

ӨОЖ 67.08
FTAXP 87.53.13
DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.98(2).89

**Жумагулова Г.С., Корганбаев Б.Н., Кочеров Е.Н.,
Раматуллаева Л.И., Колесников А.С.**

М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

E-mail: Erkebulan083@mail.ru

ТАҒАМДЫҚ МАЙ ҚАЛДЫҚТАРЫ ҚОСПАСЫНЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖОЛЫМЕН ҚОРШАҒАН ОРТАҒА АНТРОПОГЕНДІК ӘСЕРІН ТӨМЕНДЕТУ

Аңдатпа. Дайындау үрдісі мен сақтау шарттарына тәуелді қолданылған тағамдық май қалдықтары бос май қышқылдарының, ылғалдың, минералдардың, ішінара ацилглицеридтердің, сонымен қатар көмірсутектердің, альдегидтердің, кетондардың, пероксидтердің, олигомерлердің, құрамында фосфор, күкірт және азот мазмұндайтын және т.б. қосылыстардан тұрады. Мұнан бөлек, қолданылған тағамдық майлардың негізгі бөлігі (95% дейін) тазартылған триацилглицеридтерге сәйкес келгенімен, ондағы қоспалар май қалдықтарын азық-түлік немесе жемдік мақсаттарда қолдануға жарамсыз етіп қоймай, сонымен қатар кейінгі түрлендірулер үшін де күрделі мәселелі шикізатқа айналдырады. Осы аталған себептерге орай, қолданылған тағамдық май қалдықтарын ары қарай түрлендіруден бұрын оларды алдын ала өңдеуді талап етпейтін қажетке жарату әдісін жасау өзекті мәселе болып табылады. Қолданылған тағамдық май қалдықтарының тұрмыстық химиялық заттарды, санитарлық гигиеналық тазалық өнімдерін алуда қайталама шикізат ретінде қолданылу бойынша зерттеу нәтижелері ұсынылған. Сабынның шоғырына тәуелсіз 60-90°C температуралар аралығында псевдопластиналдық қасиетті Ньютондық емес сұйықтықтар болып табылатын натрийлі сабын ерітіндісінің тұтқырлық моделі өңделді. Модельдік өңдеулер мицеллалардың геометриялық пішіні және өлшемімен, мицеллалардағы молекулалардың орналасу формаларымен және осы формалардың гексабұрышты және ламеллярлы құрылымдардың кристалдық торларында орналасуымен анықталатын сабынның фазалық құрамы мен құрылымын қарастыруға негізделген. Тұтқырлықты сипаттау үшін эмперикалық формулалар құрастырылды. Формулалардың дұрыстығы есептік және тәжірибелік мәліметтерді салыстыру жолымен тексерілді: орташа қате мәні салыстырмалы түрде 10%. Ұсынылған зерттеу нәтижелері тағамдық май қалдықтарын екіншілей шикізат ретінде қолданып, санитарлық гигиеналық сабын алу үрдісін жетілдіруде қолданбалы.

Кілт сөздер: тағамдық май қалдықтары; қажетке жарату; сабынды-сілтілі ерітінді; реологиялық қасиеттер; тұтқырлық.

Kipicne

Қазіргі уақытта химия өнеркәсібі өндірістік үрдістерде екіншілей шикізатты қолдану бойынша тұрақты әдістерін енгізудің алдыңғы қатарында келе жатыр [1,2]. Бұл әрекеттер коммерциялық тұрғыдан қызығушылықтар туындататын биоотын, химиялық құрылыс блоктары, материалдар мен полимерлер өндірісінің дамуына алып келді [3,4]. Кейбір есептерге сәйкес биоматериалдар мен полимерлердің қазіргі нарығы шамамен 80 млрд. долларды құраса, бұл көрсеткіш 2025 жылға қарай шамамен 142 млрд. долларға жетеді деп күтілуде [5]. Түрлі табиғи туындылар арасында биоматериалдардың жаһандық қазіргі өндіріс көлемі 3 млн. тоннаға жеткен, ал биополимерлердің сәйкесінше өндірілу



көлемі 8-10 млн. тоннаны құрайды. Соңғы жағдайда биоматериалдар қазірдің өзінде мұнай-химиялық полимерлердің әлемдік өндірілу көлемінің 2% құраса, оның басым бөлігі полиуретандар мен эпоксидті шайырлар [3].

Биоматериалдар массасын өнеркәсіптік қолданудан туындайтын өмірлік кезеңінің әлеуметтік және экологиялық әсерін төмендету үшін екінші және үшінші баламалы материалдарды пайдалану үрдісі өсе түсуде [6,7]. Мысалы, түрлі биоотын, тұрмыстық химиялық заттар, химиялық заттар мен материалдарды өндіру үшін екіншілей шикізат ретінде тұтынуға жарамсыз майлар мен қалдық липидтерді біріктіретін олеохимиялық секторда айналымды экономикалық модель қабылданған [8]. Екіншілей шикізат ретінде өнеркәсіптік пайдалану үшін қалдық липидтердің көлемі қажетті қорды қамтамасыз ету үшін жеткілікті дәрежеде түзіледі. Өз кезегінде, қалдық майларды өндірістік үрдістерде екіншілей қайта пайдалану, түзілетін қалдықтар көлемінің артуына, дұрыс басқармау және қажетке жаратуға байланысты кері әсерлерді төмендетуге көмектеседі.

Көптеген қалдық майлар мен өсімдік майларының арасында қолданылған тағамдық майлар үлкен маңызға ие, себебі олар қала орталықтарында, жинау орталықтарында және олеохимиялық биоөңдеу зауыттарында өте үлкен мөлшерде түзіледі [9]. Мұнымен қоса, тағамдық май қалдықтары өзге липидті қалдықтармен салыстырғанда біртекті емес, олар нақты бекітілген ерекшеліктері бойынша өндіріліп, сатылады және қазірдің өзінде тағамдық қалдық майларды жинау мен сатудың жаһандық сауда жүйесінің тізбегі бар [10]. Ағымдағы әлемдік қолданылған тағамдық май қалдықтарының түзілу көлемі 42-67 Мт/жыл аралығында деп бағалануа [11], бұл көрсеткіш жаһандық тұтынылатын тағамдық өсімдік майының көлемінің 20-32% сәйкес келеді [12]. Қолданылған тағамдық май қалдықтары негізінен биоотын (биодизель отыны, гидротазаланған өсімдік майлары, биомайлар) өндіруде көптеп қолданылғанымен [13], ұзақ мерзімді тұрақты эксплуатациялау үшін құны жоғары өнімдерге түрлендіруді талап етеді [14]. Бірақ, қолданылған тағамдық май қалдықтарының құрамы мен қоспалық құрамы олардың химиялық, каталитикалық биохимиялық немесе термохимиялық түрлендірулер жолымен қажетке жарату кезінде шектеулі факторларға айналады [15].

Қолданылған тағамдық май қалдықтары үшін сипатталған алдын ала өңдеу үрдістері негізінен олардың сипаттамаларына және болжамдық қолданылу мақсатына тәуелді болады [16]. Мысалы, тағамдық май қалдықтарын термokatалитикалық үрдістерде (пиролиз, газдандыру) пайдалану кезінде аздаған тазартуды қажет етеді. Салыстырмалы түрде, сілтілік-катализ реакциялары арқылы май қалдықтарын пайдалану кезінде қышқылдылықты және ылғалды жою міндетті үрдіс болып табылады [17]. Каталитикалық гидротазалау кезінде немесе биоотын өндіру мақсатында күкірт пен фосфор мазмұндайтын қосылыстарды жою аса маңызды [18]. Қолданылған май қалдықтарын ферменттеу субстраты ретінде пайдалану кезінде улы және уытты компоненттерді (пероксидтер, олигомерлер, альдегидтер, гетероциклды қосылыстар және т.б.) жою міндетті болып табылады, себебі олар микробтық ингибируленуді туындатуы мүмкін [19]. Осыған ұқсас, қолданылған май қалдықтарының құрамындағы кейбір қоспалар, жоғарыда аталғандай, өсімдік майын эпоксидтеу үрдістерінде қолданылатын тотықтырғыш реагенттерді тұтынады [20]. Ең маңыздысы, өсімдік майларының эпоксидтері, эпоксидтелген метил эфирлері және табиғи майлардың полиолдары қазіргі таңда биополимерлер нарығында үлкен сұранысқа ие.

[21] және [22] жұмыстардың авторларымен көпфазалы сұйық қоспаның физика-химиялық қасиеттері мен гидродинамикасын терең зерттеу негізінде, тағамдық майларды сабын өндірісінде қолдану әдістемесін жасаудың жүйелі кешендік жолы жүзеге асырылған. Жүргізілген зерттеулер аясында түрлі майқышқылды құрамға ие тағамдық майлардың реологиялық қасиеттері туралы көптеген тәжірибелік мәліметтер алынған.



Тағамдық майларды косметикалық эмульсияларда қолданудың теориялық аспектілері [23] жұмыста ұсынылған.

Мұнан бөлек, қолданылған тағамдық қалдық майларын алдын ала тек ғана механикалық тазалау жолымен сулы-сілтілі ерітіндімен санитарлық-гигиеналық сабын өндіруде қолданудың әлеуеті жоғары. Үрдістің тиімділігі қолданылған тағамдық май қылдықтарының бастапқы сипаттамаларымен шектеусіз қолданылу артышылығында.

Сабынды қайнату кезінде, сабындандыру және бейтараптандыру кезеңдерінде тұрақты жоғары дисперсті сабын-сілтілі ерітінділерді дайындау және тұрақтандыру, сонымен қатар глицеринді сабыннан бөлу және оны шаю кезеңдерінде олардың бұзылуы, сабын алудың барлық технологиялық кезеңдерінің сапалық және экономикалық көрсеткіштерін анықтайтын маңызды технологиялық операциялар болып табылады.

Сабын-сілтілі реакциялық қоспасының эмульсиялану үрдісіне олардың реологиялық сипаттамалары, әсіресе тұтқырлығы айтарлықтай ықпал етеді. Сабынның сулы ерітінділері Ньютондық емес сұйықтықтар қатарына жатады, сабынның шоғырына және температураға, сонымен қатар оның фазалық құрамы мен құрылымына тәуелді олардың тұтқырлығы аномальды өзгермелі келеді. Тұтқырлықты білу берілген эмульсиялау тәртібін таңдауға және оны өндірудің барлық технологиялық кезеңдерінде оңтайлы жағдайларда сабын дайындау үрдісін жүргізуге мүмкіндік береді.

