



ӘОЖ 67.08

ГТАХР 87.53.13

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.97(1).38

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

М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

E-mail: Erkebulan083@mail.ru

### ҚОЛДАНЫЛҒАН ТАҒАМДЫҚ МАЙ ҚАЛДЫҚТАРЫН ОЛЕОХИМИЯЛЫҚ ШИКІЗАТ РЕТІНДЕ ҚОЛДАНУ ЖОЛЫМЕН ҚОРШАҒАН ОРТАҒА АНТРОПОГЕНДІК ӘСЕРІН ШЕКТЕУ

**Аңдатпа.** Қолданылған тағамдық май қалдықтарын құнды өнімдер алуға екіншілей шикізат ретінде қажетке жаратудың қиындықтары мен болашақ мүмкіндіктерін айқындау үшін, қайта өңдеуде қолданылатын үрдістерді терең зерттеу қажеттілігі туындайды және өзекті мәселе болып табылады. Мақалада қолданылған тағамдық май қалдықтарының қоршаған орта компоненттеріне кері әсері, су бұру кәріз жүйелерінің кептеліп, ағынды сулардың уытты заттармен ластану сипаттамасы келтірілген. Қолданылған тағамдық май қалдықтарының тұрмыстық химиялық заттарды синтездеуде, санитарлық гигиеналық тазалық өнімдерін алуға қайталама шикізат ретінде қолданылу мүмкіндігі сипатталған. Қолданылған тағамдық май қалдықтарының олеохимиялық шикізат ретінде қолданылу әлеуетін бағалау нәтижелері келтірілген. Тағамдық май қалдықтарынан санитарлық гигиеналық сабын алу үрдісін кинетикалық зерттеу нәтижелері ұсынылған. Бейтараптандыру, сабындану және күрделі май қышқылдарының сабындану реакциялары сипатталған. Бейтараптандыру және сабындану реакцияларының, күрделі май қышқылдарының сабындану реакциясының жылдамдық кинетикасы есептелген. Температураға тәуелді реакция жылдамдығының константасы Аррениус теңдеуімен сипатталды. Белсендіру энергиясының және экспоненциалды көбейткіш факторының мәндері анықталды. Кинетикалық модельдердің сәйкестігі мен дұрыстығы есептік және тәжірибелік мәліметтерді салыстыру жолымен тексерілді: орташа қателік мәні салыстырмалы түрде 5-10% аралығында болды. Ұсынылған зерттеу нәтижелері орасан көлемде түзілетін тағамдық май қалдықтарын екіншілей шикізат ретінде қолданып, санитарлық гигиеналық сабын алу өндірісінде практикалық қолданбалы келешегі бар.

**Кілт сөздер:** тағамдық май қалдықтары; қоршаған орта; улы ластағыш заттар; ағынды сулар; олеохимиялық шикізат.

#### *Kipicne*

Тағамдық өсімдік майларының қалдықтарын қолдану әлеуеті 1990 жылдардың ортасынан бастап түрлі елдермен өнеркәсіптің түрлі салаларында



зерттелген, мысалы сабын өндірісінде және олеохимиялық өнеркәсіпте [1]. Қолданылған өсімдік майлары жергілікті қалдықтар ағымыны жатады, олар фрютирлі және кулинарлық майларды қамтиды, сонымен қатар жоғары температураға дейін қыздырылып, сәйкесінше кәріз жүйелеріне тасталатын тағамдық өсімдік майлары [2,3]. Кәріз жүйелеріне тасталған тағамдық өсімдік майлары су тазалау үймереттеріне келіп түсетін ағынды суларға кедергі келтіре отырпы, судың зиянды, канцерогенді заттармен ластануына алып келеді. Қолданылған тағамдық өсімдік майлары қатты тұрмыстық қалдықтар полигоныдарына тасталатын болса, топырақтың қосымша ластануына да әкеліп соғады [3,4]. Ережеге сәйкес, Америка Құрама Штаттары, Қытай, Жапония және Үндістан секілді халық тығыз орналасқан елдерде түзілетін қолданылған тағамдық өсімдік майларының көлемі, сәйкесінше 1,2 млн.т, 5,6 млн.т, 0,57 млн.т және 1,1 млн.т., бұл көрсеткіштер қолдану үлесін есепке алмағанда [5]. Бразилия елінде жылына шамамен 9 млрд. литр қолданылған тағамдық өсімдік майлары тасталады, бұл шарттағы қалдық майлардың 2,5% мөлшері ғана қайта өндірістік циклде қолданылған [6]. Сондай-ақ, Еуроодақ елдерінде түзілетін қолданылған тағамдық өсімдік майларының қалдықтары 21 млн.т. құраса, бұл көлемнің 11,6 млн.т. мөлшері ғана биодизель отынын өндіру бойынша қажетке жаратылған. Сонда да бұл қолданылған тағамдық өсімдік майларының үлкен көлемінің қажетке жаратылмай, қоршаған орта компоненттеріне тасталу жолымен зиянды әсерлерін келтіруде [7]. Мұның нәтижесінде функционалдық ресурстардың жоғалуына және қоршаған ортаның айтарлықтай дәрежеде ластануы алып келеді, салдарында адамзаттың денсаулығы кері әсер етіп, әлуметтік төтенше жағдайлар мәселелерін туындатады [8].

Жалпы алғанда тағамдық өсімдік майларының қалдықтары 95% дейін триглицеридтерден тұрады, олар пальмитин (C16) және лаурин (C12) секілді ұзын тізбекті май қышқылдарынан құралған [9]. Дегенімен, тағамдық өсімдік майларының физика-химиялық қасиеттері бастапқы тағамды пісіру үрдісіне тәуелді болады. Тағамдық майларды қайта қолдану майдың тұтқырлығының жоғарылауына және түсінің қараюына алып келеде, өз кезегінде ол майдың қышқылдығының жоғарылауына және жағымсыз иісінің түзілуіне алып келеді [10]. Мысалы, Қытай мемлекеті қоршаған ортаны басқару және азық-түлік қауіпсіздігі саласында үлкен жетістіктерге қол жеткізгенімен, тағамдық өсімдік майларын қажетке жарату мәселесінің түпкілікті шешімін таппаған [11]. Қолданылған өсімдік майларын қайта тағам дайындау үрдісінде пайдалану диспепсия, іш ауруы, диарея секілді күрделі ауруларға, немесе ішек сүзегі, асқазан жарасы секілді аса ауыр аурулар туындатуы мүмкін [12]. Қолданылған май қалдықтарын басқарудағы қателіктерден туындайтын күрделі мәселелерді кейбір мемлекеттер жақсы біледі. Осыған орай, бұл елдер тағамдық май қалдықтарын биоотын алуда немесе өнім құны қосылған синтездеуде қолдануды бастаған. Атап айтқанда, Үндістан үкіметі 2030 жылға қарай жылына 5 млн. тонна өсімдік майының қалдығын жинауды жоспарлауда, негізінен дизель отынына 5% дейін биоотынды араластыруды көздеп отыр [13]. Осы секілді, АҚШ күн сайын 100 млн.галлон тағамдық май қалдықтарын шығарады деп күтілуде және оны



жинау мен қайта өңдеуді ынталандыру мақсатында қолданылған майдың бір галлонына 50 цент төлеп субсидиялауды жариялаған [14].

