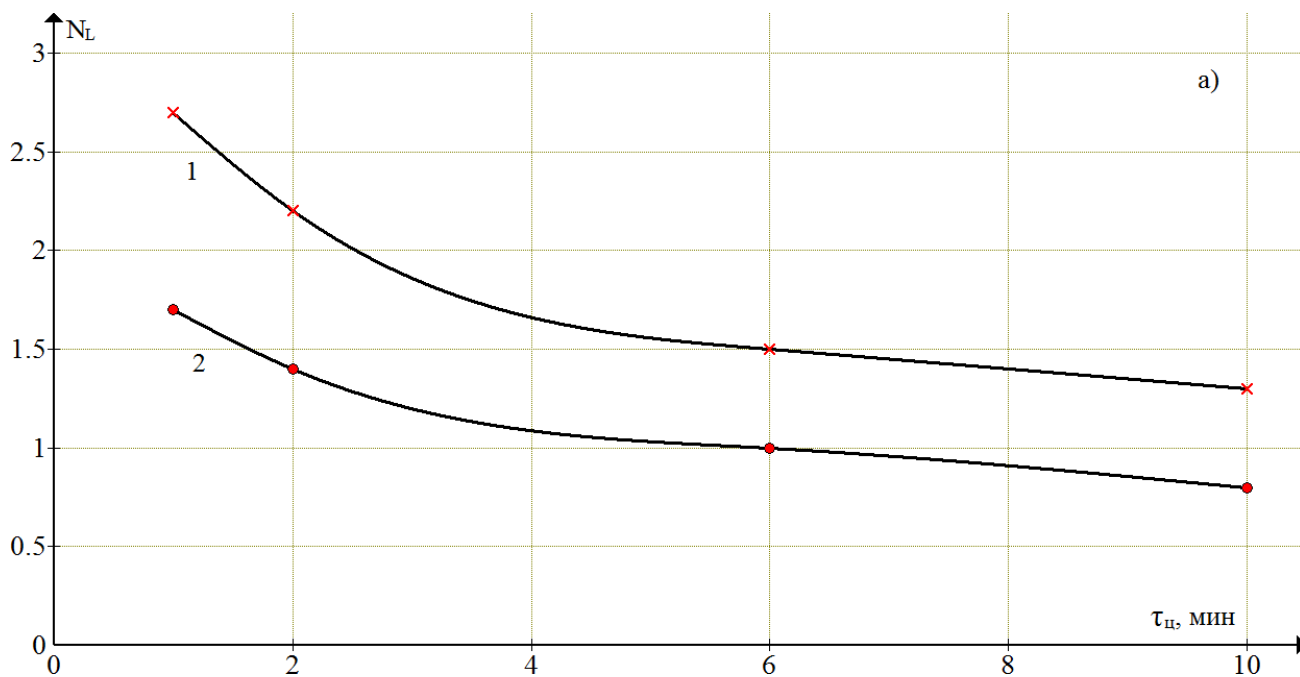
1- x_F = 5 % NaCl; 2- x_F = 10 % NaCl.

Сурет 20. Кристалдық фаза шығысының (А) және аналық ерітіндіні қармаудың (Б) сепарация кезеңінің ұзақтығына тәуелділігі (су жүйесі-NaCl: $\Theta = -13,0^\circ \text{C}$; $n_{\text{Ц}} = 2000$ айн/мин)



1- x_F = 5 % NaCl; 2- x_F = 10 % NaCl.

Сурет 21. Аналық ерітіндінің (а) концентрациясының және кристалды фазаның концентрациясының сепарация сатысының ұзақтығына тәуелділігі

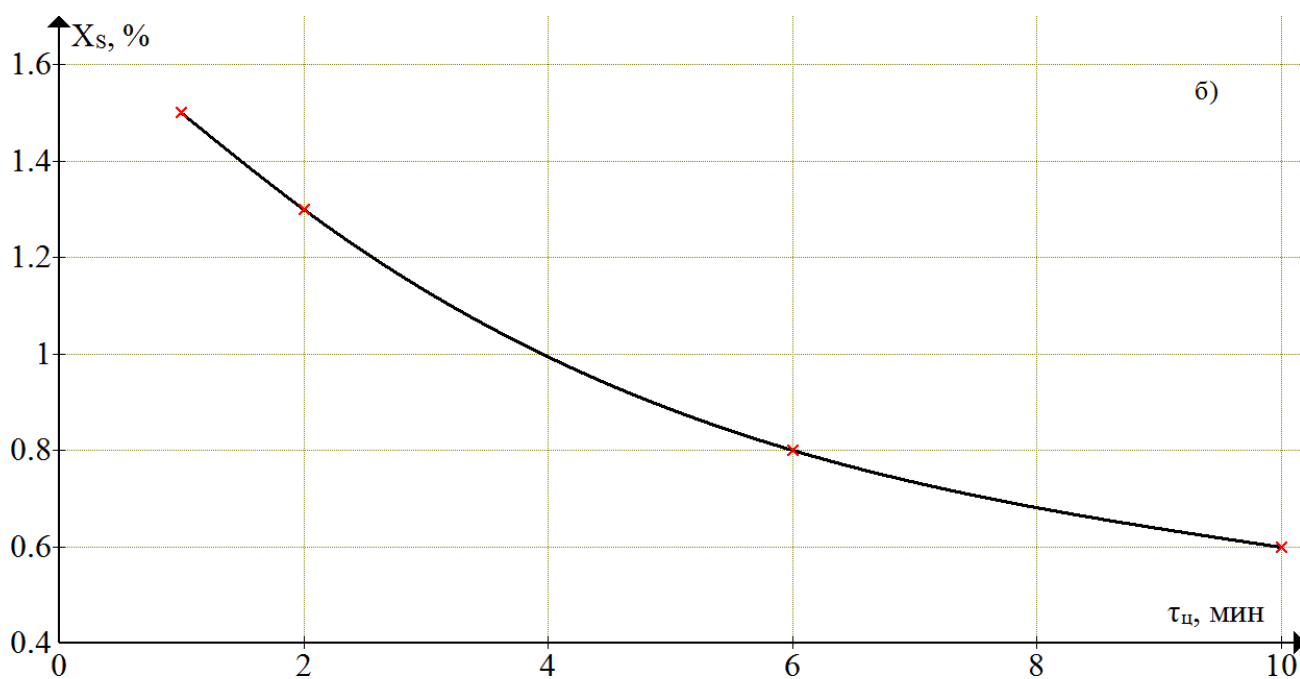


1- x_F = 5 % NaCl; 2- x_F = 10 % NaCl.