Қалдық май/жануар майы – сулы-сілтілі ерітінді реакциялық қоспасының реологиялық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері төменде келтірілген.

Сабын-сілтілі эмульсиялық ерітіндісі тағамдық май қалдығы-жануар майы-сулы сілтілі ерітінді қоспасының өздігінен эмульсиялану әдісімен түзіледі. Өздігінен эмульсиялану үрдісінің механикалық эмульсиялану үрдісімен салыстырғандағы маңызды ерекшелігі эмульсиялаушы агенттің дисперсті жүйенің өзінде түзілуі болып табылады. Қарастырылып отырған үрдісте жүйенің өзінде түзілетін эмульсиялаушы агент ретінде сабын рөл атқарады.

Зерттеу әдістері мен материалдары

Реологиялық зерттеулер үшін қолданылған тағамдық күнбағыс майының қалдықтары таңдалды. Май қалдықтарының түсі сарғыштан күнгірт қара-кою түске дейін таңдалды. Дәмі және иісі қатты күйген сипатты, консистенциясы қоймалжың. Тығыздығы 1075 км/м^3 . 20°C кезіндегі сыну көрсеткіші $1,893$. 20°C кезіндегі тұтқырлығы $0,1891 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Қышқылдық саны $0,74 \text{ мг КОН/г}$. Асқын тотық саны $5,72 \text{ ммоль О/кг}$.

Реологиялық зерттеу жұмыстары ротациялық вискозиметрде жүзеге асырылды. Ығысу кернеуінің τ және тиімді тұтқырлықтың μ сандық мәндері, ығысу жылдамдығы γ градиентін $1 - 200 \text{ с}^{-1}$ аралығында өзгерту кезінде және 25°C температурада аспаптың бағдарламасымен анықталды. Өлшеулер ығысу жылдамдығының әрбір 10 с өзгеруінде жүргізілді.

Сынақтарды жүргізу әдістмесі келесі операцияларды қарастырады. Тағамдық май қалдығының үлгісі үлгіжинақтауыштан вискозиметрдің өлшемді ұяшығына құйылып, термотұрақтандырылды. Ығысу кернеуінің τ және тиімді тұтқырлықты μ өлшеу, үлгілердің әрбірі үшін ығысу жылдамдығы γ градиентін $1 - 200 \text{ с}^{-1}$ аралығында және керісінше $200 - 1 \text{ с}^{-1}$ төмендету кезінде жүргізілді. Содан кейін, үлгісі бар ұяшықты түсірмей, яғни қабат құрылымына механикалық зақым келтірмей, ығысу жылдамдығын $1 - 10 \text{ с}^{-1}$ аралығында ығысу кернеуі қайта өлшенді. Зерттелудегі қалдық май үлгісі ұяшықтың сынама жинауышқа қайта құйылып, шайқау жолымен араластырылды, яғни қабат құрылымының механикалық бұзылуы орын алды.

Зерттеу нәтижелері

Сабын-сілтілі эмульсиясының түзілу механизмін келесі сұлбамен көрсетуге болады:



1. Тағамдық май қалдықтары, жануар майы және май қышқылдары диспергаторларда немесе араластырғыштарда механикалық әсерге ұшырау барысында ірі және орташа өлшемді тамшыларға ұсақталып, май-сілті фазааралық беттігін түзе отырып ерітіндідегі сілтіні диспергирлейді.

2. Фазааралық беттікте тағамдық май қалдықтары, жануар майы және май қышқылдары сілтімен реакцияға (сабындану немесе бейтараптану реакциясына) түсіп, тамшылардың беттігінде сабын түзіледі де эмульсиялаушы агент рөлін жүзеге асырады.

3. Сбаын-эмульгаторының молекулалары тамшылардың беттігінде адсорбцияланады. Бұл шарттарда сабын молекуласының көмірсутекті тізбегі немесе гидрофобты бөлігі тамшының ішіне қарай тартылады, ал гидрофобты полярлы бөлігі тамшының сыртқы беттігіне орналасып, қорғаныс қабатын түзеді. Қорғаныс қабатына сабынның молекуласынан бөлек, су, глицерин және т.б. тұратын дисперсиялық ортаның молекуласы да енеді, олар сабынмен бірге сольваттар түзу мүмкіндігіне ие. Нәтижесінде қорғаныс қабаиы адсорбциялық-сольватты қабатқа айналады, ал фазааралық беттік тартылу ондаған есе төмендеп, $\sigma_{\text{ккм}}$ салыстырғанда нөлге қарай ұмтылады.

4. Адсорбциялық-сольватты қабаттағы сабынның шоғыры шектік (тепе-теңдік) мәнге жеткен тамшыларда беттік тартылу төмендеп ($\sigma \ll \sigma_{\text{ккм}}$), тамшылар өте майда тамшыларға ыдырайды. Диспергирлеу үрдісі эмульсиялау жұмысы азайғанша жалғасады.

Жалпы алғанда, дисперстілігі бойынша өздігінен эмульсиялану үрдісіне негізделген сабын-сілтілі эмульсияны қалыптастырудың ұсынылған сұлбасы, сырттан эмульгаторды енгізу арқылы механикалық эмульсиялау үлгісіне толығымен сәйкес келеді. Өздігінен эмульсиялану жолымен алынған эмульсиялар өте төмен фазааралық тартылу себебінен термодинамикалық тұрақты және іс жүзінде орталықтандырылмайды.

Диспергирлеу үрдісінің басында сабын-сілтілі эмульсиядағы эмульгатор сабынның шоғыры төмен болады және беттік тартылудың төмендеуі көп емес ($\sigma \approx \sigma_0$). Сондықтан өздігінен эмульсиялану үрдісінің дамуы өте баяу жүреді және уақыт бойынша ~1 сағатқа тең (сабындану реакциясында бұл уақыт индукция кезеңінің уақытына тең). Эмульсиялау үрдісін қарқынлату үшін майларды сабындау кезінде де, май қышқылдарын бейтараптандыру кезінде де бастапқы реакция қоспасына 20%-ға дейін сабын қосылады. Үздіксіз технологияларда бұл қосынды реактордан шығатын реакциялық қоспаның бір бөлігін қайта өңдеу арқылы жүзеге асырылады.

Реакциялық қоспаның сабын-сілтілі эмульсиясы реактор арқылы өтіп, өзінің фазалық құрылымын сұйық күйден сұйықкристалды күйге дейін өзгертеді. Реактордың басында сабындану және бейтараптандыру реакциялары дамыған сайын сілті ерітіндісіндегі сабын молекулаларының бір бөлігі тамшылардың бетіне адсорбцияланады, екінші бөлігі сабын шоғырының жоғарылауымен агрегаттар – сфералық, цилиндрлік және табақшалы пішінді мицеллалар түзеді. Сабындану реакциясы аяқталғаннан кейін алынған сабынның сабын-сілтілі эмульсиядағы шоғыры >40%, бейтараптандыру реакциясы барысында 64+70% жетеді. Сабын 40% және одан жоғары шоғырдағы сабын-сілтілі эмульсиялар мицеллярлы құрылымды сұйық фазадан гексабұрышты құрылымды сұйықкристалды фазаға, ал 64% және одан жоғары шоғырларда – ламеллярлы құрылымды сұйықкристалды фазаға түрленеді. Мицелланың гексабұрышты құрылымында – көлденең қимадағы цилиндрлер гексабұрышты қаптамаға ие және бір-бірінен қалыңдығы 6-дан 5 молекулаға дейінгі әлсіз сілтілі сұйықтық қабатымен бөлінген. Мицелланың ламеллярлы құрылымында – сабынның дифильді молекулаларының қос қатарлы түріндегі табашалар бір-біріне параллель орналасқан және қалыңдығы 2-ден 1 молекулаға дейінгі сілті сұйықтығының қабатымен бөлінген.

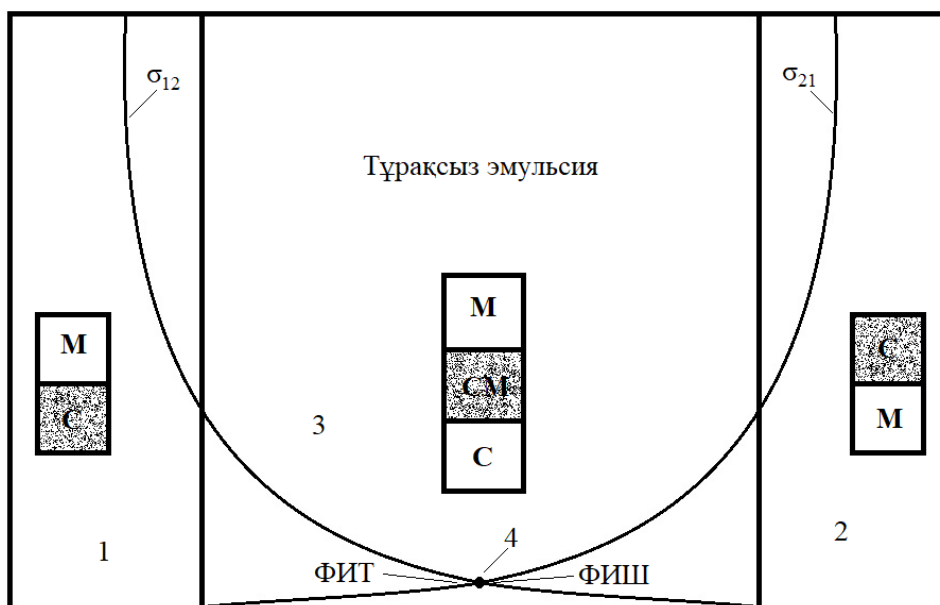
Осылайша, реактордан шыққанда не гексабұрышты құрылымды – сабын-сілтілі эмульсия түріндегі реакциялық қоспасын, не табақшалы құрылымды сабынды желім немесе ламеллярлы құрылымды өзекті сабын қоспасын аламыз. Сабынды желімнің және



өзекті сабынының сабын-сілтілі эмульсиялары агрегаттық тұрғыдан өте тұрақты, ұзақ уақыт бойы өзгеріссіз қалуы мүмкін және оларды бұзу күрделі міндет. Атап айтқанда, глицеринді, сонымен қатар электролиттерді (NaCl , NaOH) бөліп алу ламеллярлы құрылымдарда сілті қабатының көлемінен экстракциялау арқылы ғана мүмкін болады, ал қабаттағы сілтінің өзінің көлемін азайту өзекті сабынның сабын-сілтілі эмульсиясын центрифугалау арқылы мүмкін болады. Бұл екі әдістің екеуі де шикі сабынды шаймалауда және өзекті сабынды концентрлеу кезеңдерінде үздіксіз сабын жасау технологияларында кеңінен қолданылады.