Азық-түлік қалдықтарының мөлшерін, негізінен қолданылған өсімдік майларының көлемін азайту болашақта жаһандық май қалдықтарының орасан зор өсу мәселесін шешу үшін тұрақты дамудың негізі бола алады. Қолданылған май қалдықтарының көлемін биодизель отыны үшін шикізат ретінде қолдана отырып азайтуға болады, мұндағы жолға қойылған биодизель өндірісінің технологиясын Еуроодақ елдері, Ұлыбритания және Қытай секілді дамыған мемлекеттер кеңінен қолдануда. Әдебиет көздеріне сәйкес, Қытайда түзілетін тағамдық май қалдықтарының жалпы көлемі Еуроодақ елдерін, АҚШ және Канаданы қоса алғанда түзілетін қалдықтар көлемінен 2,73 есе асып түседі [12]. Сондықтан да, Қытайда түзілген тағамдық май қалдықтарының бір бөлігі Еуроодақ елдеріне экспортталса, екінші бөлігі өз елінде қажетке жаратылуда. Тағамдық май қалдықтарын басқару маңызды, әсіресе жаһандық көзқарастар тұрғысынан келешекті.

2025-2027 жылдарға арналған тағамдық май қалдықтарын қолдану және олардың кері әсерін талдау бойынша нарықтық зерттеу есебіне сәйкес, жаһандық түзілген май қалдықтарының көлемі 5,5 млрд. АҚШ долларына бағаланған және бұл көрсеткіш 2027 жылға қарай Солтүстік және Оңтүстік Америка, Еуропаны қоса алғанда, Азия, Тынық мұхиты мен Таяу Шығыс елдерін және Африка аймақтарын алғанда бұл қалдықтар көлемінің құны 8,48 млрд. АҚШ долларына жетеді деп болжауда [15,16].

Тағамдық май қалдықтарына деген сұраныс биодизель отыны үшін шикізат ретінде маңыздылыққа ие. Тағамдық май қалдықтарын биодизельге түрлендірудің кеңінен таралған әдісі трансэтерификация үрдісі болып табылады, себебі бұл үрдіс жоғары сапалы отын алуға мүмкіндік береді. Трансэтерификация спиртпен реакцияласу үшін майларды қолдана отырып, эфирлер мен глицериннің түзілуіне мүмкіндік береді [17]. Биодизельді өндіру каталитикалық немесе каталитикалық емес трансэтерификация үрдістері арқылы жүзеге асырылады, бұл шарттардың біріншісінде катализаторды, майды және спиртті бөлу қажеттілігі туындайды, ал екінші нұсқада өнімнің шығымы төмен болады [18].

Тағамдық май қалдықтарының биодизель өндірудегі кең қолданысына қарамастан, олардың жасыл еріткіштер мен оның негізіндегі өзге өнімдер алудағы потенциалын жоққа шығаруға болмайды [8,19]. Ағымдағы жаңғыртуларға негізделген тағамдық май қалдықтарының түрлі түзілу көздері мен олардың қолданылу салаларын көптеп тізуіге болады. Әр түрлі бастапқы шығындармен жыл сайын қажетке жаратылатын тағамдық май қалдықтарының үлкен көлемін пайдалану мүмкіндігі жоғары, себебі оның олеохимиялық қолданылу әлеуеті сенімді келешекті [20].

Тағамды дайындау үрдісінде түзілетін түрлі өнімдер, атап айтқанда глицеридтер, азот және күкірт мазмұндайтын компоненттер майдың құрылымын бұзады. Сондықтан, тағамдық май қалдықтарын екіншілей шикізат ретінде пайдалану үшін алдын ала өңдеудің тиімді әдістерін қабылдаған дұрыс. Авторлар [20,21] зерттеулерінде, липидтер қалдығы ретіндегі қолданылған майды пластификаторлар, байланыстырғыштар, эпоксидтер, цемент және



биоматериалдар синтезі үшін шикізат ретінде қолдану мүмкіндігін келтірген. Қолданылған тағамдық май қалдықтарының болжамдық жаһандық көлемі, бүгінгі таңдағы олеохимиялық өнеркәсіптермен шикізат ретінде тұтынылатын таза өсімдік майын толығымен алмастыра алатыны хабарланған, бірақ май қалдықтарының бір бөлігі биодизель шикізаты ретінде қолданылуда. Қолданылған тағамдық май қалдықтарын химиялық шикізат ретінде қажетке жарату тағамдық май өндірісінің де, олеохимиялық саланың да экологиялық және әлеуметтік кері әсерін төмендетуге себепші бола алады [20]. Нақтылап айтатын болсақ, қолданылған тағамдық май қалдықтарын қажетке жарату түзілетін қалдықтар көлемін азайтуға, қоршаған орта компоненттеріне келетін экологиялық ауыртпалықтарды төмендетуге, сонымен қатар жаһандық жылынумен күресуге мүмкіндік береді, себебі көптеген дәтүрлі шикізат материалдары қазба ресурстарына тәуелді [22].

Сондай-ақ, қолданылған тағамдық май қалдықтарының олеохимиялық әлеуетін толығымен қамтитын зерттеу жұмыстары әлі де жеткіліксіз, себебі қазіргі таңға дейін көптеген зерттеулер тағамдық май қалдықтарын энергия әлеуетінде, физика-химиялық үрдістерде немесе микробиотикалық үрдістерде қолдануға бағытталған [5,13,23]. Осылайша, ұсынылған шолу жұмысы майлаушы, биомайлаушы, полиуретан, мал азығының құрамдас бөліктері, пластификаторлар және беттік белсенді заттар секілді жоғары құнды өнімдер алынатын физика-химиялық және микробтық үрдістерде қолданылған тағамдық май қалдықтарын кеңінен қолдануға бағытталған.

#### *Зерттеу материалдары мен әдістері*

Зерттеу нысаны ретінде қала тұрғындарымен, қоғамдық тамақтану орындарымен қолданылған тағамдық күнбағыс майының қалдықтары таңдалды. Май қалдықтарының түсі сарғыштан күңгірт қара-қою түске дейін таңдалды. Дәмі және иісі қатты күйген сипатты, консистенциясы қоймалжың. Тығыздығы 1075 кг/м<sup>3</sup>. 20°C кезіндегі сыну көрсеткіші 1,893. 20°C кезіндегі тұтқырлығы 0,1891 Па·с. Қышқылдық саны 0,74 мг КОН/г. Асқын тотық саны 5,72 ммоль О/кг.