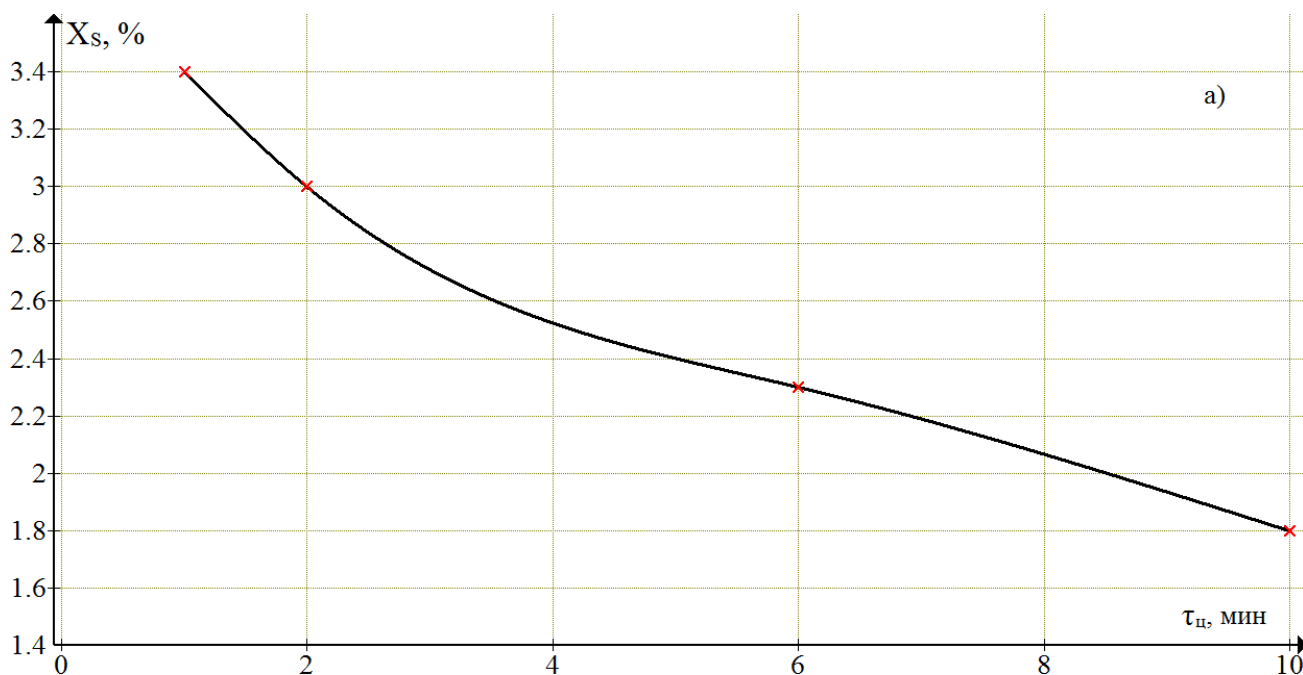
Сурет 22. Аналық ерітіндінің концентрациясы деңгейіне (а) және мақсатты компоненттің (б) бөліну коэффициентіне тәуелділігі



Сурет 23. Кристалды фаза шығысының (А) және аналық ерітіндіні қармаудың (Б) сепарация сатысының ұзақтығына тәуелділігі (сүт өнімдері: пЦ=2000 айн/мин.)



Сурет 24. Аналық ерітінді (а) концентрациясының және кристалды фазаның концентрациясының бөліп алу сатысына тәуелділігі (сүт өнімдері: $n_{ц}=2000$ айн/мин.)



Сурет 25. Аналық ерітіндінің шоғырлану дәрежесінің және мақсатты затты алу коэффициентінің (Б) айыру кезеңінің ұзақтығына тәуелділігі (сүт өнідері: $\tau_{ц}=2000$ айн/мин)

3.1 Кесте - кристалды фаза шығысының және аналық ерітіндіні қармаудың центрифуга роторының айналу жиілігіне тәуелділігі (су жүйесі-NaCl: $\Theta = -13^\circ\text{C}$, $\tau_{ц} = 3$ мин.)

n_s айн/мин	1000	2000	3000	4000
---------------	------	------	------	------

x_F	5 %			
φ_s	0,75	0,7	0,6	0,45
$m, \%$	5,2	5,0	3,5	2,3
x_F	10 %			
φ_s	0,52	0,4	0,38	0,33
$m, \%$	4,6	4,3	3,0	0,2

3.2 Кесте - центрифуганың роторының айналу жиілігіне аналық ерітінді концентрациясының және кристалды фазаның концентрациясына тәуелділігі (су - NaCl жүйесі: $\Theta = -13^\circ\text{C}$, $\tau_{Ц} = 3$ мин.)

n_s айн/мин	1000	2000	3000	4000
x_F	5 %			
$X_L, \% \text{NaCl}$	18	15,1	13,2	12
$X_S, \% \text{NaCl}$	0,7	0,68	0,46	0,25
x_F	10 %			
$X_L, \% \text{NaCl}$	13	12	11,3	10,1
$X_S, \% \text{NaCl}$	0,5	0,47	0,33	0,2

3.3 Кесте - аналық ерітіндінің шоғырлану дәрежесінің және мақсатты компонентті алу коэффициентінің центрифуга роторының айналу жиілігіне тәуелділігі (су - NaCl жүйесі: $\Theta = -13^\circ\text{C}$, $\tau_{Ц} = 3$ мин.)

n_s айн/мин	1000	2000	3000	4000
x_F	5 %			
$\eta_L, \%$	2,7	2,4	2,1	1,8
N_L	0,96	0,97	0,983	0,99
x_F	10 %			
$\eta_L, \%$	1,7	1,4	1,3	1,1
N_L	0,91	0,93	0,96	0,98

5.3 Вакуумдық сүзу әдісімен төмен температурада шоғырландыру

Бұл нұсқада шоғырлану сатысы тоңазытқыш қондырғысын пайдалана отырып жүргізілді, ал сепарация сатысы вакуумдық сүзу әдісімен жүзеге асырылды.

Осы тәжірибелердің мақсаты шоғырлану кезеңі режимдерінің бөліну үрдісінің тиімділігіне әсерін бағалау әрекеті болды.

Төмен температуралы шоғырлану үрдістерін зерттеу кезінде осы үдерісте кристалдау сатысын: салқындатқыш агенттің тұрақты температурасында $\Theta = \text{const}$ және $v = \text{const}$ тұрақты жылдамдықпен хладагент температурасының біртіндеп төмендеуінде.