Сабын желімінің сабын-сілтілі эмульсиясын бұзу немесе тұрақсыздандыру қажеттілігі, біріншіден, сабын желімінен глицеринді бөліп алу, екіншіден, өзекті сабынды шаймалау және бөлу қажеттілігімен шартталады. Бұл операцияларды жүргізу сабын-сілтілі эмульсияның тұрақсыз күйінде ғана мүмкін болады. Көпшілік эмульсиялардың тұрақсыз күйі майдағы/су (M/C) және судағы/май (C/M) эмульсияларының фазалық инверсиясы орын алатын өтпелі аймақта байқалады (сурет 1). Суреттен көрініп тұрғандай, тұрақсыз M/CM/C эмульсиясының күйі төмен фазааралық беттік керілу аймағында байқалады. Бұл жағдайда C/M және M/C эмульсияларының фазалық инверсиясы әрқашан $\sigma_{12} = \sigma_{\min}$ минималды беттік керілу кезінде жүреді, ол сабын-сілтілі эмульсиялар үшін, тәжірибелік мәліметтерге сәйкес $\sigma_{12} = 25\text{--}35 \text{ мН/м}$ байқалады.

Эмульгатор – беттік белсенді заттың қатысуымен фазалық инверсия нүктесінің орналасуына эмульсия температурасы және ондағы бейорганикалық тұздар мен негіздердің, атап айтқанда NaCl және NaOH мөлшері де айтарлықтай әсер етеді (сурет 2). Фазалық инверсия нүктесіндегі температура мен шоғыр мәндері, сәйкесінше фазалық инверсия температурасы (ФИТ) және фазалық инверсия шоғыры (ФИШ) деп аталады. Сабын желімінің сабын-сілтілі эмульсиялары үшін ФИТ $\sim 88 + 90^\circ\text{C}$, ал NaCl шоғыры - ФИШ $\sim 0,35 + 0,4$ моль/л болатынын тәжірибе жүзінде анықтадық.

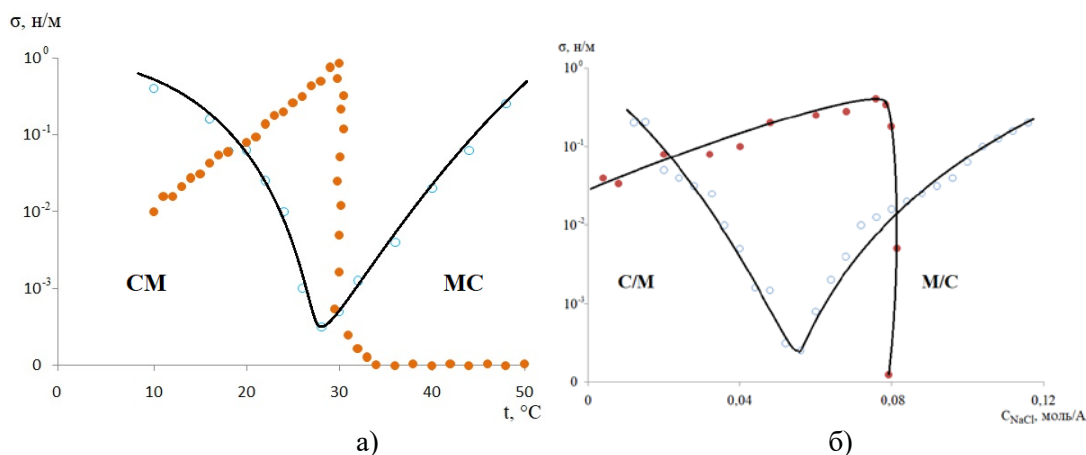


1 - сурет – Эмульсиялардың фазалық инверсиясының сұлбасы: 1,2 - тұрақты M/C және C/M эмульсияларының аудандары; 3 - тұрақсыз эмульсия M/CM/C аймағы; 4 - эмульсия температурасы және фазалық инверсия нүктесіндегі электролит шоғыры (ФИТ және ФИШ)

Эмульсиялардың фазалық инверсиясын анықтайтын қарастырылған факторларды ескере отырып, сабын желімінің сабын-сілтілі эмульсиясын үш түрлі әсер ету арқылы тұрақсыз күйге көшіру ұсынылады:

- сабын желімінің гексабұрышты құрылымының механикалық бұзылуы;
- эмульсия фазалық инверсия температурасының (ФИТ) нүктесіндегі температураға дейін төмендеуіне (артуына) байланысты термиялық деструкциялау;
- эмульсиядағы бейорганикалық тұздар мен негіздердің (NaCl, NaOH) электролиттерінің мазмұнын фазалық инверсия шоғырынадағы (ФИШ) нүктесінде арттыру.

Сабын жасау тәжірибесінде сабын желіміне механикалық және термиялық әсерлер вакуумды буландырғыштарда жүргізіледі. Вакуумды буландырғышта сабын желімінің гексабұрышты құрылымының механикалық бұзылуы екінші реттік будың қысым күші мен оның сабын-сілтілі эмульсиясының термиялық тұрақсыздануынан болады.



○○○ - фазааралық беттік тартылу; ●●● - электр өткізгіштігі

2 - сурет – C/M және M/C эмульсияларының инверсиясы кезінде беттік керілу өзгерісінің эмульсия температурасына (а) және NaCl тұзының шоғырына (б) тәуелділігі

Екіншілік буды сабын желімін реакция температурасынан (~145°C) ФИТ нүктесінің температурасына (88÷90°C) дейін салқындату кезінде вакуумды буландырғыштағы қысымды 4-тен 0,7 кгс/см² дейін төмендету жолымен, өздігінен булану жылуы есебінен алынады. Гексабұрышты құрылымның қабаттарындағы су қайнайды және пайда болған бу оның торларын бұзады.

Эмульсиялардың фазалық инверсиясын анықтайтын қарастырылған факторларды ескере отырып, сабын желімінің сабын-сілтілі эмульсиясын үш түрлі әсер ету арқылы тұрақсыз күйге көшіру ұсынылады:

- сабын желімінің гексабұрышты құрылымының механикалық бұзылуы;
- эмульсия фазалық инверсия температурасының (ФИТ) нүктесіндегі температураға дейін төмендеуіне (артуына) байланысты термиялық деструкциялау;
- эмульсиядағы бейорганикалық тұздар мен негіздердің (NaCl, NaOH) электролиттерінің мазмұнын фазалық инверсия шоғырынадағы (ФИШ) нүктесінде арттыру.



Сабын жасау тәжірибесінде сабын желіміне механикалық және термиялық әсерлер вакуумды буландырғыштарда жүргізіледі. Вакуумды буландырғышта сабын желімінің гексабұрышты құрылымының механикалық бұзылуы екінші реттік будың қысым күші мен оның сабын-сілтілі эмульсиясының термиялық тұрақсыздануынан болады.

Екіншілік буды сабын желімін реакция температурасынан ($\sim 145^{\circ}\text{C}$) ФИТ нүктесінің температурасына ($88 \div 90^{\circ}\text{C}$) дейін салқындату кезінде вакуумды буландырғыштағы қысымды 4-тен $0,7 \text{ кгс/см}^2$ дейін төмендету жолымен, өздігінен булану жылуы есебінен алынады. Гексабұрышты құрылымның қабаттарындағы су қайнайды және пайда болған бу оның торларын бұзады.

Сонымен бірге температураны ФИТ нүктесіне дейін төмендету сабын-сілтілі эмульсияны тұрақсыз мицеллярлық күйге М/СМ/С түрлендіреді.

Сабын желімінің сабын-сілтілі эмульсиясын электролиттермен (NaCl , NaOH) өңдеу арқылы тұрақсыздандыру және одан кейін тұндыру арқылы фазаларға бөлу процесі тұзсыздану деп аталады.

Тұзсыздану үрдісінің механизмі. Тұзды шығару үрдісі механизмінің модельін келесі сұлба түрінде ұсынуға болады:

1. Сабын желіміне NaCl және NaOH электролиттерін енгізу сабын-сілтілі эмульсияның дисперсті фазасындағы Na^+ , Cl^- және OH^- иондарының мөлшерін жоғарылатады және мицелла-цилиндрлер қабыршағындағы адсорбциялық-сольватты қабатындағы шоғырын арттыра отырып, фазааралық беттік тартылу мәнін $\sigma_{12} < \sigma_{\text{ККМ}}$ дейін төмендетеді.

2. Адсорбциялық-сольватты қабаттағы электролиттердің шоғырының жоғарылауы оның полярлық топтары мен электролиттердің мономерлері (иондары) арасындағы адгезиялық күштерін арттырады. Бұл кезде адгезия күштерінің жұмысы $A_a = \sigma_{12}(1 + \cos\theta)$ артады және белгілі бір минималды мәнде $\sigma_{12} \approx \sigma_{\text{min}} \ll \sigma_{\text{ККМ}}$ көмірсутек тізбектерінің бірігу күштерінің жұмысынан $A_K = 2\sigma_{12}$ үлкен болады.

3. $A_a > A_K$ кезінде адсорбциялық-сольватты қабат бұзылып, тұзу мицелла-цилиндрлердің жазық мицеллаға трансформацияланумен жүретін фаза аралық беттіктен бөлінуі орын алады. С/М тұрақты эмульсиясы тұрақсыз М/СМ/С күйіне айнала отырып, ары қарай оның М/С эмульсиясына инверсиялануы орын алады.

4. Жазық мицеллалар электролит шоғырына тәуелді ламеллярлы құрылымдар түзеді немесе көмірсутекті тізбектердің гидрофильді сыртқы қабығы және М/С эмульсияларына тән полярлы топтардың өзегі бар кері мицеллаларға айналады.

Жалпы алғанда, сабын желімінің сабын-сілтілі эмульсиясын тұрақсыздандыру және бұзу тиімділігіне механикалық, термиялық және шоғырлық барлық үш фактордың бір мезгілде әсер етуімен ғана қол жеткізуге болады.