Санитарлық гигиеналық сабынның майлылығын және қатуын қамтамасыз ететін жануар майы ретінде ірі қара майы қабылданды. Түсі сарғыш. Табиғи тоң май сипаттамалы иісті. Тығыздығы 938 кг/м<sup>3</sup>. Қату температурасы 30-40°C. Еру температурасы 40-51°C. 20°C кезіндегі тұтқырлығы 0,0150 Па·с. Йодтық саны 32-47%.

Күйдіргіш натр сулы-сілтілі ерітіндісін түзуге қолданылды. Жапырақшалы формада. Тығыздығы 2130 кг/м<sup>3</sup>. 20°C температурадағы суда ерігіштігі 52,2%. Суда еру кезінде үлкен мөлшердегі жылудың бөлінуімен жүреді. Сулы-сілтілі реакциясы 65°C температурада тығыздығы 1829 кг/м<sup>3</sup> дейін төмендее орын алады.

Натрийлі сұйық шыны іс жүзінде ылғал өткізбейтін тұтастырғыш зат ретінде қолданылды. Қою ақшыл-сары сұйықтық. Тығыздығы 1460 кг/м<sup>3</sup>. Тұтастыру уақыты 45 мин. Силикаттық модульі 2,7.

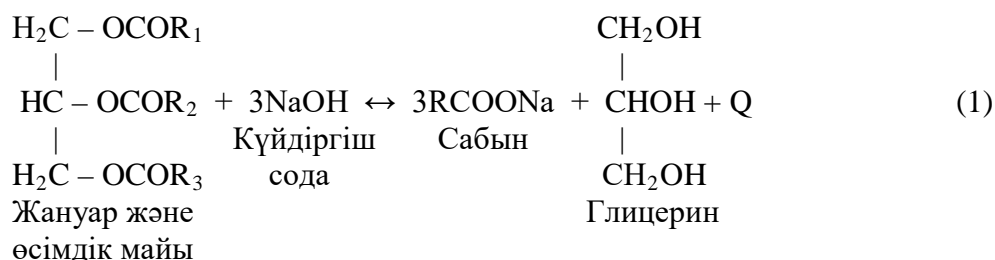
#### *Зерттеу нәтижелері*

Жоғары қаныққан және қанықпаған май қышқылдарының C<sub>10</sub>-C<sub>20</sub> натрий тұздарының қоспасы болып табылатын сабындар қазіргі уақытта негізінен үш түрлі шикізаттан алынады: бейтарап майлар мен өсімдік майлары, май



қышқылдарының қоспалары және май қышқылдарының метил эфирлері. Шикізаттың түріне байланысты май қышқылы тұздарының түзілуі келесі химиялық реакциялар арқылы жүреді.

Сабындану реакциясы - бейтарап майлар, өсімдік майлары және күйдіргіш сода арасындағы химиялық реакция. Химиялық тұрғыдан сабындану – бұл сабын мен глицерин түзе отырып майлардың сілтілі гидролиздену үрдісі. Себебі сабын жасау үшін қолданылатын майлар мен өсімдік майларының көпшілігі май қышқылдарының триглицеридтері болып табылады. Сабындану реакциясында триглицеридтердің сатылы ыдырауы орын алады. Алдымен қышқылдың бір молекуласы, содан кейін екіншісі және ең соңында үшіншісі бөлінеді, ал глицериннің бір молекуласы босап шығады. Май қышқылдарының молекулалары ыдырайтындықтан, олар сілтімен әрекеттесіп, натрий тұзын, яғни сабынды түзеді. Бұл реакция нәтижесінде май қышқылының молекулалары бейтараптандырылып, олар гидролиз реакциясынан шығады және тепе-теңдікті одан әрі гидролизге қарай жылжытады. Бейтарап майлар мен натрий гидроксиді ерітінділерімен сабындаудың соңғы жалпы реакциялары келесі теңдеулермен сипатталады:



мұндағы:

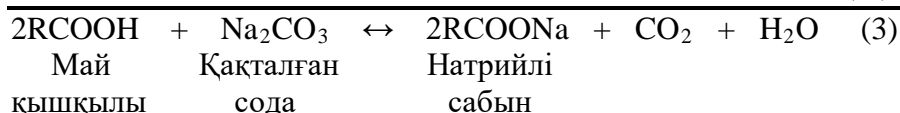
$R_1, R_2, R_3 - C_{10} - C_{20}$  дейінгі көмірсутек тізбектері;

Q – реакция жылуы. Осылайша, триглицеридтің бір молекуласын сабындандыру үшін күйдіргіш сілтінің үш молекуласы жұмсалады. Бұл жағдайда сабынның үш молекуласы түзіліп, глицериннің бір молекуласы бөлінеді.

Сабындану бұл экзотермиялық реакция. Триглицеридтегі үш күрделі эфирлік байланыстың гидролизі кезінде бөлінетін жылу 18 ккал/кмоль майды құрайды. Қышқыл молекуласын сілтімен бейтараптандырғанда тағы 14 ккал/кмоль май қышқылы бөлінеді. Нәтижесінде майларды сабындау кезінде бөлінетін жалпы жылу мөлшері  $18 + (14 \cdot 3) = 60$  ккал/кмоль құрайды.

Бейтараптандыру реакциясы - бұл май қышқылы мен натрий гидроксиді, сондай-ақ натрий карбонаты (қақталған сода) арасындағы химиялық реакция. Жалпы бейтараптандыру реакциялары келесі теңдеулермен сипатталады:





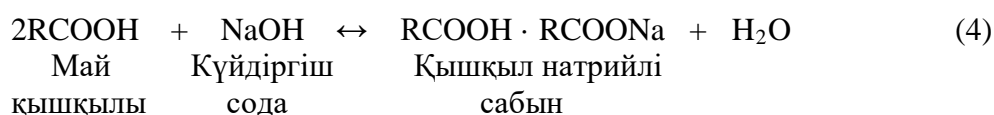
мұндағы:

R – C<sub>10</sub> - C<sub>20</sub> дейінгі көмірсутекті тізбектер.

(2) тендеуден май қышқылының бір молекуласын бейтараптандыру үшін бір молекула сілтінің жұмсалатыны, сонымен қатар бір молекула сабын түзіліп, бір молекула судың бөлінетіні айқын көрініп тұр. Май қышқылдарын көмірқышқыл газының тұздарымен бейтараптандыру кезінде (реакция (3)) натрий карбонатының бір молекуласы қышқылдың екі молекуласын бейтараптандырып, екі молекула сабын және көмірқышқыл газы мен судың әрқайсысынан бір молекула түзіледі. Май қышқылдарын натрий карбонатымен бейтараптандыру реакциясы (3) сілтілермен бейтараптандырумен салыстырғанда күрделі механизмге ие екенін атап көрсетуге болады. Атап айтқанда, қақталған соданы Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> қолданғанда, соңғысы гидролиз нәтижесінде натрий карбонаты мен сілтіге ыдырайды. Сілті қышқылмен әрекеттесіп, сабын түзеді, ал натрий гидрокарбонаты сода мен көмірқышқыл газына ыдырайды. Барлық реакциялар қайтымды және қақталған соданы пайдаланған жағдайда май қышқылдары толығымен таусылғанша бейтараптандыру реакциясын жүргізу айтарлықтай қиындықтар туғызады.