3.3 Кесте - кристалдық фаза шығуының және аналық ерітіндінің шоғырлану дәрежесінің бастапқы ерітіндінің концентрациясына тәуелділігі (су - NaCl жүйесі: $\Theta = -13^{\circ}\text{C}$, $n_{\text{Ц}}=2000$ айн/мин)

$X_F, \% \text{NaCl}$	2	4	8	12
$\tau_{\text{Ц}}$	3 мин.			
φ_s	0,78	0,67	0,43	0,31
N_L	2,8	2,4	1,6	1,5
$\tau_{\text{Ц}}$	10 мин.			
φ_s	0,4	0,34	0,21	0,13
N_L	2,2	1,5	1,2	0,8

$\Theta = \text{const}$ тәжірибелерінде кристалданатын ерітінділерді салқындату үдерісінің кинетикасы зерттелді. 3.5 және 3.6-кестелерде салқындатқыш агенттің температурасының әр түрлі мәндері кезінде ерітінді температурасына тән кинетикалық қисықтары көрсетілген. Үдерістің басында ерітінді температурасының тез төмендеуі байқалады. Бұл ерітіндінің кристалдануының басталуына дейін (ликвидус температурасы) болады. Содан кейін салқындату жылдамдығы күрт баяулайды, бұл фазалық түрлену жылуының бөлінуіне байланысты болып табылады. Бұл ретте ерітіндінің температурасы біртіндеп салқындатқыш агенттің температурасына жақындайды («стационарлық күй» деп аталады).

3.4 Кесте - салқындату үдерісінде ерітінді температурасының өзгеруі (су - NaNO_3 жүйесі, $x_F = 5\%$)

τ , мин.	0	5	10	20	30	40	50
$\Theta, ^{\circ}\text{C}$		-17,5					
$t, ^{\circ}\text{C}$	22	0	-4	-8	-10	-11	-12
$\Theta, ^{\circ}\text{C}$		-12					
$t, ^{\circ}\text{C}$	22	3	0	-3,5	-5	-6	-7

Тұрақты жағдайға жету уақыты салқындату температурасына Θ қатты тәуелді және үрдістің әртүрлі қозғалатын күштерімен түсіндіріледі. Егер басқа тең жағдайларда хладоагент температурасы $\Theta = -17,5^{\circ}\text{C}$ кезінде стационарлық жағдайға 35-40 минут ішінде қол жеткізілсе, онда хладоагент температурасы $\Theta = -5^{\circ}\text{C}$ кезінде барлық ерітіндінің шоғырлану үрдісі шамамен 2,5 сағатқа созылады.

Салқындатқыш қисықтарда кристалданудан бұрын ерітіндінің гипотермиялық аймағы бары байқалады (3.6-кесте). Бұл әсіресе табиғи заттардың ерітінділеріне тән – сүт өнімдері, олар NaCl және NaNO_3 ерітінділерімен салыстырғанда жоғары тұтқырлыққа ие. Бұл аймақтың пайда болуы шоғырлану орталықтарының пайда болуына байланысты болып табылады.

3.5 Кесте - салқындату үдерісінде ерітінді температурасының өзгеруі (сүт өнімдері, $\Theta = -5,5^{\circ}\text{C}$)

τ , мин.	0	5	10	20	40	60	100	140
t , $^{\circ}\text{C}$	22	13	-3,8	-2,5	-3	-3,6	-4	-4

Жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, тоңазыту қондырғысын пайдалана отырып, төмен температуралы шоғырландыру үдерістері, кейіннен алынған суспензияны вакуумдық сүзу арқылы бөлу өте төмен тиімділікке ие. Бұл мұздатқыш қондырғыда ерітінділерді тез салқындатқан кезде ұсақ кристалды суспензия пайда болады, оны бөлу кезінде кристалды фазамен бөлінетін аналық ерітіндінің үлкен жоғалуы орын алады. Осыны ескере отырып, біз центрифугалық сүзу арқылы үдерістің осы нұсқасын зерттеуге басты назар аудардық.

5.4 Ерітіндіні бағдарламалық салқындату кезінде төмен температурада шоғырландыру

Бұл нұсқада кристалдану кезеңі тоңазытқыш қондырғыны қолдану арқылы жүзеге асырылды, ал сепарация кезеңі ортадан тепкіш сүзу әдісімен жүзеге асырылды.

3.7-3.8 кестелерінде су- СҮТ жүйесі үшін бөліну үрдісіне $\tau_{кр}$ ерітіндісінің салқындату (шоғырлану) кезеңі ұзақтығының әсері көрсетілген.

Суыту агентінің тұрақты температурасы кезінде осы сатының ұзақтығы өсуімен бастапқыда $\Theta = \text{const}$ кристалдық фазасының өте жылдам өсуі байқалады (3.7 кесте).

Бұдан әрі ϕ_s шамасының өсуі біртіндеп баяулайды және ϕ_s өзгеруі іс жүзінде болмайды стационарлық жағдайға жетеді.

Біздің тәжірибелеріміздің жағдайында стационарлық күйге әдетте $\tau_{кр} = 20-120$ мин. жеткен. Сонымен қатар x_F ерітіндісінің бастапқы концентрациясының жоғарылауымен, әдетте, стационарлық күйге жету ұзақтығы артты.

$\phi_s = f(\tau_{кр})$ қисығының бұл сипаты $\tau_{кр}$ өскен сайын шоғырлану үдерісінің қозғаушы күші төмендейтіндігімен түсіндіріледі (ерітіндінің температурасы мен салқындату температурасының арасындағы айырмашылық). Стационарлық күйге жеткенде, бұл айырмашылық 0-ге тең болады.

Шоғырлану ұзақтығының ұлғаюымен аналық ерітінді концентрациясының монотонды жоғарылауы байқалады (3.7кесте). Бұл жағдайда салқындату үдерісінде аналық ерітіндінің құрамы бастапқы ерітіндінің құрамына дерлік тең болады, ал стационарлық күйге жеткенде композиция соңғы салқындату температурасына сәйкес келетін ерітіндінің тепе-теңдік құрамына жақындайды.

3.6 Кесте- кристалл фазасының кірістілігі мен аналық ерітінді

концентрациясының шоғырлану сатысының ұзақтығына тәуелділігі (су – СҮТ жүйесі, $\tau_{\text{Ц}} = 3 \text{ мин}$, $n_{\text{Ц}} = 2000 \text{ айн / мин}$, $\Theta = -17,5^\circ \text{ C}$)

$T_{\text{кр, мин.}}$	20	40	80	100	120
x_F	5 %				
φ_s	0,45	0,62	0,64	0,73	0,76
$X_L, \% \text{СҮТ}$	5	10	13	13	13
x_F	10 %				
φ_s	0,42	0,54	0,61	0,65	0,65
$X_L, \% \text{СҮТ}$	12	17	20	21	21
x_F	15 %				
φ_s	0,31	0,42	0,43	0,44	0,44
$X_L, \% \text{СҮТ}$	17	21	23	24	24

Бөлінген кристалды фаза концентрациясы x_F шоғырлану сатысының ұзақтығына аз тәуелді болады (кесте 3.8).

Уақыт өте келе N_L ерітіндісінің шоғырлану дәрежесінің өзгеруі 3.8 кестесінде көрсетілген. $\tau_{\text{кр}}$ өскенде, N_L мәні монотонды түрде стационарлық күйге жеткенде бірден максималды мәніне дейін өседі.