Фазалық инверсия нүктесіндегі электролит шоғырының мәні әдетте шекті электролит шоғыры деп аталады; ағылшын тіліндегі әдебиеттерде «максималды шоғыр» терминінің орнына «тұзсыздандыру индексі (salting out index)» термині қолданылады. Электролиттердің максималды шоғырында сабын сілтіде еруін тоқтады.

Шектік шоғыр мәндері тәжірибелік жолмен анықталады. Шектік шоғыр мәні сабындардың май қышқылдарының құрамына айтарлықтай тәуелді болғандықтан, тәжірибелік мәндер әдетте көмірсутек тізбегінің әртүрлі ұзындықтары (C_{10} -нан C_{18} -ге дейін) және әртүрлі майлардан алынған жеке май қышқылдарынан жасалған сабындар үшін анықталады. 1 және 2 кестелерде сабынды тұзсыздандыру кезінде қолданылатын NaOH , KOH электролиттерінің шектік шоғырлары көрсетілген.

Қышқылдар қоспасынан немесе майлар қоспасынан қайнатылған сабынды тұздауға арналған электролиттің шектік шоғыры төмендегі формула бойынша есептеледі:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n x_i C_{i\Sigma} \quad (1)$$

мұндағы:

x_i – i -ші қышқылдың (майдың) шоғыры, масс.үлес;

$C_{i\Sigma}$ – i -ші қышқылды (майды) тұзсыздандыру үшін электролиттің шектік шоғыры, (% , мас.).

Әртүрлі электролиттердің тұзсыздандыруға әсері айтарлықтай кең диапазонда өзгереді және іс жүзінде тұзсыздандыру тиімділігі (ТТ) мәнімен бағаланады. Отандық сабын жасау тәжірибесінде электролиттердің тұзсыздандыру тиімділігінің бірлігіне натрий сабындары үшін каустикалық сода NaOH және калий сабындары үшін каустикалық калий КОН болып табылады. 3 кестеде түрлі электролиттер үшін тұзсыздандыру тиімділігінің мәндері көрсетілген.

Сабынның әртүрлі электролиттермен тұзсыздануын қамтамасыз ету үшін күйдіргіш сілтінің ең жоғары шоғырына (кесте 1) қатысты берілген электролиттің максималды шоғырын (тұзсыздану индекcін) n есе арттыру қажет:

- NaCl үшін $n_{NaCl} = B_{NaOH} / B_{NaCl} = 1 / 0,87 = 1,15$;
- Na_2CO_3 үшін $n_{Na_2CO_3} = B_{NaOH} / B_{Na_2CO_3} = 1 / 0,479 = 2,114$;
- $Na_2B_4O_7$ үшін $n_{Na_2B_4O_7} = B_{NaOH} / B_{Na_2B_4O_7} = 1 / 0,29 = 3,45$.

1 - Кесте – Жеке қышқылдардан қайнатылған сабындарды тұзсыздандыруға арналған электролиттердің шектік шоғырлары

№	Май қышқылдары	Шектік шоғыр, %, мас.	
		каустикалық сода NaOH	каустикалық калий КОН
1	Лауринді	11,9	20,5
2	Миристинді	7,7	15,2
3	Пальмитинді	4,6	9,7
4	Стеаринді	2,7	7,0
5	Олеинді	4,2	8,0
6	Линельді	6,6	10,0
7	Эрукті	-	2,7

2 - Кесте – Жануар майы мен өсімдік майынан қайнатылған сабындарды тұзсыздандыруға арналған электролиттердің шектік шоғырлары

№	Майлардың түрі	Каустикалық соданың NaOH шектік шоғыры, %, мас.
Жануарлар майы		
1	Ірі қара малдың тоң майы	4,8
2	Ұсақ малдың тоң майы	3,6
Өсімдік майлары		
1	Кокос майы	17,7
2	Пальмо ядросы	13,6
3	Пальма	5,0
4	Күнбағыс	4,6
5	Рапс	3,7
6	Мақта	5,3



7	Соя	5,6
8	Зығыр	5,9
Аралас майлар		
1	Тоң май/кокос майы – 85/15	11,5
2	Тоң май/кокос майы – 75/15	14,5

3 - Кесте – Электролиттердің тұзсыздандыру әсерлері

№	Электролит түрі	Тұзсыздандыру тиімділігі, (ТТ)
1	Күйдіргіш натр	1,0
2	Хлорлы натрий	0,87
3	Азотқышқылды натрий	0,56
4	Көмірқышқылды натрий	0,473
5	Күкіртқышқылды натрий	0,435
6	Тетракарбонқышқылды натрий	0,290
7	Үшнатрийфосфат	0,371
8	Метакремнийқышқылды натрий	0,238
9	Күйдіргіш калий	1,0
10	Хлорлы калий	0,76
11	Көмірқышқылды калий	0,55

3 кестеден көрініп тұрғандай NaOH және NaCl ерітінділерінің ең үлкен тұзсыздандыру әсеріне ие екенін көреміз, олар негізінен натрийлі сабындардың тұзсыздандыру үшін қолданылады.

Электролиттердің шектік деңгейден жоғары шоғырларында сабын желімінің сабын-сілтілі эмульсиясының фазалық инверсиясы жүреді: сабын үздіксіз (дисперсиялық) фазаға, ал сілті дисперсті фазаға айналады (сурет 1). Сабын жасау тәжірибесінде фазалық инверсия нүктесі сабынның сілтіде толық еру сәтіне сәйкес келеді. Бұл күйде сабын желімі толығымен екі қабатқа бөлінеді: өзекті сабын және сабынды сілті.

Шектік мәнге қатысты электролит шоғыры неғұрлым көп болса, сілтінің бөлінетін фазасының көлемі соғұрлым аз болатыны анық, демек, алынған глицериннің массасы да азаяды, өйткені глицеринмен сілтінің бір бөлігі болады, себебі сабынның үздіксіз фазасы арқылы дисперсті фаза түрінде «ұсталады». Сондықтан сабын жасау тәжірибесінде электролиттердің шектік шоғырын немесе қажетті тұзсыздандыру индексі сақтау глицеринді тиімді жою сатысында өте маңызды технологиялық операция болып табылады. Идеал тұзсыздандыру индексі бар жүйеде сілті фазасы сабындағы кез келген шоғырында 60% дейін глицеринді мазмұндауы мүмкін (сілтідегі 60% дейінгі глицерин оның шекті электролит шоғыры кезінде глицерин-сілті жүйесіндегі тепе-теңдік таралуына сәйкес келеді).

Үздіксіз сабын жасау технологияларында электролиттің шектік шоғыры сабын-сілтілі эмульсияның рН мәнімен, сондай-ақ электр өткізгіштігін өлшеу арқылы бақыланады (сурет 2).

Седиментация. Сабын желіміндегі электролиттің шектік шоғырға жақын өтпелі аймақтағы сабын-сілтілі эмульсия М/СМ/С (сурет 1) бір-бірінен тығыздығы, тұтқырлығы, сондай-ақ бастапқы сабын-сілтілі С/М эмульсиясымен салыстырғанда компоненттердің құрамы мен шоғыры бойынша ерекшеленетін екі араласпайтын фазадан тұрады: сілтілі және сабынды фазалар. Седиментация (шөгу) нәтижесінде сілтілі фаза ауырлау болғандықтан төмен түседі, ал жеңіл сабынды фаза жоғарыға қалқып шығады. Сілтілік фазасы сабынды сілті деп аталады, ал сабынды фазасы шикі сабын деп аталады.



Седиментация механизмінің үлгісін келесі сұлба арқылы көрсетуге болады. Сабын сілтісінің құрамында су, глицерин және электролиттер бар; шикі сабында –сабынның өзі, су және электролиттер. Сабын-сілтілі эмульсияның сілтісіндегі электролиттердің массалық үлесі, шикі сабын мен сабын сілтісіндегі массалық үлесі бірдей, бірақ глицерин айтарлықтай ерекшеленеді және оның шикі сабын мен сабын сілтісі арасындағы таралуы 5/95 %мас. аралығында болады. Глицериннің фазалар бойынша таралуындағы бұл айырмашылық олардың құрылымына байланысты. Сабынды сілті ерітіндісі – біртекті сұйық фазадан, шикі сабын –мицеллярлы ламеллярлы құрылымды сұйық кристалды фазадан тұрады. Соңғысының қаңқасы сілті қабаттарымен бөлінген екі қатарлы дифильді сабын молекулаларының параллельді пластиналарынан тұрады. Электролиттердің Na^+ , Cl^- және OH^- иондары пластиналардағы сабын молекулаларының полярлық топтарының бетіне адсорбцияланып, адсорбциялық қабат түзеді. Ламеллярлы құрылымдағы сілті қабаттарының қалыңдығы судың 2-ден 1 молекуласына дейін болғандықтан, адсорбциялық қабаттар қабаттық құрылымнан глицерин молекулаларын «ығыстырып шығарады» және оның шикі сабындағы шоғыры 0,3-10,5% дейін төмендейді; глицериннің барлық қалған бөлігі сабын сілтісіне түседі және онымен бірге жүйеден шығарылады.

Сабынды қайнату тәжірибесінде седиментациялау тұндырғыш сепараторларында жүргізіледі. Сепаратор-тұндырғыштың мақсаты сабын желімінің тұрақсызданған сабын-сілтілі эмульсиясын шоғыры 66% өңделмеген, жуылмаған сабынға және глицерин қосылған сабын сілтісіне бөлу. Бөліну пластинкалы құрылымы және глицеринмен байытылған үздіксіз сілті фазасы бар шикі сабынның жаңа сабын-сілті эмульсиясын қалыптастыру үшін жүреді. Сабын желімінің сабынды сілті және шикі сабын фазаларына бөліну дәрежесі 20/80 (%мас.).

Уигнер моделі. Сабынды тұзсыздандыру механизмінің ұсынылған моделінің дұрыстығын және оның нақты үрдіске сәйкестігін растау үшін және салыстыру үшін төменде сілтілі және өзекті сабындағы электролиттер мен глицерин шоғырын есептеу үшін сабын жасау тәжірибесінде кеңінен қолданылатын Уигнер моделі қарастырылады. Модельді ХХ ғасырдың 40-жылдарында американдық инженер Дж.Уигнер жасаған [24]. Уигнер моделі шоғыры 66% өзекті сабынды тұзсыздандыру кезінде тепе-теңдік жағдайында сілтілі сабынның фазаларында электролиттер мен глицерин мөлшерін бақылау және өлшеу нәтижелеріне негізделген.