Сондықтан қақталған соданы әдетте реакцияның бастапқы кезеңінде (алдын ала бейтараптандыру), ал күйдіргіш сода бейтараптандырудың соңғы сатысында қолданылады.

Сілтілермен бейтараптандыру реакциялары (2) және (3) тендеулеріне сәйкес қалыпты жүреді, егер реакция массасында бос сілтінің біршама артық мөлшері болса (кемінде 0,1%). Егер сілті жетіспесе, май қышқылының екі молекуласы сілтінің бір молекуласымен әрекеттесіп, «қышқыл сабын» деп аталатын затты түзе алады:



Қышқыл сабынның түзілуі сабынның гидролизі кезінде де болуы мүмкін, бұл реакцияға сәйкес гидролиз нәтижесінде пайда болған май қышқылының молекуласы гидролизденбеген сабын молекуласымен әрекеттескенде:



Қышқыл сабындардың ерекшелігі - олардың суда іс жүзінде ерімейтіндігі. Қышқыл сабындарды кәдімгі сабынға айналдыру тәсілдерінің бірі қышқыл сабын массасын күйдіргіш сілтінің артық мөлшерінде ұзақ қайнату болып табылады.

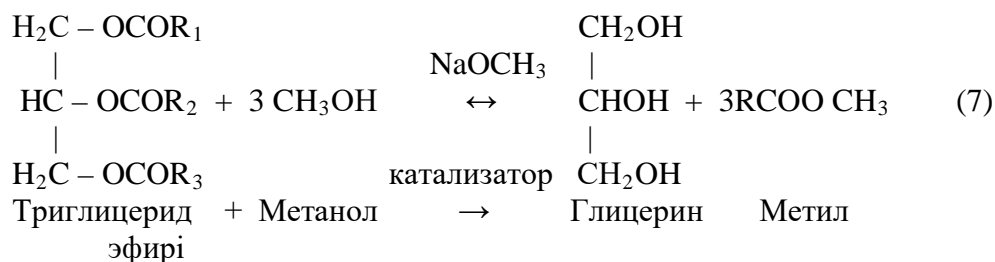
Метил эфирінің сабындану реакциясы бұл май қышқылының метил эфирі мен натрий гидроксиді арасындағы химиялық реакция. Химиялық тұрғыдан



метил эфирлерінің сабындануы май қышқылының (сабын) және метанолдың натрий тұзының түзілуімен күрделі эфирлердің сілтілі гидролизі болып табылады:



Май қышқылы метил эфирін катализатордың қатысуымен метанолда майларды трансэфирлеу арқылы алады. Трансэтерификация кезінде триглицеридтердің күрделі эфирлік байланыстары үзіліп, май қышқылдарының радикалдары (RCOO ацил топтары)  $\text{CH}_3$  радикалымен алмасуы жүреді:



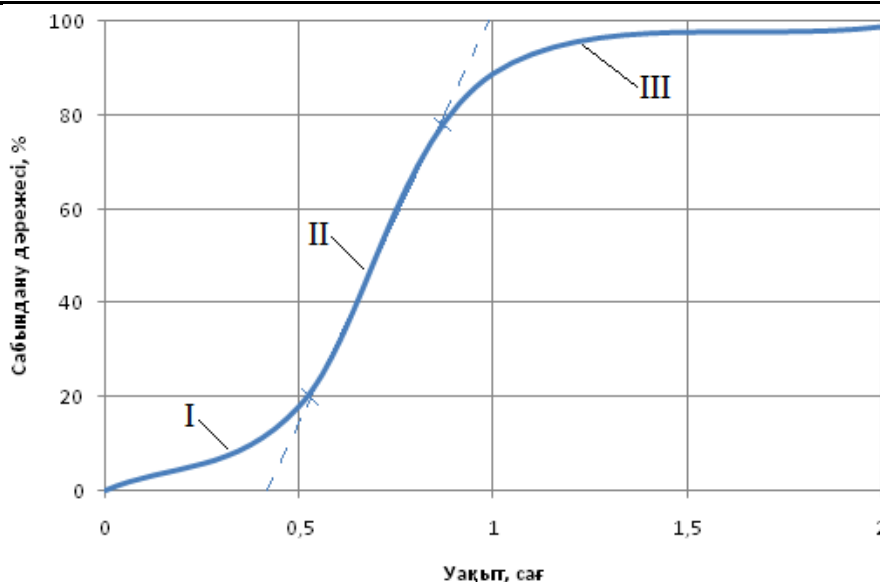
мұндағы:

$\text{NaOCH}_3$  – катализатор (натрий метилоксиді).

(7) теңдеуден майлардың трансэтерификация реакциясы тек олардың триглицеридтік құрамын өзгертетіні, май қышқылдарының құрамын тұрақты етіп қалдыратыны және әдетте түзетілу арқылы күрделі эфирлерден бөлінетін глицерин бөлетіні анық.

Триглицеридтердің трансэтерификация реакциялары қайтымды болып табылады. Сонымен қатар, май қышқылдарының құрылымына және олардың триглицеридтер молекулаларындағы орналасуына қарамастан, триглицеридтердің ықтимал құрылымдары арасындағы энергияның айырмашылығы шамалы. Осының нәтижесінде күрделі эфир топтары арасындағы жеке алмасу реакцияларының тепе-теңдік константалары бірлікке жақын және трансэтерификация процесінің бірден-бір қозғаушы күші энтропияның жоғарылауы болып табылады. Бұл триглицеридтегі секілді метил эфиріндегі үш эфирлік байланыстың гидролизі кезінде бөлінетін жылуды 18 ккал/кмоль эфирге тең қабылдауға мүмкіндік береді. Май қышқылдарының үш молекуласын бейтараптандыру реакциясының жылуын ескере отырып, май қышқылдарының метил эфирлерінің сабындануы кезінде бөлінетін жалпы жылу мөлшері  $Q = 18 + (14 \cdot 3) = 60$  ккал/кмоль тең.

Стандартты сабындану тәртібіне сәйкес келетін күйдіргіш содамен майлардың сабындану реакциясының кинетикалық қисығы 1 суретте көрсетілген. Қисықтың S-тәрізді пішіні сабындану реакциясының автокаталитикалық сипатын көрсетеді, бұл кезде оның өнімдерінің бірі (тұз) химиялық реакцияны тездетеді.



Сурет 1 – Майларды күйдіргіш содамен сабындау реакциясының кинетикалық қисығы:

I – индукциялық кезең; II – тұрақты жылдамдық кезеңі;  
III – жылдамдықтың төмендеу кезеңі.