Аналық сұйықтықтың түсу коэффициенті $\tau_{\text{кр}}$ жоғарылағанда төмендейді. Бұл шоғырлану кезеңінің ұзақтығының ұлғаюымен үлкен мұз кристалдары пайда болуымен байланысты, бұл аналық ерітіндінің олардан бөлінуін жеңілдетеді.

3.6 Кесте - кристалл фазасының концентрациясы (а) мен аналық ерітінді концентрациясы деңгейінің (б) шоғырлану сатысының ұзақтығына тәуелділігі (су – СҮТ жүйесі, $\tau_{\text{Ц}} = 3 \text{ мин}$, $n_{\text{Ц}} = 2000 \text{ айн / мин}$, $\Theta = -17,5^\circ \text{ C}$)

$T_{\text{кр, мин.}}$	20	40	80	100	120
x_F	5 %				
$X_S, \% \text{СҮТ}$	0,72	0,81	1,12	1,41	1,41
N_L	0,5	1,4	2,2	2,3	2,3
x_F	10 %				
$X_S, \% \text{СҮТ}$	1,8	2,0	2,5	2,6	2,6
N_L	0,5	1,3	2,0	2,1	2,1
x_F	15 %				
$X_S, \% \text{СҮТ}$	2,7	3,1	3,4	3,5	3,5
N_L	0,2	1,1	1,5	1,7	1,7

Бастапқы ерітіндінің концентрациясының бөліну үрдісіне әсері x_F концентрациясының артуы нәтижесінде пайда болған суспензияның кристалдылық дәрежесінің тұрақты төмендеуіне және сәйкесінше бөлінген кристалдық фазаның φ_s түсімділігінің төмендеуіне әкелетіндігін көрсетеді. Бұл, жоғарыда айтылғандай, бастапқы концентрацияның жоғарылауымен

шоғырлану үдерісінің қозғаушы күшінің төмендеуімен байланысты.

Әрине, x_F жоғары мәндерінде, бөлінгеннен кейін бізде анағұрлым концентрацияланған аналық ерітінді бар. Бұл өз кезегінде еріген мақсатты заттың мұз кристалдарындағы концентрациясының жоғарылауына, демек олармен бірге мақсатты компоненттің айтарлықтай жоғалуына әкеледі.

Сонымен қатар, мұздатқышта ерітіндінің кристалдануы жағдайындағыдай, x_F ерітіндісінің бастапқы концентрациясының жоғарылауы N_L концентрациясының төмендеуіне әкеледі. Бөліну сатысы режимдерінің өзгеруі ауа мұздатқышындағы ерітінділердің кристалдану кезіндегі сияқты бөлу үдерісіне бірдей әсер етеді. Бөліну үдерісіне айтарлықтай әсер ететіндігін салқындату жылдамдығымен қамтамасыз етіледі.

Салқындату жылдамдығының концентрация дәрежесіне әсері v жоғарылаған кезде m аналық ерітіндінің қармау коэффициенті жоғарылайтынын көрсетеді (3.9 кесте). N_L мәні де осылай өзгереді.

Тәжірибелер көрсеткендей, v жоғарылауы кристалдық фазаның ϕ_S шығымдылығының артуына және аналық ерітіндінің сәйкесінше төмендеуіне әкеледі. Бұл, әрине, жоғары салқындату кезінде еріген зат фазалық шекараны жылжытқанда таралуға уақыты жоқтығымен түсіндіріледі, нәтижесінде кристалдар еріген заттың едәуір мөлшерін алады. Осының арқасында алынған кристалдардың массасы жоғарылайды, ал кристалдардағы ерітіндінің концентрациясы сәйкесінше артады (3.9 кесте).

Бағдарламаланған салқындату кезінде фракцияның нәтижелері соңғы ерітіндінің салқындату температурасы t_K -ға тәуелді болатыны белгілі. t_K төмендеген кезде шоғырлану үдерісінің ұзақтығы артады, бұл кристалл фазасының түсімділігінің тұрақты артуына, аналық ерітінді фазасының концентрациясы мен концентрация дәрежесінің жоғарылауына әкеледі. Алайда аналық ерітіндінің түсу коэффициентінің жоғарылауы және мұз кристалдарының ерітін компонентпен ластануы жиі байқалады.

Алынған мәліметтерді $\Theta = \text{const}$ және $v = \text{const}$ -пен салыстыру бағдарламаланған салқындату кезінде бөлудің тиімділігі жоғары болады деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

3.6 Кесте - m аналық ерітіндінің қармау коэффициентінің және x_S кристалл фазасының концентрациясының салқындату жылдамдығына тәуелділігі (су - СҮТ жүйесі, $\tau_{Ц} = 3$ мин, $n_{Ц} = 2000$ айн / мин, $t_H = 0^\circ \text{C}$, $t_K = -16^\circ \text{C}$)

$v_o, ^\circ\text{C}/\text{ч}$	2	5	10	13
$m, \%$	0	2	5	8
$X_S, \%\text{СҮТ}$	0,46	0,64	0,77	0,90

ҚОРЫТЫНДЫ

Орындалған магистрлік диссертация негізінде: Сүт өнімдерін фракциялық кристалдандыру арқылы концентрациялау технологиясын жасау келесідей қорытынды жасауға болады:

- бейорганикалық және табиғи заттардың сулы ерітінділерінің (сүт өнімдері) төмен температуралы шоғырлану үдерістерінің тиімділігіне теориялық талдау жасалды, үдерістің негізгі параметрлері анықталды.
- салқындату арқылы сулы ерітінділер концентрациясының технологиялық сызбасы жасалды.
- төмен температуралы концентрация үдерістерінің тиімділігіне шоғырлану және бөліну сатыларының әсерін эксперименталды зерттелді.
- тәжірибелік түрде концентрацияланған концентраттар (NaCl ...) және әртүрлі өнімдер (сүт өнімдері) алынды.

Центрифугамен жүргізілген бірнеше тәжірибелер үшін алынған эксперимент нәтижелерін қорытындылай келе қарапайым және вакуумды сүзгілеу тәжірибелерімен салыстырмалы талдау жүргізе отырып, центрифуга көмегімен бөлу қарапайым фильтрацияға қарағанда, әсіресе бөлініп жатқан ерітінді тұтқыр болған кезде (сүт өнімдері) әлдеқайда тиімді деп айтуға болады.

Егер шикізаттың алынуы мен шоғырлану дәрежесі сияқты үдерістің негізгі сипаттамаларын бөлу сатысының бірдей ұзақтығымен және бастапқы ерітіндінің концентрациясымен салыстырсақ, бұл айтарлықтай байқалады. Мысалы, $\tau = 5$ мин жағдайында, және $x_F = 10\%$ NaCl, вакуумды сүзу кезінде түсіру коэффициенті $m = 20,0\%$, ал центрифугалау кезінде $m = 4,5\%$, яғни өнімдер 5 есе таза болып табылады. Және де сүт өнімдерінде, яғни сүтте концентрация 5%-дан 14%-ға жоғарыласа, қымыздың концентрациясы 5%-дан 13%-ға дейін өсті.