Уигнер моделі келесілерді растайды:

1. Шоғыры 66% сабын – құрамында су, электролиттер және глицерин бар сілті қабатымен қоршалған $\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{NaO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ сабын тұздарының кристалды гидраттарынан тұрады. Сілтілі қабат сабын кристалды гидраттарында үнемі сақталады және сабынды тұзсыздандыру кезінде олардан бөлінбейді.

2. Гидратты суының құрамында глицерин болады және электролиттер жоқ. Гидратты суындағы глицериннің шоғыры оның сілтілі сұйықтықтағы шоғырына тең.

3. Кристалдық гидраттарды қоршап тұрған гидрат суының глицерин қоспасы мен сілті «сабындағы сілті» деп аталады; кристалдық гидраттармен байланысты емес және өзекті сабын фазасынан тұзсыздандыру үрдісі кезінде бөлінген қалған сілті «бөлінген сабынды сілті» деп аталады.

4. Кристалдық гидраттардағы сабын тұздарының мөлшері әрқашан $< 66\%$ шоғырына эквивалентті. Май қышқылдарының құрамы бойынша 66% асатын сабын кристалды гидраттарды түзбейді және шоғыры $> 66\%$ негізгі сабынға және сабын сілтісіне тұзсыздандыру арқылы бөлінбейді. Шоғыры $> 66\%$ сабынды тұзсыздандыру үшін оны алдымен $< 66\%$ мәніне дейін сілтімен сұйылту керек, бұл кезде кристалды гидраттар түзіледі.



5. Сабынды кристалды гидраттар таза түрінде сабынды тұзсыздандыру және центрифугалау арқылы бөлінбейді: оларда әрқашанда белгілі бір мөлшерде «сабындағы сілті» болады және шоғыры $<66\%$ болады.

Осылайша, Уигнер моделі сабынның құрылымын түсіндіре отырып, бір мезгілде шоғыры 66% өзекті сабын мен сілті құрамындағы май қышқылдарының, глицерин мен электролиттердің негізгі сандық бағалауларын белгілейді. Сабындану реакциясының стехиометриясын және материалдық баланс теңдеулерін пайдалана отырып, сілті және өзекті сабындағы электролиттер мен глицерин шоғырын есептеу үшін келесі формулаларды аламыз:

- сілтідегі NaOH сілтісінің шоғыры:

$$C_{\text{ЩЩ}} = C_{\text{ЩМ}} / [1 - (CC / 66)] \quad (2)$$

- сілтідегі тұздың NaCl шоғыры:

$$C_{\text{СЩ}} = C_{\text{СМ}} / [1 - (CC / 66)] \quad (3)$$

- сілтідегі глицериннің шоғыры:

$$C_{\text{ГЩ}} = C_{\text{ГМ}} / [1 - (CC \cdot 1,09 / 66)] \quad (4)$$

мұндағы:

$C_{\text{ЩМ}}$, $C_{\text{СМ}}$, $C_{\text{ГМ}}$ – сілтінің, тұздың және глицериннің сабындағы шоғыры, % масс;

CC – бөлінген өзекті сабынның сапалық саны, % масс;

1,09 – сабынның натрийлі тұздарының молекулалық массасының сабындағы май қышқылдарына қатынасы.

Уигнер моделі сабын мен сілті құрамындағы электролиттер мен глицериннің шоғырын және шығынын есептеу үшін пайдалы. Дегенмен, модельді мұқият пайдалану керек, себебі оның негізінде жатқан сабынның кристалды гидрат құрылымы және гидратты суындағы глицерин шоғыры туралы идеялар сабын туралы заманауи білімге қарама-қайшы келеді. Бұл қарама-қайшылықтар келесілерге әкеледі:

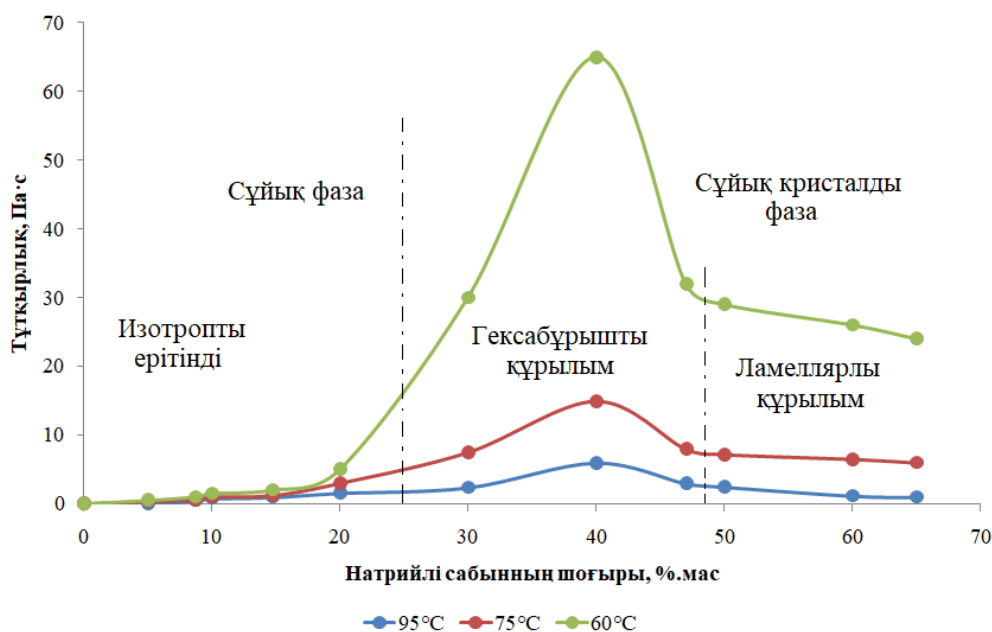
1. Үлгіде қабылданған сабынның кристалды гидраттық құрылымы сабын ерітіндісінің 50°C төмен температурасында байқалатын гельдер мен коагельдерге ғана тән. Өзекті сабынды тұзсыздандыру $80\div 90^\circ\text{C}$ температурада жүзеге асырылады және ол сұйық кристалды фазада және жоғарыда көрсетілгендей гексабұрышты немесе пластинкалы құрылымға ие.

2. Гидратты судағы және сілті құрамындағы глицерин шоғырының болжамды қабылданған теңдігі, оның ішінде «сабындағы сілті» қате және оны есептеулерде қолдану іс жүзінде байқалғанмен салыстырғанда шикі сабындағы глицериннің мазмұны 10 есе немесе одан да көп жоғары болатыны бағаланған.

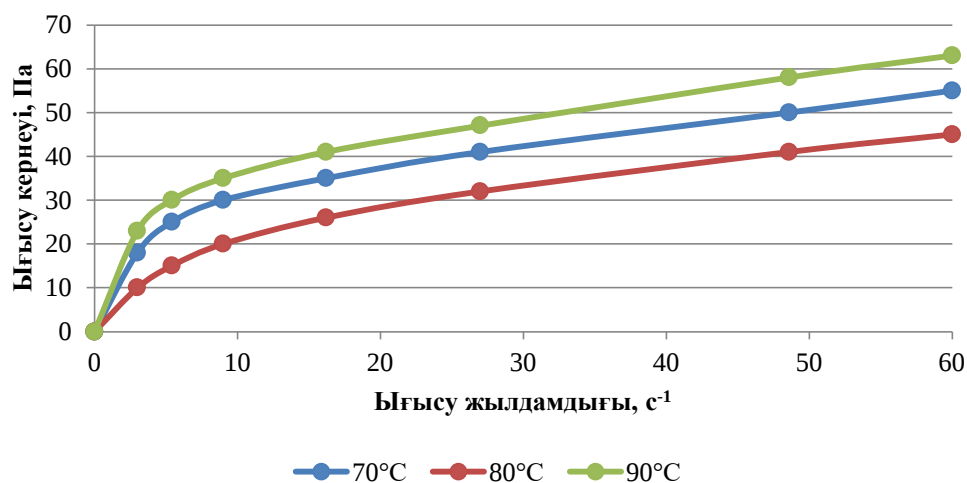
$C_{10}\text{-}C_{18}$ май қышқылдарының натрийлі сабындарының сулы ерітінділері псевдопластикалық сұйықтықтардың шоғырына қарамастан, $60\div 90^\circ\text{C}$ температуралар аралығында айқын псевдопластикалық қасиеттерді көрсететін, Ньютондық емес сұйықтықтар болып табылады (сурет 5). Тұтқырлықтың $\tau=0$ кезінде μ_0 -дан $\tau\rightarrow\infty$ кезіндегі μ_k дейін өзгеруімен ығысу кернеуінің ең төменгі мәндерінде псевдопластикалық сұйықтықтар ағып бастайды. $\tau = f(w_c)$ тәуелділікке ие сұйықтықтар үшін (сурет 5, 2 қисық) тұтқырлық белгілі бір максимум μ_0 мәнінен псевтопластикалық сұйықтықтарды сипаттайтын минималды тұрақты μ_k мәніне дейін өзгереді. 5 сурет 4 қисыққа тән $\tau = f(w_c)$ тәуелділікке ие сұйықтықтар қысымның берілуімен бірден ағып, тұтқырлықтың минималды мәнінен белгілі бір тұрақты мәніне дейін тұрақты түрде жоғарылайды.



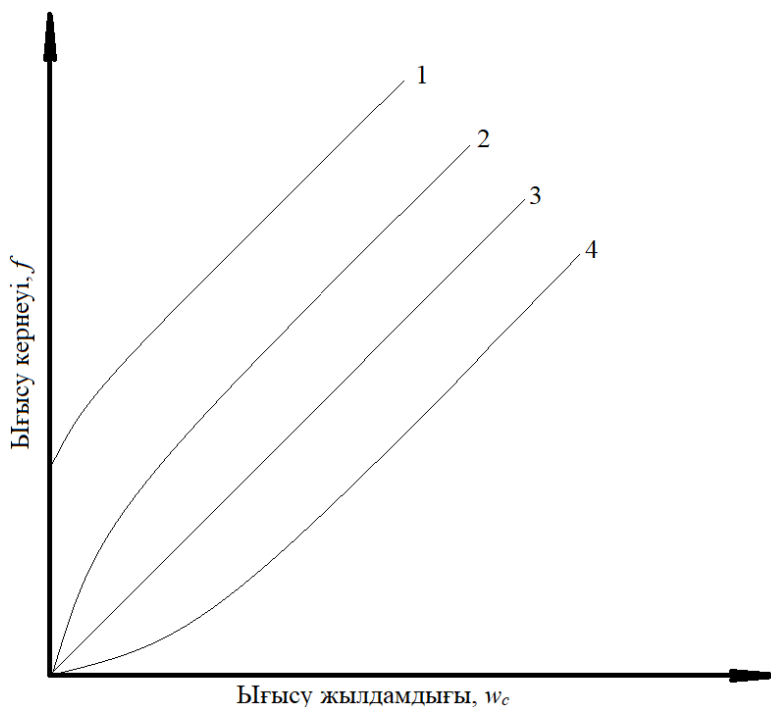
Натрийлі сабындардың сулы ерітінділері үшін (сурет 3), сабынның төмен шоғырларында (<25%) ерітіндінің ағуы бірден басталады, тұтқырлық минималды мәннен белгілі максимумға дейін артады, оның ағуын бастау үшін ығысу кернеуі шектеусіз псевдопластикалық сұйықтыққа сәйкес келеді.