Әдетте, фазалар шекарасында болатын жаңа фазаның түзілу үрдістері автокаталитикалық сипатта болады, ал оның ұлғайғайуымен фазааралық беттің ауданы ұлғаяды.

Айта кететін жағдай, автокаталитикалық реакциялардың каталитикалық реакциялардан айырмашылығы, біріншісі үшін үдеу реакция өнімінің жиналуынан туындаса, екіншісі үшін жеделдету оттегі заттары мен катализатордың белсенді аралық кешендерінің түзілуіне байланысты болады және олардың реакция өнімдері мен катализаторға ыдырауы орын алады.

Автокаталитикалық сабындану реакциясы (1) оның пайда болуының үш кезеңімен сипатталады: индукциялық кезең (I), тұрақты жылдамдық кезеңі немесе жылдам автокатализ кезеңі (II) және жылдамдықтың төмендеу кезеңі (III).

Индукция кезеңі сабынданудың (20% дейін) бастапқы кезеңіне сәйкес келеді, бұл кезде реакция жылдамдығы реагенттердің фаза аралық бетінің меншікті ауданына ғана байланысты және оның шекарасында май мен сілті молекулаларының әрекеттесуі орын алады. Жоғарыда көрсетілгендей майлар және күйдіргіш соданың сулы ерітінділері бір-бірімен нашар ериді және физикалық жағынан біртекті емес гетерогенді жүйелерді көрсетеді. Сабындандырудың бастапқы кезеңінде мұндай жүйенің аралық беті кішкентай және майдың (жоғарғы) және сілті ерітіндісінің (төменгі) араласпайтын фазаларының қабаттары арасындағы «айна» ауданына тең. Фазааралық бетінің ауданын ұлғайту үшін «майлы-сілті ерітіндісі» жүйесі жұқа эмульсия күйіне ауыстырылады. Жүйенің эмульгациясы, бір жағынан, реагенттерді мұқият араластыру арқылы, екіншіден, эмульгатор және катализатор қызметін атқаратын,





сабындану реакциясын жеделдете отырып, алынған сабынның сулы ерітіндісінде майдың ерігіштігін арттыру арқылы жүзеге асырылады.

Сабынның кинетикалық әсері, ең алдымен, сабынның сулы ерітіндісіндегі майлардың ерігіштігінің жоғарылауында және сәйкесінше, фаза аралық бетінің ұлғаюында көрінеді. 20% сабын шоғырына жеткен кезде, онда еріген майдың мөлшері кинетикалық аймақта сабындану реакциясын қамтамасыз ету үшін жеткілікті. Реакция жылдамдығын реакция қоспасының температурасын арттыру арқылы да жоғарылатуға болады. Бірақ температураның жоғарылауы эмульсияның бұзылуына әкеледі. Сондықтан эмульсияның тұрақтылығын сақтау үшін индукция кезеңінде сабындауды салыстырмалы түрде 70-85°C температуралар аралығында жүргізеді. Индукция кезеңін қысқарту және тұрақты эмульсия алу үшін реакциялық қоспаға эмульгаторларды қосады. Қарастырылып отырған реакцияда сабын эмульгатор ретінде қолданылады, ол реакциялық қоспаға аз мөлшерде (-0,1%) арнайы енгізіледі; сонымен бірге бұл сабындану реакцияның басталуы үшін агент ретінде қызмет етеді.

Тұрақты жылдамдық кезеңі майлардың сабындану реакциясының жылдам автокатализ кезеңіне сәйкес келеді (80-85% дейін), оның барысында (24 мин) алынған сабын шоғыры ерігіштігін қамтамасыз ету үшін майларды және аралық бетті кинетикалық аймақта реакцияның жүруіне қажетті деңгейде ұстап тұру жеткілікті. Реакция температурасы 100-120°C.

Тұрақты сабындану жылдамдығы кезеңінде алынған сабын-сілтілі эмульсия «майлар - сілті ерітіндісі» реакциялық қоспасының бастапқы құрамынан түбегейлі ерекшеленетінін және жоғары дисперсті құрылымы бар коллоидты жүйе екенін атап өткен жөн.

Жылдамдықтың төмендеу кезеңі сабындану реакциясының соңғы кезеңіне сәйкес келеді (III бөлім). Бұл кезеңде майлар мен сілтілердің сарқылу дәрежесі 90% асады және олардың сабын ерітіндісіндегі шоғыры күрт төмендейді. Нәтижесінде реакция жылдамдығы айтарлықтай төмендейді және 95% жоғары сабындану дәрежесінде кинетикалық қисық асимптотикалық түрде 100% майдың сарқылуына жақындайды. Май қалдықтарының реакцияға түсуінің соңғы сатысындағы кинетикалық қисық сызығының асимптотикалық сипаты айтарлықтай тұру уақытын немесе реакция уақытын (0,75 сағат) және реакциялық қоспаны аппаратта (қазандық, реакторда) толық араластыру тәртібін алдын ала анықтайды.

Массалық әсер ету заңына сәйкес сабындану реакциясының жылдамдығы әрекеттесуші заттардың шоғырларының туындыларының көбейтіндісіне пропорционал, оның көрсеткіштері әрекеттесуші заттар бойынша реакцияның нақты ретіне сәйкес келеді, ал көрсеткіштердің қосындысы реакцияның жалпы тәртібіне сәйкес келеді. Осы заңға сәйкес сабындану реакциялары үшін (1) жылдамдық теңдеуін былай жазуға болады:

$$W = -\frac{dC_1}{dt} = kC_1^{n_1}C_2^{n_2} \quad (8)$$

мұндағы:



$W$  – реакция жылдамдығы;  
 $k$  – реакция жылдамдығының константасы;  
 $n_1, n_2$  - реакция реттері;  
 $C_1, C_2$  - триглицерид пен сілтінің шоғыры;  
 $\tau$  - уақыт.

Майдың сабындану реакциясының әртүрлі кезеңдеріндегі реакциялық қоспадағы реагенттерді тасымалдау механизміндегі айырмашылықтар оның жылдамдығын (8) кинетикалық теңдеумен сипаттауға мүмкіндік бермейді. Практикалық тұрғыдан алғанда кинетикалық көрсеткіштерді (жылдамдық константалары, белсендіру энергиялары және т.б.) бағалау үшін тұрақты және төмендейтін жылдамдықтар сатыларындағы сабындану реакциясының жылдамдығын білу жеткілікті (II және III кезең). Сонымен қатар нақты жағдайларға барынша жақындау және сабындану жылдамдығы туралы толық ақпарат алу үшін екі жүйеде тәжірибелік зерттеулер жүргізу қажет. Алдымен сабындауды майларды да, күйдіргіш натрийді де жақсы ерітетін органикалық еріткіште, яғни біртекті жүйеде, содан кейін сабынның аз мөлшерін немесе алдыңғы тәжірибеден алынған реакциялық массаны қосу арқылы сулы ортада сабындану реакциясының тұрақты кезеңдерінде және төмендеу жылдамдығында «майлар – күйдіргіш сода» қоспасын эмульсиялау үшін жүргізеді. Органикалық еріткіштегі сабындану кинетикасы туралы деректер оның пайда болу кинетикалық аралығында «майлар – күйдіргіш сода» фазалық шекарасында диффузиялық тежелудің әсерінен және бұрмалануынсыз реакцияның белсендіру энергиясын анықтауға мүмкіндік береді.