НОРМАТИВТІ СІЛТЕМЕЛЕР

Осы диссертациялық жұмыста төмендегі стандарттарға сілтемелер жасалды:

МемСТ 8.417-2002 - Өлшем бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесі. Физикалық мөлшердің бірлігі.

МемСТ 6709-72 Дистильденген су.

МемСТ 25336-82 - Зертханалық шыны ыдыс және жабдықтар. Түрлері, негізгі параметрлері және өлшемдері.

МемСТ 4233-77 – Реактивтер. Натрий хлориді.

МемСТ 34098-2017 – Натрий нитраты.

ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ

c - жылу сыйымдылық;
 E - бөлу тиімділігінің коэффициенті;
 F - шығыс, бастапқы қоспаның немесе ерітіндінің массасы;
 G_x - хладагент шығыны;
 K - шығу, кристалдық фазаның массасы;
 L - шығу, сұйық фазаның массасы;
 M - шығу, жатырдың массасы;
 m - аналықты қармау коэффициенті;
 p - қысым;
 Q - саны бөлген жылу;
 $r_{кр}$ - кристалдану жылуы;
 S - шығу, кристалды өнімнің массасы;
 t - температура;
 t_c - солидус температурасы;
 t_E - эвтектикалық кристалдану температурасы;
 t_k - соңғы салқындату температурасы;
 $t_{кр}$ - заттың кристалдану температурасы;
 t_l - өтімділік температурасы;
 t_n - полиморфты ауысу температурасы;
 x - қоспаның, ерітіндінің концентрациясы;
 x_E - эвтектикалық концентрация;
 x_F - бастапқы қоспаның, ерітіндінің концентрациясы;
 x_k - кристалды фазаның концентрациясы;
 x_L - сұйық фазаның концентрациясы;
 x_p - ерітіндінің тепе - теңдік концентрациясы;
 x_s - кристалды өнімнің концентрациясы;
 α - тепе-теңдік бөлу коэффициенті;
 $\alpha_{эф}$ - тиімді бөлу коэффициенті;
 Θ - хладоагент температурасы;
 ρ - тығыздық;
 τ - уақыт;
 τ_k - кристалдану уақыты;
 φ_k - кристалдардың шығуы, суспензиядағы кристалдардың құрамы;
 φ_s - кристалды өнімнің шығуы.
Индекстер:
 A - ерітін компонент; B - су; F - бастапқы қоспа;
 E - эвтектика; k - кристалдар; M - аналық;
 N - жуылған кристалды фаза; R - жуу сұйықтығы.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Носов Г.А., Правниченко В.В., Штейман Б.Р. Концентрирование водных растворов методом вымораживания с промывкой кристаллической фазы//Хим.пром .-1991. -№5. -С.296-300.
- 2 Пап Л. Концентрирование вымораживанием. -М.:Легкая пищевая промышленность, -1982. – С.97.
- 3 Перри. Дж.Г. Справочник инженера-химика.-Л.:Химия,-1969.-С.150.
- 4 Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник - Л.: Химия,- 1977.- С. 376.
- 5 Савинкин И.И., Марченкова Т.Г. Кристаллизационное разделение растворов контактным замораживанием газовым хладоносителем//Методы повышения эффективности переработки минерального сырья: Сборник.- М., 1986. -С.101-107.
- 6 Буртов О.А., Разуваев Н.И. Методы концентрирования соков и вин.- М.: ЦНИТЭИПищепром, -1971. -С.36.
- 7 Гельперин Н.И., Носов Г.А. Основы техники кристаллизации расплавов. -М.: Химия, -1975. С-352.
- 8 Гельперин Н.И., Носов Г. А. Основы техники фракционной кристаллизации.-М.:Химия, -1986. С-304.
- 9 Гельперин Н.И., Носов Г.А. Физико-химические основы процесса разделения смесей способами фракционного плавления//Хим.промышленность.-1981.- №113- С.679-682.
- 10 Гельперин Н.И., Носов Г.А., Зимницкий П.В. Выделение - метиленэфталина из его промышленных фракций методом контактной кристаллизации//Кокс и Химия.-1982.- № I.- С.31-33.
- 11 Гельперин Н.И., Носов Г.А., Правниченко В.В., Штейман Б.Р. Концентрирование водных растворов методом вымораживания// промышленность 1987.-№8.- С.493-496.
- 12 Носов Г.А., Мустахимов Б.К., Мясоedenков В.М. Разделение веществ методом однократного фракционного растворения // Химическая промышленность 1993. № 8. С.517.
- 13 Носов Г.А., Мустахимов Б.К., Касымбеков Б.А. Разделение веществ методом фракционного растворения с дополнительной промывкой кристаллической фазы//Химическая промышленность 1993. № 10.- С.508.
- 14 Носов Г.А., Мустахимов Б.К. Влияние стадии промывки на эффективность процесса фракционной кристаллизации//Известия вузов, сер.Химия и химическая технология, 1994. Т.37, вып.№2.- С. 104.
- 15 Матусевич Л.Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности.- М.:Химия, 1978.-303 с.
- 16 Мизерецкий Н.Н., Эль Марси М.Д., Филатов В.В. Интенсификация фазовых переходов при помощи барботажа / Московский техн.институт мясной и молочной промышленности.-М., 1986.-Зс.-Деп. в ЦНИИТЭИ мясомолпром..

22.04.86.- № 424.

17 Михалев М.Ф., Щупляк И.А. и др. Контактная кристаллизация-Л.: Ленинградский университет, -1983. С-190.

18 Слесаренко В.Н., Современные методы опреснения морских и соленых вод.-М.: Энергия, -1973. С-248.

19 Справочник экспериментальных данных по растворимости солевых систем.-Л. :Госхимиздат, -1961.-Т 3. С-2224.

20 Стадник А.С. Замораживание как метод концентрирования примесей в водах//Химия и технология воды.-1981.- № 3. – С. 227-233.

21 Таубман Е.И., Савинкин В.И., Дашкова Н.М. Анализ характеристик установок холодильного концентрирования растворов с учетом содержания примесей в отделенной воде//-Холодильная техника и технология:-1987.-№45.- С.44-47.

22 Таубман Е.И., Савинкин В.И., Дашкова Н.М. Анализ характеристик многоступенчатых установок концентрирования растворов //Холодильная техника и технология.-1988.-№47.- С.52-57.

23 Филаткин В.Н., Плотников В.Т. Разделительные вымораживающие установки.-М.:Агропромиздат, 1987. С.-353.