3 - сурет – Натрийлі сабынның сулы ерітінділері тұтқырлығының шоғыр мен температураға тәуелділігі: ●●● – тәжірибелік мәндер; — - есептік мәндер



4 - сурет – Ығысу жылдамдығына және натрийлі өзекті сабынның температурасына ығысу кернеуінің тәуелділігі (сабын негізі 63%)



5 - сурет – Сұйықтық ағынының жылдамдығы градиентіне тәуелді ығысу кернеуінің өзгеруі: 1 - пластикалық сұйықтық; 2 - псевдопластикалық сұйықтық; 3 - тұтқыр (ньютондық) сұйықтық; 4 - шектік ығысу кернеуі жоқ псевдопластикалық сұйықтық.

Сабын шоғыры 40-60% аралығында тұтқырлық керісінше өзгереді - псевдопластикалық сұйықтыққа сәйкес келетін белгілі бір максималды мәннен минималды тұрақты мәнге дейін. Бұл шарттардағы ығысу кернеуінің жоғарылауымен белгілі бір шектік ығысу кернеуі τ_0 болатын сұйықтық тұтқырлығына асимптотикалық жақындайтын тұтқырлыққа ие болады (сурет 4).

Натрийлі сабындардың сулы ерітінділері тұтқырлығының модельдік құрылымы олардың реологиялық сипаттамаларының, фазалық құрамы мен құрылымына тәуелділігіне негізделген және келесі түсініктермен ұсынылады.

1. Натрийлі сабындардың май қышқылдарының сулы ерітінділерінің қарама-қарсы псевдопластикалық қасиеттерінің болуы және олардың тұтқырлығының Ньютон сұйықтарымен салыстырғанда мөлшерден тыс өзгеруі сабындардың мицеллярлық күйдегі фазалық құрамы мен құрылымына байланысты болады. Сабын шоғыры 25% төмен және 60°C жоғары температурада оның сулы ерітіндісі мицеллярлық изотропты күйдегі сұйық фаза болып табылады. Сабын ерітінділерінің тұтқырлығының өзгеруінің сызықтық емес сипаты, олардың изотропты қасиеттеріне қарамастан, мицеллалардың геометриялық пішіні мен өлшемдерінің өзгеруімен анықталады: сфералық - төмен шоғырында, дискілік және цилиндрлік - жоғары шоғырында. Мицеллалардың пішіні мен мөлшері ішкі үйкеліс кернеуін және соның салдарынан ерітіндінің тұтқырлығын өзгертеді.

2. 25-400% шоғырлардағы сабын ерітінділері сұйық кристалды фазаның мезоморфты құрылымдары түрінде болады. Бұл құрылымдардың құрылымы агрегаттардағы (мицеллалар) сабын молекулаларының қаптамасының пішініне және

формалардың кристалдық тордағы орналасуына байланысты болады. 60-120°C температураларда қазандық әдісімен сабынды қайнату технологиясының бөлігі ретінде сұйық кристалды фазада шоғыры ~ 53% сабын желімі түріндегі жуылған сабын және 63% шоғырлы өзекті сабын болады.

3. 35-45% шоғырлы сабын желім секілді сабын ерітінділері жеткілікті дәрежеде тұтқыр (сурет 3) және тәжірибе көрсеткендей, ауырлық күшінің әсерінен ағып кетпейді. Мұндай сабындардың жоғары тұтқырлығы олардың гексабұрышты құрылымымен түсіндіріледі, ол мицеллалар – цилиндрлер бойымен бір өлшемде сұйық және екі өлшемді гексабұрышты тордың қалған екі өлшемінде кристалды болады.

Сабын шоғыры жоғарылаған сайын гексабұрышты тор тығыздалады және цилиндрлер арасындағы судың қалыңдығы азаяды. Нәтижесінде ығысу кернеуі белгілі бір шекті мәнге дейін артады, оның мәні неғұрлым көп болса, ерітіндінің температурасы соғұрлым төмен болады. Ығысу кернеуінің өзгеруіне пропорционалды ерітіндінің тұтқырлығы да өзгереді.

4. 60% және одан жоғары шоғырлы өзекті сабын секілді сабын ерітінділері орташа сабынмен салыстырғанда, 3 суреттен көрініп тұрғандай, салыстырмалы түрде төмен тұтқырлық пен ауырлық күшінің әсерінен ағынға ие. 40% және одан жоғары шоғырынан басталатын бұл сабындар бірдей қалыңдықтағы және белгісіз ұзындықтағы ауыспалы иілгіш пластиналар дестелері түріндегі қаптамалардан және су қабаттарынан тұратын пластинкалы құрылымға ие. Пластиналар бір-біріне қатысты оңай қозғалады, бұл тіпті жоғары шоғырлы өзекті сабындар үшін салыстырмалы түрде жоғары аққыштықты және төмен тұтқырлықты қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, температураның жоғарылауымен пластиналардың қалыңдығы азаяды, олардың саны артады, бұл да аққыштықты арттырады және тұтқырлықты төмендетеді. Пластиналар арасындағы су қабатының қалыңдығы бір молекуладан бірнеше молекулаға дейін ауытқиды және сабын шоғырына байланысты болады: шоғыр неғұрлым жоғары болса, су қабатының қалыңдығы соғұрлым аз болады, атап айтқанда 70% немесе одан да көп су қабаты бір молекуладан тұрады. Пластиналар арасындағы су қабатының қалыңдығын азайту ығысу кернеуінің ұлғаюын баяулатады, оның мәні бір молекуланың су қабатының қалыңдығымен сол кездегі максималды ығысу кернеуінің мәніне тең болады (сурет 4) және $\chi = f(w_c)$ тәуелділігі пластикалық сұйықтықтың қасиеттерімен сызықтық түрде болады.

3 суреттен көрініп тұрғандай сабынның сулы ерітінділерінің тұтқырлығының сұйық фаза аймағында да, сұйық кристалды фазада да шоғыры мен температурасының өзгеруіне тәуелділігі симметриялы қоңырау тәрізді қисық пішінге ие екендігі анық және пішіні бойынша Гаусс қалыпты таралуына ұқсас [25]. Сабын ерітінділерінің тұтқырлығын сипаттау үшін Гаусс таралу формуласын қолданып, эмпирикалық формулалар алынды:

- сұйық фазаның изотропты ерітіндісі үшін:

$$\mu = 0,613 \cdot 10^6 / [t^4 \exp(|C - 0,205|)^{1/3}]$$

$$0,05 < C < 0,205$$

(5)

$$60 < t < 95$$

- сұйық кристалды фазаның гексабұрышты және ламеллярлы құрылымдары үшін:

$$\mu = 0,831 \cdot 10^{12} / [t^{6,25} \exp(|C - 0,4|)^{1/8}]$$

$$0,25 < C < 0,65$$

(6)

$$60 < t < 95$$

мұндағы:

μ – динамикалық тұтқырлық, Па·с;

C – сабынның шоғыры, мас.үлес;

t – ерітіндінің температурасы, °C.

4 - Кесте – Натрийлі сабындардың сулы ерітінділерінің динамикалық тұтқырлығы

Сабынның шоғыры, мас. %		8,7	14,5	20,5	40,0	47,0	60,0
Тұтқырлық, $\mu \cdot 10^3$ Па·с							
$t = 60^\circ C$	тәжі.	26,5	37,0	47,3	6400	3110	2500
	есеп.	28,8	31,8	47,3	6399	3123	2822
$t = 75^\circ C$	тәжі.	9,0	12,6	19,15	1550	780	640
	есеп.	10,8	13,0	19,3	1586	774	700
$t = 95^\circ C$	тәжі.	4,9	6,1	7,9	390	290	280
	есеп.	4,5	5,05	7,5	362	176	160

(5) және (6) теңдеулер бойынша есептелген тұтқырлық мәндері (кесте 4) тәжірибелік мәндермен жақсы сәйкес келеді, қате орта есеппен 10%. Бұл (5) және (6) теңдеулерін өнеркәсіптік сабын өндірісінің қондырғыларын, атап айтқанда сабын қайнату қазандықтары мен реакторларын жобалау кезінде тұтқырлық мәндерін бағалау үшін қолдануға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Қалдық май/жануар майы/сулы-сілті ерітінді реакциялық қоспасының механикалық араластыру кезіндегі өздігінен эмульсиялану механизмінің моделі ұсынылды. Эмульгатор агент ретінде дисперстік жүйенің өзінде түзілетін сабын қолданылды. Сабынды-сілтілі эмульсияның фазалық құрамы мен құрылымы орнатылды. Сабынның шоғырына тәуелді эмульсия гексабұрышты құрылымға немесе ламеллярлы құрылымға ие болатыны көрсетілді. Механикалық және термиялық әсер ету жолымен сабынды-сілтілі эмульсияның бұзылу механизмі анықталды. Сабын желімінен глицеринді бөлу кезіндегі электролиттердің тұзсыздандыру механизмі орнатылды. Сілті мен шикі сабын арасындағы глицериннің таралуы олардың түрлі құрылымды фазаларымен анықталатыны көрсетілді: әлсіз сілтілі фаза үшін сұйық гомогенді және сабын үшін сұйықкристалды ламеллярлы фаза, ал сабындағы глицериннің шоғыры ламеллярлы құрылымдағы адсорбатты-сольватты қабаттағы оның мөлшеріне тәуелді болады. Сабынды-сілтілі эмульсияны тұрақтандыру мен бұзудың тиімді шарттары анықталды.