Тағамдық қалдық майларды натрий гидроксидімен сабындану кинетикасының тәжірибелік мәліметтері 1 кестеде келтірілген. Реакция май мен сілтінің эквимольарлы қатынасында жүргізілді. Реакция кезіндегі реагенттердің ағымдағы концентрациялары фенолфталеиннің қатысуымен децинормальді тұз қышқылымен титрлеу арқылы әрекеттеспеген сілтінің мөлшерімен анықталды. Осы деректерден құрастырылған «сабындану дәрежесі – реакция уақыты» кинетикалық қисықтары 2 суретте берілген. Бұл қисықтарда индукция кезеңі жоқ және басында реакция тұрақты дерлік жылдамдықпен жүреді, содан кейін шамамен 50% сабындану дәрежесінде төмендеу жылдамдығымен сабынданудың соңғы сатысына өтеді.

(8) теңдеуге сәйкес 1 және 2 кинетикалық қисықтардың түрін ескере отырып (сурет 2) сабындану реакциясы (1) екінші ретті жылдамдық теңдеуімен сипатталады:

$$\frac{dx}{dt} = k \cdot C_{жсо} \cdot (1 - x)^2 \quad (9)$$

мұндағы:

$x = (C_{жсо} - C_{ж}) / C_{жсо}$  - сабындану дәрежесі, мольдік үлесі;

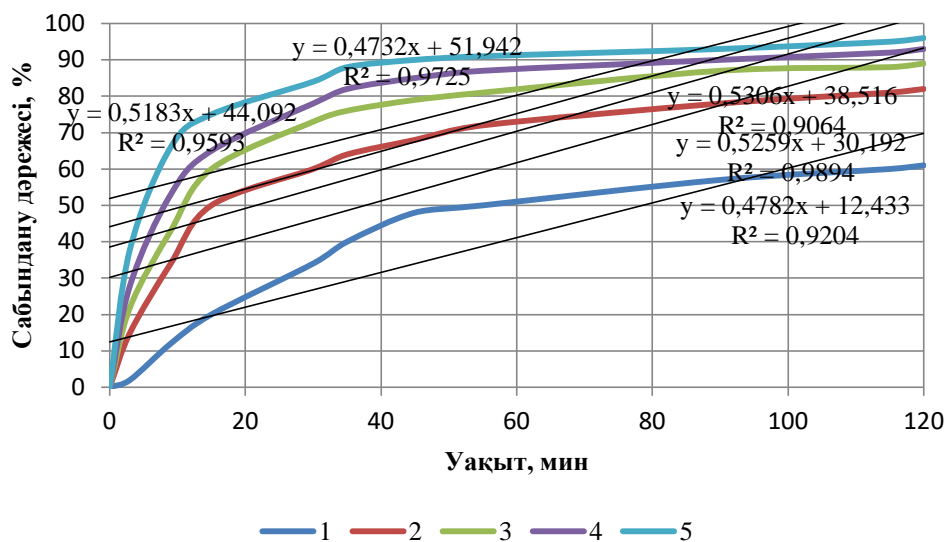
$C_{жсо}; C_{ж}$  - майлардың бастапқы және ағымдағы шоғырлары, кмоль/м<sup>3</sup>;

$k$  – реакция жылдамдығының константасы;

$\tau$  – реакция уақыты, мин.

1-Кесте– Реагенттердің эквимольарлы қатынасындағы тағамдық майды күйдіргіш содамен сабындандыру реакциясы бойынша тәжірибелік деректер

Уақыт $\tau$ , мин	Күйдіргіш сода шоғыры $C_{ш}$ , кмоль/м <sup>3</sup>	Сабындану дәрежесі $x$ , моль.үлес	Жылдамдық константасы, м <sup>3</sup> /(кмоль/мин)		Қателік $\epsilon$ , $\pm$ %
			$k_{тәж}$	$k_{есеп}$	
Реакция температурасы 50°C					
0	0,170	0	-	-	-
15	0,130	0,324	0,229	0,228	+0,001
30	0,105	0,382	0,221	0,228	-0,007
60	0,085	0,545	0,241	0,228	+0,013
120	0,065	0,673	0,226	0,228	-0,002
240	0,040	0,819	0,223	0,228	-0,005
			$k_{опт}=0,228$		
Реакция температурасы 75°C					
0	0,124	0	-	-	-
5	0,113	0,153	0,431	0,417	+0,014
10	0,091	0,379	0,382	0,417	-0,035
15	0,067	0,465	0,409	0,417	-0,008
30	0,053	0,597	0,438	0,417	+0,021
60	0,037	0,683	0,376	0,417	-0,041
90	0,023	0,832	0,467	0,417	+0,050
			$k_{опт}=0,417$		



2 - Сурет – Сабындану дәрежесінің реакция уақытына тәуелділігінің кинетикалық қисықтары: 1, 2 – этил спиртіңде алынған тәжірибелік мәндер (1 – 50°C,  $C_{жо} = 0,16$  кмоль/м<sup>3</sup>; 2 – 75°C,  $C_{жо} = 0,13$  кмоль/м<sup>3</sup>); 3,4,5 су ортасы үшін алынған есептелген мәндер (3 – 100°C,  $C_{жо} = 1,6$  кмоль/м<sup>3</sup>; 4 – 110°C,  $C_{жо} = 1,6$  кмоль/м<sup>3</sup>; 5 – 120°C,  $C_{жо} = 1,6$  кмоль/м<sup>3</sup>)



Кинетикалық реакция жылдамдығының константаларын табу және кинетикалық теңдеудің қабылданған моделінің сәйкестігін тексеру үшін (9) теңдеуді шешу арқылы алынған интегралдық тәуелділікті қолданамыз:

$$\frac{1}{C_{жсо}(1-x)} - \frac{1}{C_{жсо}} = \frac{x}{C_{жсо}(1-x)} = kt \quad (10)$$

(10) теңдеуіне шоғырдың, сабындану дәрежесінің және реакция уақытының тәжірибелік мәндерін қойып,  $k_{эксп}$  реакциясының жылдамдық константаларының мәндерін және олардың орташа мәндерін табамыз, нәтижелері 1 кестеде көрсетілген.