24 Филаткин В.Н., Плотников В.Т., Плаксин В.А. Исследования процессов контактного теплообмена в кристаллизаторе вымораживающей опреснительной установки // Машины и аппараты холодильной и криогенной техники и кондиционирования воздуха: Сборник.-П., 1976.-С.186-188.

25 Хоршев В.И. Исследование разделения бинарных смесей путем сочетания процессов «кристаллизация-плавление».-Дисс.канд.техн.наук. М.: МИИХТ им.М.В.Ломоносова, 1981. С.-147.

26 Чурсин В.П., Одинцов В.А. Экспериментальная отработка аппаратуры для кристаллизации льда и отделения его от рассола// Кристаллизация: Сборник.-М.:ИРЕА,1976.-Вып.2.-С.150-151.

27 Штейман Б.Р. Разработка процессов концентрирования продуктов микробиологического синтеза: Дис. канд.техн.наук.-М.:МИТХТ им.Ломоносова, 1987. С.-203.

28 Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Химия, 1987. С.– 496.

29 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учеб. для вузов. - М.:ООО ТИД «Альянс», 2005. С.– 753.

30 Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учеб. для вузов. – 2-е изд., в 2 кн – М.:Химия, -1995.

31 Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Недра, -1981.

32 Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учеб.: в 2-х кн. /В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др.; под ред. В.Г. Айнштейна.- М.:Логос; Высш. шк., – 2002. С.– 1757.

33 Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: в 5 т. Т.1: Основы теории процессов химической технологии / Д.А. Баранов, А.В. Вязьмин, А.А. Гухман и др.; под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2000. – 480 с.

34 Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: в 5 т. Т.2: Механические и гидромеханические процессы / Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, А.В. Вязьмин и др.; под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2002. С. – 600.

35 Скобло А.И., Трегубова И.А. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – М.: Химия, 1962. С– 625.

36 Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высш. шк., 1972. С.– 494.

37 Калекин В.С., Плотников В.А. Машины и аппараты химических производств: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2004. – 343 с.

38 Брагинский Л.Н., Кофман Г.З., Бегачев В.И. Распределение твердых частиц при механическом перемешивании. – ТОХТ, 1968. Т. 1 – С. 55–64.

39 Васильцов Э.А., Исаков А.Я. Кавитационное эмульгирование в перемешивающих устройствах Дальневосточный межвузовский акустический сборник. – Владивосток, 1975. – Вып.1. – С. 88–94.

40 Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред: Справ. пос. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд., 1979. – 272 с.

41 Павлушенко И.С., Копылева Б.Б. Время гомогенизации и затраты мощности при перемешивании высоковязких неньютоновских жидкостей //Теория и практика перемешивания в жидких средах. – М.: НИИТЭХим, 1973. – С. 15–19.

42 Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша, 1971: Пер. с польск. /Под ред. И.А. Щупляка. – Л.: Химия, 1975.

43 Фортье А. Механика суспензий: Пер. с франц. /под ред. З.П. Шульмана – Мир, 1971. – С. 264.

44 Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности: Пер. с чеш. /Под ред. И.С. Павлушенко. – Л.: ГСНТХ, 1963. С. – 416.

45 Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник: в 3 т. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – Т.1: 827 с., Т.2: 884 с., Т.3: 1024 с.

46 А.с.703114 (СССР). Кристаллизатор с охлаждением раствора газообразным хладагентом // Ю.П.Лебедеко, Ы.И.Рунов, С.М.Луценко.-Заявл. 28.06.84/Опубл. в Б.И., 1979, № 46.

47 Пат.4372766 США, кл.МКИ.ВИД 9/02. Аппарат для концентрирования жидких смесей замораживанием растворителя.- Заявл.16.II.81/Опубл.8.02.83.

48 Зайцев И.Д., Гасеев Г.Г. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ.-М.:Химия,1988.- С.416.

49 Илюхин В.В., Луковицкий Б.Н., Ермаков Ю.П. Оборудование для вымораживания пищевых продуктов. -М.:ЦНИИТЭИлегпищемаш, 1988.-С.56.

50 Караськов Г.Г. Исследование закономерностей контактного теплообмена и кристаллизации мирабилита: Дис... канд.техн.наук.- М.:МИТХТ им.Ломоносова, 1979.- С.172.

Сатан Ақерке Болатбекқызы, магистрант,
 Мустахимов Бекежан Каныбекович, ассистент-профессор,
 Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева,
 г. Алматы, Казахстан
 e-mail: mustbek@mail.ru

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ РАСТВОРОВ ПРИРОДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Аннотация: В данной статье описывается рост кристаллов льда и представляет собой исследования, направленного на раскрытие механизма разделения вода-растворенные вещества в морозильном аппарате при определенных условиях.

Ключевые слова: низкотемпературное концентрирование, водные растворы, продукты, концентраты.

Satan Akerce Bolatbekkisi, undergraduate,
 Mustakimov Bekezhan Kanibekovich, assistant Professor
 K. I. Satpayev Kazakh national technical University, Almaty, Kazakhstan
 e-mail: mustbek@mail.ru

LOW-TEMPERATURE CONCENTRATION OF SOLUTIONS OF NATURAL SUBSTANCES

Annotation: This article describes the growth of ice crystals in and is a study aimed at uncovering the mechanism of water-solute separation in a freezer under certain conditions.

Keywords: low-temperature concentration, aqueous solutions, products, concentrates.



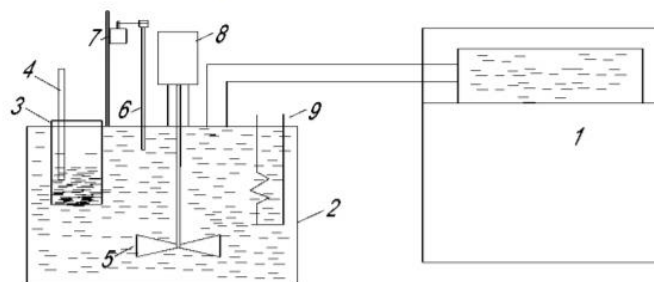
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЦЕНТР СИСТЕМОГО АНАЛИЗА

233

В современном мире, пытаются решить проблему получения качественной продукции при невысоких энергетических затратах. При производстве концентратов, которые состоят из воды и растворенных в нем твердых веществ, особое внимание уделяется процессам обезвоживания растворов. Обезвоживание растворов до содержания в них (40-60%) сухих веществ осуществляется разными способами: удаление воды путем выпаривания; селективным фильтрованием раствора через мембранную перегородку; вымораживанием воды из раствора. Применение того или другого способа обезвоживания растворов обуславливается требованиями к качеству, стоимости и количества полученного продукта. Если производителя интересует получение небольших партий качественного и недорого концентрированного продукта, то наиболее перспективным решением такой задачи является использование метода низкотемпературного концентрирования [1,2].