Сабынның шоғырына тәуелсіз 60-90°C температуралар аралығында псевдопластиналдық қасиетті Ньютондық емес сұйықтықтар болып табылатын натрийлі сабын ерітіндісінің тұтқырлық моделі өңделді. Модельдік өңдеулер мицеллалардың геометриялық пішіні мен өлшемімен, мицеллалардағы молекулалардың орналасу формаларымен және осы формалардың гексабұрышты және ламеллярлы құрылымдардың кристалдық торларында орналасуымен анықталатын сабынның фазалық құрамы мен құрылымын қарастыруға негізделген. Тұтқырлықты сипаттау үшін эмперикалық формулалар құрастырылды. Формулалардың дұрыстығы есептік және тәжірибелік мәліметтерді салыстыру жолымен тексерілді: орташа қате мәні салыстырмалы түрде 10%.

ӘДЕБИЕТ



- [1] Soubhik K. Bardhan, Shelaka Gupta, M.E. Gorman, M. Ali Haider. Biorenewable химикаттар: Шиколыктер, tehnologiyalar zhāne azyk-tylik öndirisinimen qaqtyğys. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, 51-t., qarasha. B. 506–520. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.013>.
- [2] A.S. Nizami, M. Rehan, M. Waqas, M. Naqvi, O.K.M. Ouda, K. Shahzad, R. Miandad, M.Z. Khan, M. Syamsiro, I.M.I. Ismail, Deepak Pant. Qaldyqtardy kásipshilikpen öñdeytin biozauyttar: Damu üderisindegi elderde dōngeles ekonomikalardy iske asyru. *Bioresource Technology*. 2017, 241-t., qazan. B. 1101–1117. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.097>.
- [3] Aristotle T. Ubando, Charles B. Felix, Wei-Hsin Chen. Dōngeles bioekonomikadagy biozauyttar: Keñ qamtamasyzdau. *Bioresource Technology*. 2020, 299-t., nauryz. 122585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122585>.
- [4] Shikha Dahiya, A. Naresh Kumar, J. Shanthi Sravan, Sulogna Chatterjee, Omprakash Sarkar, S. Venkata Mohan. Azyk-tylik qaldyqtaryn bioēnde: Dōngeles bioekonomika yshin tyraqty strategiya. *Bioresource Technology*. 2018, 248-t., qañtar. B. 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.176>.
- [5] Luz A. Rincón, Juan G. Cadavid, Alvaro Orjuela. Qoldanylğan aspazdyq maýdy qalalyq biozauyttar yshin oleohimikalyq shikolyk retinde paydalanu – Bogotá, Kolumbiyadağy zertteý. *Waste Management*. 2019, 88-t., 1 säuir. B. 200–210. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.042>.
- [6] Mohamad R. Khodadadi, Irene Malpartida, Chi-Wing Tsang, Carol Sze Ki Lin, Christophe Len. Qoldanylğan aspazdyq maýdy katalitikalyq türde öñdeýdegi soñgy jañalyqtar. *Molecular Catalysis*. 2020, 494-t., qazan. 111128. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2020.111128>.
- [7] Alvaro Orjuela, James Clark. Qoldanylğan aspazdyq maýdan jasyly himikattar: Bağyttar, qiyndyqtar men mümkindikter. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2020, 26-t., jeltoqsan. 100369. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100369>.
- [8] T.D. Tsoutsos, S. Tournaki, O. Paraíba, S.D. Kaminaris. Europada aspazdyq maý – biodizel öndiris tizbegi: Uzdik täjiribeler men ekologia lyq tiimdilikti bağalau. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, 54-t., aqpan. B. 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.039>.
- [9] Carlos Daniel Mandolesi de Araújo, Claudia Cristina de Andrade, Erika de Souza e Silva, Francisco Antonio Dupas. Qoldanylğan aspazdyq maýdan biodizel öndirisi: Sholu. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013, 27-t., qarasha. B. 445–452. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.014>.
- [10] David Chiaramonti, Marco Buffi, Andrea Maria Rizzo, Matteo Prussi, Francesco Martelli. Qoldanylğan aspazdyq maýdy katalitikalyq piroliz arqyly bio-kōmirsōgter: Tyraqty aviazhāne jol otynyna qarai. *Energy Procedia*. 2015, 82-t., jeltoqsan. B. 343–349. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.800>.
- [11] Alberto Mannu, Monica Ferro, Greta Colombo Dugoni, Walter Panzeri, Giacomo Luigi Petretto, Paolo Urgeghe, Andrea Mele. Qoldanylğan aspazdyq maýdy qayta öñdeý tehnologiyasyn jaqsartu: Biodizeldik emes qoldanuga arналған himiyalyq "saq" belgisi. *Waste Management*. 2019, 96-t., tamyz. B. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.014>.
- [12] Barbara Mendecka, Lidia Lombardi, Joachim Koziol. Qoldanylğan aspazdyq maýdan biodizel öndirisi tehnologiyalaryn bağalaw yshin iqtimaldy köp ölmēmdi taldau. *Renewable Energy*. 2020, 147-t., nauryz. B. 2542–2553. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.037>.
- [13] Jerald A. Lalman, David M. Bagley. Olein zhāne stearin qyshqyldarynyñ anaerobty qyradyğy zhāne metanotuzilisimine iqpalday. *Water Research*. 2001, 35(12)-shyğarma. B. 2975–2983. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00593-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00593-5).



- [14] Vaibhav V. Goud, Anand V. Patwardhan, Narayan C. Pradhan. Mahua (*Madhumica indica*) мағұн перкис сутегимен epoksidteý zertteýleri. *Bioresource Technology*. 2006, 97(12). B. 1365–1371. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.07.004>.
- [15] Ahmad Syafiq Ahmad Hazmi, Min Min Aung, Luqman Chuah Abdullah, Mek Zah Salleh, Mohd Hilmi Mahmood. Epoksidteý zhәне shenberdi ashy arqyly Yatropha maý negizinde poliol öndiru. *Industrial Crops and Products*. 2013, 50-t., qazan. B. 563–567. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.003>.
- [16] Venu Babu Borugadda, Vaibhav V. Goud. Epoksiddelgen aspazdyq maý men onyn metil esterlerin gidroksillau zhәне gekzanoyllau: ýderisti optimaldau zhәне fizikalyq-himiyalyq sipattamasy. *Industrial Crops and Products*. 2019, 133-t., shilde. B. 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.069>.
- [17] Guodong Feng, Lihong Hu, Yan Ma, Puyou Jia, Yun Hu, Meng Zhang, Chengguo Liu, Yonghong Zhou. Qoldanylğan aspazdyq maý men limon qyshqyly negizinde PVC yshin effektivti bio-negizdelgen plastifikator: sintezi men baғalau. *Journal of Cleaner Production*. 2018, 189-t., shilde. B. 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.085>.
- [18] Andreia H. Suzuki, Bruno G. Botelho, Leandro S. Oliveira, Adriana S. Franca. Qoldanylğan aspazdyq maýdy epoksidteý arqyly тырақты plastifikator retinde PVC пленкаларында qoldanu. *European Polymer Journal*. 2018, 99-t., aqpan. B. 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.12.014>.
- [19] Ting Zheng, Zhenyu Wu, Qinglong Xie, Jiaojiao Fang, Yunchen Hu, Meizhen Lu, Fan Xia, Yong Nie, Jianbing Ji. Qoldanylğan aspazdyq maý metil esterleriniñ qurylymyn ózgeretu: ulandıruysh dioctyl phthalattyn orny basatyn tazartylğan plastifikator. *Journal of Cleaner Production*. 2018, 186-t., mawsym. B. 1021–1030. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.175>.
- [20] Maria Kurańska, Hynek Beneš, Aleksander Prociak, Olga Trhlíková, Zuzana Walterová, Wioletta Stochlińska. Qoldanylğan aspazdyq maýdy birtektili zhәне әrtырli katalizatorlarmen epoksidteý zertteýi. *Journal of Cleaner Production*. 2019, 236-t., qaraşa. 117615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117615>.
- [21] Lingxiao Gong, Weiguo Song, Xiaoqin Zeng, Xiaoyan Tang, Guohua Zhong, Meiling Liu. Polyvinyl chloride (PVC) üshin bio-negizdelgen plastifikatorlar: Тырақтылық, qajettilikter, klassifikatsiyalar zhәне dizayn strategiyalary. *Journal of Cleaner Production*. 2021, 278-t., 1 қаңтар. 123928. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123928>.
- [22] Yu-Cheng Lin, Chien-Hong Cheng, Ying-Ming Tzou, Wen-Hui Chung, Yuan-Kai Wang. Qoldanylğan aspazdyq maýdan aldyn ala emdeýsiz epoksiddelgen bio-negizdelgen plastifikatorlar. *Journal of Cleaner Production*. 2021, 281-t., 10 қаңтар. 124557. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124557>.
- [23] Xin Wang, Jiandong Wu, Guodong Feng, Lihong Hu, Chengguo Liu, Puyou Jia. Epoksiddelgen qoldanylğan aspazdyq maý men butandioldan jaña plastifikator: Synthes, qurylymdy taldaу, zhylu zhәне mexanikalyq qasiетter. *Journal of Cleaner Production*. 2021, 278-t., 1 қаңтар. 123992. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123992>.
- [24] Andrey A. Yakovlev, Elena N. Ogneva, Yuriy A. Kurmaz, Nadezhda A. Rodikova. Qoldanylğan aspazdyq maýdan alyngan bio-negizdelgen epoksiddelgen plastifikator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, 640-t., 3-şıғарма. 032021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032021>.
- [25] A.A. Yakovlev, E.N. Ogneva, Yu.A. Kurmaz. Qoldanylğan aspazdyq maý negizinde bio-negizdelgen plastifikatorlar men zharaiqtardy jasau üderisteri. *Zhasyl himiya zhәне texnologiya*. 2021, 3(1). B. 21–30. <https://doi.org/10.32962/2618-9690-2021-3-1-21-30>.