Реакция жылдамдығы константасының температураға тәуелділігі ретінде Аррениус теңдеуін қабылдаймыз:

$$k = k_0 \cdot e^{-E/RT} \quad (11)$$

мұндағы:

$k_0$  - реакция жүйесінің физика-химиялық қасиеттеріне тәуелді экспоненциалды факторға дейінгі көбейткіш;

$E$  – белсендіру энергиясы, кал/моль;

$T$  – реакция температурасы, К;

$R$  - әмбебап газ тұрақтысы ( $R = 8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) = 1,986 \text{ кал}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ )

Аррениус теңдеуінің логарифмдік түрін қолдана отырып:

$$\lg k = -\frac{E}{2,3RT} + \lg k_0 = -\frac{E}{4,575T} + \lg k_0 \quad (12)$$

$T_1$  және  $T_2$  температураларындағы  $k_1$  және  $k_2$  реакция жылдамдығының константаларының мәндері байқалған белсендіру энергиясын анықтаймыз:

$$E = \frac{4,575T_1T_2}{T_2-T_1} \lg \frac{k_2}{k_1} = \frac{4,575 \cdot 307 \cdot 328}{328-307} \lg \frac{0,417}{0,228} \text{ кал/моль} \quad (13)$$

мұндағы:

$t = 50^\circ\text{C}$  кезінде  $k_1 = k_{ср}$ ;

$t = 75^\circ\text{C}$  кезінде  $k_2 = k_{ср}$ .

$C_{жсо} = 0,19$  кмоль/м шоғырында сулы ортада тағамдық майдың сабындану кинетикасының ұқсас тәжірибелік зерттеулері константалардың келесі тәжірибелік мәндерін берді:  $50^\circ\text{C}$  кезінде  $k_{ср} = 0,01$  және  $75^\circ\text{C}$  кезінде  $k_{ср} = 0,02$ . Бұл константалардың мәндерін этил спиртіндегі сабындану реакциясының жылдамдық константаларымен салыстыра отырып, олардың мәндері орта есеппен 65 есе аз екенін көреміз. Сабынның сулы ерітіндісіндегі реакция жылдамдығының этил спиртіндегі ерітіндімен салыстырғанда бұл төмендеуі реакция жүйесінің гомогенизация жағдайларымен ғана емес, сонымен қатар әртүрлі сабын ерітінділерінің физика-химиялық қасиеттері мен құрылымының



айырмашылығымен де байланысты. Майлардың натрий гидроксидімен сабындану реакциясының белсендіру энергиясын органикалық еріткіште (этил спирті) де, сулы ортада да бірдей деп алып, (12) теңдеуден алдыңғы экмпоненциалды логарифмнің  $\lg k_0$  мәнін табамыз.  $50^\circ\text{C}$  кезінде  $\lg k_0 = 5,066$ ;  $75^\circ\text{C}$  кезінде  $\lg k_0 = 6,071$ ; оның орташа мәні  $\lg k_0 = 5,568$  және  $k_0 = 1,103 \cdot 10^7$ .

Осылайша, майларды каустикалық содамен сабындандыру реакция жылдамдығы константаларының мәндерін мына теңдеулерді пайдалана отырып анықтауға болады:

$$k = 0,103 \cdot 10^7 \cdot \exp [-12353 / (1,986 T)] \quad (14)$$

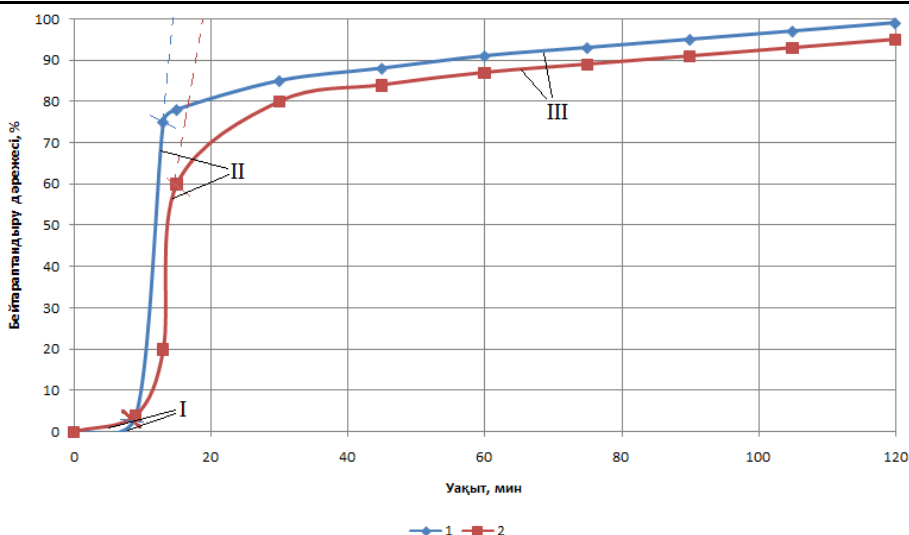
немесе

$$\lg k = -\frac{12353}{4,575 \cdot T} + 5,568 \quad (15)$$

(14) теңдеуімен есептелген реакция жылдамдығы константаларының мәндері тәжірибелік мәндермен айтарлықтай сәйкес келеді; қате орта есеппен  $\pm 10\%$  аз. Бұл кинетикалық теңдеуінің (9) қабылданған моделінің сәйкестігін және оны күйдіргіш содамен майлардың сабындану реакциясының жылдамдығын есептеудің жобалау тәжірибесінде қолданудың негізділігін растайды. Атап айтқанда, 2 суретте сабындану дәрежесінің реакция уақытына тәуелділігінің 3, 4 және 5 кинетикалық қисықтары көрсетілген, индукциялық кезеңнен шыққаннан кейін  $100-120^\circ\text{C}$  дейінгі температурада сабынды дайындаудың нақты жағдайлары үшін (10) және (14) теңдеулері арқылы есептелген. Сабындану дәрежесі  $80-90\%$  жеткенде пісіру уақыты 40 минут, бұл стандартты уақытқа сәйкес келеді. Температура  $10^\circ\text{C}$  жоғарылағанда сабындану жылдамдығы 1,5 есе артады.

Жоғары май қышқылдары мен сілтілер қоспалары арасындағы реакция бейтарап майлардың сабындану реакциясы сияқты автокаталитикалық болып табылады. Бірақ сабындану реакциясынан айырмашылығы, бейтараптандыру реакциясындағы индукция кезеңі шамамен 3 есе қысқа.

3 суретте  $\text{C}_{10}-\text{C}_{18}$  май қышқылдары қоспасын натрий гидроксидінің сулы ерітіндісімен реагенттердің эквимольарлық қатынасында бейтараптандыру дәрежесінің тәжірибелік кинетикалық қисықтары көрсетілген. Қышқылдар қоспасы  $85:15$  қатынасында «жануар майы - өсімдік майы» қоспаларын термиялық бөлу арқылы алынды.