Извлечение воды из природных растворов методом низкотемпературного концентрирования позволяет обеспечить высокое качество продукта, сохранить все полезные свойства компонентов. Более того, технически процесс низкотемпературного концентрирования требует в несколько раз меньше энергии, чем традиционное выпаривание.

Экспериментальная часть. Опыты производили на лабораторной экспериментальной установке (рисунок 1).



1 – холодильная установка с антифризом; 2 – термостат; 3 – сосуд для кристаллизации; 4 – термометр; 5 – мешалка; 6 – контактный термометр; 7 – реверсивный двигатель; 8 – двигатель с насосом; 9 – змеевик

Рис. 1. Схема установки для проведения процесса криоконцентрирования

Установка состояла из холодильной машины (1) и ультратермостата (2) для промежуточного хладагента (рисунок 1). Антифриз из морозильника холодильной установки поступал в термостат (2). Поверхность теплообмена сосуда в морозильнике составляла 0,2м², в результате замораживания в морозильнике (-18°С) происходило охлаждение промежуточного хладагента, в качестве которого использовали 80% водный раствор этиленгликоля (антифриза). Регулировку температуры хладагента осуществляли автоматически. Установка позволяла производить процесс кристаллизации как при постоянной температуре охлаждения, так и при программированном режиме охлаждения.

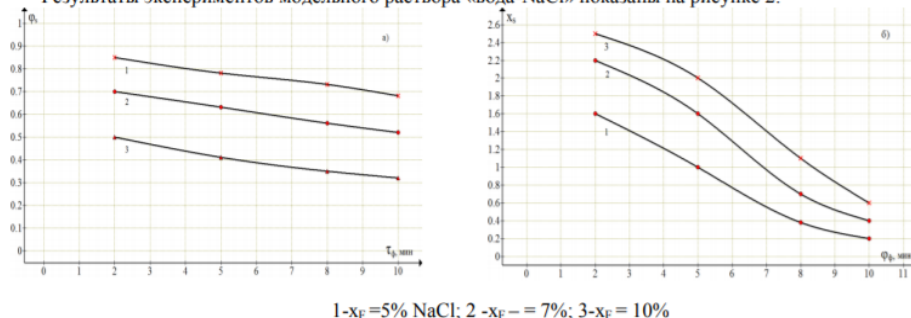
Кристаллизацию раствора проводили в цилиндрическом стеклянном сосуде (3) диаметром 35мм, высотой 70мм, изготовленном из термостойкого стекла. Масса загружаемого раствора обычно была 50г. Кристаллизатор непосредственно погружался в охлаждающий агент. Измерение температуры раствора в процессе кристаллизации производили термометром (4). После окончания стадии кристаллизации полученную суспензию подвергали разделению.

в) Стадию сепарации осуществляли простой фильтрацией.

Простую фильтрацию проводили в обычном стакане с помощью фильтровальной бумаги.

Анализ исходных растворов и полученных продуктов производили с помощью термостатированного рефрактометра ИРФ-22 и термостатированного кондуктометра ОК-102. Точность анализов составляла 0,01%. Концентрации выражались в виде весового процента целевого (растворенного) компонента. Массу растворов и продуктов разделения определяли путем взвешивания на лабораторных весах с точностью 0,1г.

Результаты экспериментов модельного раствора «вода-NaCl» показаны на рисунке 2.



1- $x_f=5\%$ NaCl; 2 - $x_f=7\%$; 3- $x_f=10\%$
Рис. 2. Зависимость выхода кристаллической фазы (а) и ее концентрации (б) от продолжительности стадии фильтрования (система вода – NaCl: $\Theta=-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$)

234

Увеличение продолжительности стадии уменьшает выход кристаллической фракции ϕ_s (рисунок 2,а) и соответственно повышает выход отделенного маточника ϕ_L , (рисунок 2,а). Это, очевидно, связано с влиянием двух факторов. Во-первых, с увеличением τ_f происходит более полное отделение маточника от кристаллической фазы, а во-вторых, в процессе фильтрации происходит частичное плавление кристаллов льда за счет контакта с просасываемым воздухом. Так, например, при исходной концентрации раствора $x_f = 5\%$ NaCl увеличение продолжительности фильтрации τ_f с 0 до 10 мин. приводит к снижению ϕ_s с 0,23 до 0,05. По тем же причинам мы имеем понижение концентрации целевого компонента в кристаллах x_s при увеличении τ_f (рисунок 2,б).

Таким образом, проведенные исследования показали, что в данном случае основным технологическим фактором процесса является продолжительность фильтрации τ_f .

Литература

- 1 Пап Л. Концентрирование вымораживанием. – М.: Легкая пищевая промышленность, 1982. – 97 с.
- 2 Гельперин Н.И., Носов Г. А. Основы техники фракционной кристаллизации. – М.: Химия, 1986. – 304 с.
- 3 Комяков О.Г., Филлипенко О.А. Техника и технология процесса криоконцентрирования жидких пищевых продуктов // АгроНИИТЭИПП. – М., 1979. – 24 с.
- 4 Филаткин В.Н., Плотников В.Т. Разделительные вымораживающие установки. – М.: Агропромиздат, 1987. – 353 с.

А.Б.Сатан¹, Б. К.Мустахимов²

А.Б. Сатан, магистрант.

Ғылыми жетекшіі – Б. К. Мустахимов, ассистент – профессор,
Satbayev University, Химиялық және биологиялық технология Институты
Қазақстан, Алматы қ.
satan.akerke@mail.

СҮТ ӨНІМДЕРІН ФРАКЦИЯЛЫҚ КРИСТАЛДАНДЫРУ АРҚЫЛЫ КОНЦЕНТРАЦИЯЛАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ

Аңдатпа

Төменгі температуралық концентрлеу әдісінде салқындату әдісімен қоюландыра отырып табиғи ерітінділердің (мысалы шырындардың, кофе, шараптардың) пайдалы қасиеттері мен табиғи сапаларын толығымен сақтай отырып, оның ішіндегі суды бөліп алып тастап, концентрлеу әдісі. Бұл ретте, сұйық ерітінді толтырылған оқшауланған жүйе 0 °C-ден төменгі температураларда жұмыс істейді, нәтижесінде бастапқы өнімнің сапасы толық сақталады. Мысалы, хош иісі, түсі, дәмі және т.б. бұзылмайды. Яғни, егер бұл концентратқа тиісті дәрежеде су араластырса сапасы бастапқы жаңа сығылған шырынмен бірдей табиғи балғын өнімді береді, яғни бастапқы өнімді қалпына келтірудің мүмкіндігі толық сақталады. Төменгі температуралық концентрлеу кристалдандыру және ажырату сатыларынан тұрады.