REFERENCES



- [1] Soubhik K. Bardhan, Shelaka Gupta, M.E. Gorman, M. Ali Haider. Biorenewable chemicals: Feedstocks, technologies and the conflict with food production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 51, November 2015, Pages 506-520. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.013>.
- [2] A.S. Nizami, M. Rehan, M. Waqas, M. Naqvi, O.K.M Ouda, K. Shahzad, R. Miandad, M.Z. Khan, M. Syamsiro, I.M.I. Ismail, Deepak Pant. Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries. *Bioresource Technology*. Volume 241, October 2017, Pages 1101-1117. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.097>.
- [3] Aristotle T. Ubando, Charles B. Felix, Wei-Hsin Chen. Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. *Bioresource Technology*. Volume 299, March 2020, 122585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122585>.
- [4] Shikha Dahiya, A. Naresh Kumar, J. Shanthi Sravan, Sulogna Chatterjee, Omprakash Sarkar, S. Venkata Mohan. Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. *Bioresource Technology*. Volume 248, Part A, January 2018, Pages 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.176>.
- [5] Luz A. Rincón, Juan G. Cadavid, Alvaro Orjuela. Used cooking oils as potential oleochemical feedstock for urban biorefineries – Study case in Bogota, Colombia. *Waste Management*. Volume 88, 1 April 2019, Pages 200-210. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.042>.
- [6] Mohamad R. Khodadadi, Irene Malpartida, Chi-Wing Tsang, Carol Sze Ki Lin, Christophe Len. Recent advances on the catalytic conversion of waste cooking oil. *Molecular Catalysis*. Volume 494, October 2020, 111128. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2020.111128>.
- [7] Alvaro Orjuela, James Clark. Green chemicals from used cooking oils: Trends, challenges, and opportunities. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. Volume 26, December 2020, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100369>.
- [8] T.D. Tsoutsos, S. Tournaki, O. Paraíba, S.D. Kaminaris. The Used Cooking Oil-to-biodiesel chain in Europe assessment of best practices and environmental performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 54, February 2016, Pages 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.039>.
- [9] Carlos Daniel Mandolesi de Araújo, Claudia Cristina de Andrade, Erika de Souza e Silva, Francisco Antonio Dupas. Biodiesel production from used cooking oil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 27, November 2013, Pages 445-452. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.014>.
- [10] David Chiaramonti, Marco Buffi, Andrea Maria Rizzo, Matteo Prussi, Francesco Martelli. Bio-Hydrocarbons through Catalytic Pyrolysis of Used Cooking Oils: Towards Sustainable Jet and Road Fuels. *Energy Procedia*. Volume 82, December 2015, Pages 343-349. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.800>.
- [11] Alberto Mannu, Monica Ferro, Greta Colombo Dugoni, Walter Panzeri, Giacomo Luigi Petretto, Paolo Urgeghe, Andrea Mele. Improving the recycling technology of waste cooking oils: Chemical fingerprint as tool for non-biodiesel application. *Waste Management*. Volume 96, 1 August 2019, Pages 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.014>.
- [12] Barbara Mendecka, Lidia Lombardi, Joachim Koziol. Probabilistic multi-criteria analysis for evaluation of biodiesel production technologies from used cooking oil. *Renewable Energy*. Volume 147, Part 1, March 2020, Pages 2542-2553. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.037>.
- [13] Jerald A Lalman, David M Bagley. Anaerobic degradation and methanogenic inhibitory effects of oleic and stearic acids. *Water Research*. Volume 35, Issue 12, August 2001, Pages 2975-2983. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00593-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00593-5).



- [14] Vaibhav V. Goud, Anand V. Patwardhan, Narayan C. Pradhan. Studies on the epoxidation of mahua oil (*Madhumica indica*) by hydrogen peroxide. *Bioresource Technology*. Volume 97, Issue 12, August 2006, Pages 1365-1371. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.07.004>.
- [15] Ahmad Syafiq Ahmad Hazmi, Min Min Aung, Luqman Chuah Abdullah, Mek Zah Salleh, Mohd Hilmi Mahmood. Producing *Jatropha* oil-based polyol via epoxidation and ring opening. *Industrial Crops and Products*. Volume 50, October 2013, Pages 563-567. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.003>.
- [16] Venu Babu Borugadda, Vaibhav V. Goud. Hydroxylation and hexanoylation of epoxidized waste cooking oil and epoxidized waste cooking oil methyl esters: Process optimization and physico-chemical characterization. *Industrial Crops and Products*. Volume 133, July 2019, Pages 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.069>.
- [17] Guodong Feng, Lihong Hu, Yan Ma, Puyou Jia, Yun Hu, Meng Zhang, Chengguo Liu, Yonghong Zhou. An efficient bio-based plasticizer for poly (vinyl chloride) from waste cooking oil and citric acid: Synthesis and evaluation in PVC films. *Journal of Cleaner Production*. Volume 189, 10 July 2018, Pages 334-343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.085>.
- [18] Andreia H. Suzuki, Bruno G. Botelho, Leandro S. Oliveira, Adriana S. Franca. Sustainable synthesis of epoxidized waste cooking oil and its application as a plasticizer for polyvinyl chloride films. *European Polymer Journal*. Volume 99, February 2018, Pages 142-149. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.12.014>.
- [19] Ting Zheng, Zhenyu Wu, Qinglong Xie, Jiaojiao Fang, Yunchen Hu, Meizhen Lu, Fan Xia, Yong Nie, Jianbing Ji. Structural modification of waste cooking oil methyl esters as cleaner plasticizer to substitute toxic dioctyl phthalate. *Journal of Cleaner Production*. Volume 186, 10 June 2018, Pages 1021-1030. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.175>.
- [20] Maria Kurańska, Hynek Beneš, Aleksander Prociak, Olga Trhlíková, Zuzana Walterová, Wioletta Stochlińska. Investigation of epoxidation of used cooking oils with homogeneous and heterogeneous catalysts. *Journal of Cleaner Production*. Volume 236, 1 November 2019, 117615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117615>.
- [21] Plesovskikh V.A., Bezdenzhnykh A.A. Physico-chemical and thermophysical properties of substances and materials of soap and cosmetic industries (reference and information collection). Moscow, Pishchepromizdat Publ., 2001. 138 p. [In Russian].
- [22] Plesovskikh V.A., Dubovik O.A., Bezdenzhnykh A.A. Physico-chemistry and technology of soap production. St. Petersburg, Himizdat Publ., 2007. 336 p. [In Russian].
- [23] Rocha-filho P., Maruno M., Ferrari M., Topan J. Liquid crystal formation from sunflower oil: Long term stability studies. *Molecules*. 2016, V. 21, no. 6, article 680.
- [24] Wigner J.H. Soap Manufacture. The Chemical Process // New York: Chem.Publishing Co.-1940. -p.60.
- [25] Hudson D. Statistics for Physicists // M.: Mir. - 1970. - 296 p.

**Жумагулова Г.С., Корганбаев Б.Н., Кочеров Е.Н., Раматуллаева Л.И.,
Колесников А.С.**

**СНИЖЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ
СРЕДУ СМЕСЕЙ ОТХОДОВ ПИЩЕВЫХ МАСЕЛ ПУТЕМ ИЗУЧЕНИЯ ИХ
РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Аннотация. В зависимости от способа приготовления и условий хранения остатки отработанного растительного масла могут содержать свободные жирные кислоты, влагу, минеральные вещества, частично ацилглицериды, а также углеводороды, альдегиды, кетоны, пероксиды, олигомеры, содержащие фосфор, серу и азот и т.д. Кроме

того, хотя основная часть используемых пищевых масел (до 95%) представляет собой очищенные триацилглицериды, содержащиеся в них примеси не только делают отработанные масла непригодными для пищевых или кормовых целей, но и превращают их в проблемное сырье для дальнейшей переработки. По этим причинам актуальной является разработка метода переработки отходов отработанного кулинарного масла, не требующего предварительной обработки перед дальнейшей переработкой. Представлены результаты исследований по использованию отходов отработанного пищевого масла в качестве вторичного сырья при производстве товаров бытовой химии и санитарно-гигиенических моющих средств. Разработана модель вязкости растворов натриевого мыла, представляющих собой неньютоновские жидкости с псевдотромбоцитарными свойствами, независимо от концентрации мыла в диапазоне температур 60-90°C. Модельные исследования основаны на рассмотрении фазового состава и структуры мыла, которая определяется геометрической формой и размерами мицелл, расположением молекул в мицеллах и расположением этих форм в кристаллических решетках гексагональной и ламеллярной структурой. Для описания вязкости были разработаны эмпирические формулы. Правильность формул проверялась путем сравнения расчетных и экспериментальных данных: среднее значение погрешности составляет около 10%. Результаты представленных исследований применимы для совершенствования процесса производства санитарно-гигиенического мыла с использованием в качестве вторичного сырья отработанного кулинарного масла.

Ключевые слова: отходы пищевых масел; утилизация; мыльно-щелочной раствор; реологические свойства; вязкость.

**Zhumagulova G.S., Korganbayev B.N., Kocherov Ye.N., Ramatullayeva L.I.,
Kolesnicov A.S.**

REDUCING THE ANTHROPOGENIC ENVIRONMENTAL IMPACT OF EDIBLE OIL WASTE MIXTURES THROUGH STUDYING RHEOLOGICAL PROPERTIES

Annotation. Depending on the method of preparation and storage conditions, waste vegetable oil residues may contain free fatty acids, moisture, mineral substances, partially acylglycerides, as well as hydrocarbons, aldehydes, ketones, peroxides, oligomers containing phosphorus, sulfur and nitrogen, etc. In addition, although the bulk of the edible oils used (up to 95%) are purified triacylglycerides, the impurities they contain not only make waste oils unsuitable for food or feed purposes, but also turn them into problematic raw materials for further processing. For these reasons, the development of a method for recycling waste cooking oil that does not require preliminary treatment before further processing is relevant. The article presents the results of studies on the use of waste edible oil as a secondary raw material in the production of household chemicals and sanitary and hygienic detergents. A model of viscosity of sodium soap solutions, which are non-Newtonian fluids with pseudoplatelet properties, regardless of soap concentration in the temperature range of 60-90°C, has been developed. Model studies are based on consideration of the phase composition and structure of soap, which is determined by the geometric shape and size of micelles, the arrangement of molecules in micelles and the arrangement of these forms in crystal lattices of hexagonal and lamellar structure. Empirical formulas have been developed to describe viscosity. The correctness of the formulas has been verified by comparing calculated and experimental data: the average error is about 10%. The results of the presented studies are applicable to improving the process of producing sanitary and hygienic soap using waste cooking oil as a secondary raw material.

Key words: waste edible oils; disposal; soap-alkaline solution; rheological properties; viscosity.