Аннотация

Процессы низкотемпературного концентрирования основано в том, что сохраняя все натуральные качества и полезные свойства природных растворов (например, сока, вина или пива), методом охлаждения удаляет из них воду. При этом, изолированная система, заполненная жидким раствором, работает при низких (отрицательных) температурах, полностью сохраняя качество исходного продукта. Аромат, цвет, вкус, привкус и букет не изменяются. Это дает возможность восстановления из такого концентрата продукта, полностью идентичного свежему природному продукту. Процессы низкотемпературного концентрирования состоит процессов кристаллизации и сепарирование.

Annotation

The method essence cryoconcoction consists that keeping all natural qualities and useful properties of natural solutions (for example, juice, wine or beer), the krikontsentrirvaniye deletes with method from them water. Thus, the isolated system filled with liquid solution works at low (negative) temperatures, completely keeping quality of an initial product. Aroma, color, taste,

smack and a bouquet don't change. It gives the chance of restoration from such concentrate of a product completely identical to a fresh natural product, for example, to freshly squeezed juice. Cryoconcoction consists of two main stages: crystallization and separation.

Түйінді сөздер: төмен температуралы концентрлеу, кристалдану, фракциялық кристалдану, суспензия, ерітінді.

Заттың бір күйден екінші күйге ауысуына негізделген заттарды тазарту және бөлу әдістерінің бірі фракциялық кристалдану болып табылады. Фракциялық кристалдану процесін ерітінділерден кристаллизация және балқымалардан кристалдану деп бөлуге болады. Термодинамикалық түрлендіру тұрғысынан бұл процестердің арасында ешқандай

337

айырмашылық жоқ. Алайда, балқымалардағы қатты фазаның түзілу сипатына температура мен концентрацияның өзгеруі едәуір көбірек әсер етеді.

Тәжірибелік бөлім.

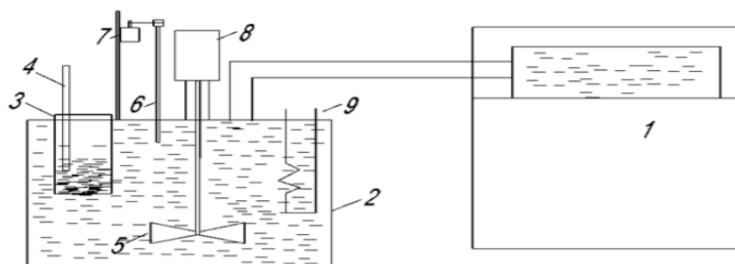
Бірінші жағдайда кристалдану процесі температурасы -12-13° C сақталған камера мұздатқышында жүзеге асырылды. Алынған ерітінділер мен сүт өнімдері 100мл ыдысқа құйылып мұздатқыш камераға салынды. Осыдан кейін кристалды әржағдайда суспензиядан бөліп алып отырдық.

Ал екінші жағдай 1 - суретте көрсетілген.

Орнату тоңазытқыш машинадан (1) және ультратермостаттан (2) тұрады. Салқындатқыштан сұйық термостатқа (2) орналастырылған катушка буландырғышқа (7) кіреді. Буландырғыштың жылу өткізгіш бөлігі булану камерасында 0,2 м² қызыл арасына

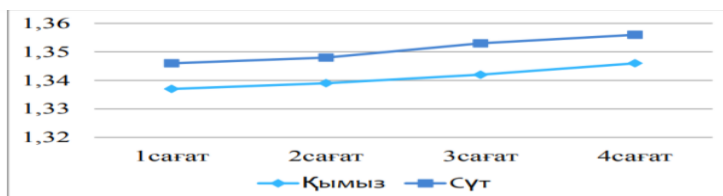
Ал екінші жағдай 1 - суретте көрсетілген.

Орнату тоңазытқыш машинадан (1) және ультратермостаттан (2) тұрады. Салқындатқыштан сұйық термостатқа (2) орналастырылған катушка буландырғышқа (7) кіреді. Буландырғыштың жылу алмасу беті булану нәтижесінде $0,2 \text{ м}^2$ құрайды, аралық салқындатқыш салқындатылып, мұнда этиленгликольдың 50% сулы ерітіндісін қолданылады. Салқындатқыш температурасы автоматты түрде орын алады. Ерітіндінің кристалдануы цилиндр тәрізді әйнекте жүзеге асырылды ыдыс (3) диаметрі 35 мм, биіктігі 70 мм, ыстыққа төзімді шыныда жүреді. Жүктелген ерітіндінің салмағы әдетте 50 г тікелей салқындату агентіне батырылған кристаллизаторды құрайды. Кристалдану кезіндегі ерітіндінің температурасын өлшеу термометрмен өлшенеді. (4). Кейін кристалдану кезеңінің соңында алынған суспензияға бөлінеге ұшырайды.

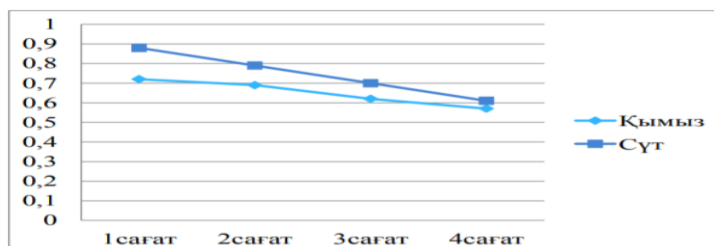


1 – сурет. Фракциялық концентрациялау процесін жүргізуге арналған қондырғы сызбасы

1 - антифризді бар тоңазытқыш қондырғы; 2 - термостат; 3 - кристалдануға арналған ыдыс; 4 - термометр; 5 - араластырғыш; 6 - байланыс термометрі; 7 - қайтымды қозғалтқыш; 8 - сорғылы қозғалтқыш; 9 - змеевик.



1 – сызба. Сүт пен қымыздың жарықтық сыну көрсеткіштері



2- сызба. Сүт пен қымыздың кристалдық фазаға өтуі

А.Б. Сатап¹, Б. К. Мустахимов²

А.Б. Сатап, магистрант.

Научный руководитель - Б. К. Мустахимов, ассистент – профессор,
Satbayev University, Институт химических и биологических технологий Казахстан, г. Алматы

Разработка технологии концентрирование молочных продуктов методом фракционной кристаллизации

Рассматриваемый процесс фракционной кристаллизации является одним из наиболее эффективных процессов разделения и очистки веществ. Кристаллизация происходит немедленно, и в цикле кристаллизации можно получить продукт высокой чистоты. Извлечение воды из природных растворов методом низкотемпературного концентрирования позволяет обеспечить высокое качество продукта, сохранить все полезные свойства компонентов. Кроме того, процесс концентрирования при технически низких температурах требует в несколько раз меньше энергии, чем традиционное испарение.

А.Б. Сатап¹, Б.К. Mustakhimov²

А.Б. Сатап, undergraduate.

Scientific adviser - Б. К. Mustakhimov, assistant - professor,
Satbayev University, Institute of Chemical and Biological Technologies Kazakhstan, Almaty

Development of technology for concentration of dairy products by fractional crystallization