3 - Сурет – Натрий гидроксидінің сулы ерітіндісімен май қышқылдары қоспасының реагенттердің эквимольярлық қатынасында бейтараптандыру дәрежесінің тәжірибелік кинетикалық қисықтары: 1 – 100°C,  $C_{к0} = 2$  кмоль/м<sup>3</sup>; 2 – 90°C,  $C_{к0} = 2$  кмоль/м<sup>3</sup>; I – индукциялық кезең; II – тұрақты жылдамдық кезеңі; III жылдамдықтың төмендеу кезеңі.

3 суреттен көрініп тұрғандай, бейтараптандыру реакциясының кинетикалық қисықтарындағы индукция кезеңі 10 мин. Бұл май қышқылдарының сілтілердегі ерігіштігінің триглицеридтерге қарағанда біршама жоғары болуына және реакция қоспасының жеткілікті жақсы эмульсиялануына байланысты, реакцияның басында фаза аралық бетінің ауданы оның пайда болуын, яғни тұрақты жылдамдықтағы кинетикалық аймақ (I секция, 3 сурет) жылдамдықтың төмендеу кезеңіне (III бөлім) өтуін қамтамасыз ететін мәнге жетеді.

II және III аймақтардағы бейтараптандыру реакциясының жылдамдығы екінші ретті теңдеумен (2) сипатталады:

$$dx/d\tau = kC_{к0}(1 - x)^2 \quad (16)$$

мұндағы:

$x = (C_{к0} - C_k) / C_{к0}$  - май қышқылдарының бейтараптану дәрежесі, мольдік үлесі;

$C_{к0}$  және  $C_k$  - май қышқылдарының бастапқы және ағымдағы шоғыры, кмоль/м<sup>3</sup>;

$k$  – реакция жылдамдығының тұрақтысы;

$\tau$  – реакция уақыты.

(16) теңдеудің интегралдық түрі келесідей жазылады:

$$\frac{1}{C_{к0}(1-x)} - \frac{1}{C_{к0}} = \frac{x}{C_{к0}(1-x)} = k\tau \quad (17)$$



(17) теңдеу арқылы 90 және 100°C реакция жылдамдығы константаларының тәжірибелік мәндерін табамыз; олардың орташа мәндері сәйкесінше  $k_{90} = 0,0758$  және  $k_{100} = 0,120$  м/(кмоль·мин) тең. Майлардың сабындану және май қышқылдарын бейтараптандыру реакцияларының белсендіру энергиясын бірдей және  $E = 12353$  кал/моль тең деп алып, (12) теңдеуін пайдалана отырып, экспоненциалды фактордың мәнін  $k_0 = 0,21 \cdot 10^7$  есептеп анықтаймыз.

Нәтижесінде май қышқылдарын натрий гидроксидімен бейтараптандыру реакциясының жылдамдық константасы үшін келесі теңдеуді аламыз:

$$k = 0,21 \cdot 10^7 \cdot \exp [-12353 / (1,986 T)] \quad (18)$$

немесе

$$\lg k = -\frac{12353}{4,575 \cdot T} + 6,322 \quad (19)$$

Жалпы алғанда (16) және (18) теңдеулер май қышқылдарын бейтараптандыру реакциясының кинетикасын толығымен сипаттайды және реакция жылдамдығын да, қышқылдардың конвертациялану дәрежесін де, реакция уақытын реагенттер шоғырына және температура тәуелді бағалауға мүмкіндік береді.

Май қышқылдарының метил эфирлерін натрий гидроксидімен сабындану реакциясының кинетикасы майлардың сабындану реакциясына да, май қышқылдарының бейтараптандыру реакциясына да ұқсас және оны (9) және (9) түріндегі екінші реттік жылдамдық теңдеуімен сипаттауға болады. 2 кестеде олеин қышқылының метил эфирін этил спиртіндегі натрий гидроксидімен сабындану реакциясының кинетикасы бойынша тәжірибелік мәліметтер келтірілген. Метил эфирінің сабындану реакциясының белсендіру энергиясын май қышқылдарының бейтараптану реакциясымен бірдей деп алып, (12) теңдеуден экспоненциалды фактордың логарифмінің мәнін  $\lg k_0 = 8,17$ ;  $k_0 = 0,182 \cdot 10^7$  анықтаймыз.

Май қышқылдарының метил эфирінің этил спиртіндегі натрий гидроксидімен сабындану реакциясының жылдамдық константасының теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$\lg k = -\frac{12353}{4,575 \cdot T} + 8,17 \quad (20)$$

(20) теңдеу бойынша есептелген жылдамдық константалары (кесте 2) тәжірибелік мәндермен жақсы сәйкес келеді; орташа қате  $\pm 5\%$  төмен.

Сулы ортадағы метил эфирлерінің сабындану реакциясы этил спиртінің ерітіндісіне қарағанда әлдеқайда баяу жүреді. Сулы ортада метил эфирлерінің сабындану жылдамдығының константасының тәжірибелік бағалаулары көрсеткендей, оның мәні этил спирті ортасынан 65 есе аз және 55°C температурада:  $k = 0,524/65 = 0,008$ ;  $\lg k_0 = 6,37$ ;  $k_0 = 0,241 \cdot 10^7$ .



2 - Кесте – Реагенттердің эквимолярлы қатынасында этил спирті ортасында натрий гидроксидімен олеин қышқылы метил эфирінің сабындану реакциясы бойынша тәжірибелік деректер

Уақыт $\tau$ , мин	Күйдіргіш натр шоғыры $C_{ш}$ , кмоль/м <sup>3</sup>	Сабындану дәрежесі $x$ , моль.үлес	Жылдамдық константасы, м <sup>3</sup> /(кмоль·мин)		Қателік $\varepsilon$ , $\pm$ %
			$k_{тәж}$	$k_{есен}$	
Реакция температурасы 55°C					
0	0,425	0	-	-	-
5	0,320	0,245	0,448	0,524	-0,076
10	0,125	0,696	0,535	0,524	+0,011
20	0,084	0,801	0,525	0,524	+0,001
40	0,050	0,883	0,557	0,524	+0,033
80	0,026	0,943	0,571	0,524	+0,047
125	0,014	0,964	0,534	0,524	+0,010
			$k_{opt}=0,524$		

Нәтижесінде сабынның сулы ерітіндісіндегі олеин қышқылы метил эфирінің натрий гидроксидімен сабындану реакциясының жылдамдық константасының теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$\lg k = -\frac{12353}{4,575 \cdot T} + 6,37 \quad (21)$$

Жалпы алғанда (1) және (2) теңдеулер реакция константаларының тәжірибелік және есептелген мәндерін салыстыруда қабылданған кинетикалық модельдердің (9), (16) сәйкестігін және оларды өнеркәсіптік қондырғыларды жобалауда қолданудың негізділігін көрсетті, атап айтқанда, сабынға арналған еріткіштер, қазандықтар мен реакторлар үшін.

#### Қорытынды

Тағамдық қалдық майлар мен жануар майының триглицеридтерінен сабын және глицерин түзе отырып сілтілі гидролиздеу реакциясының, сонымен қатар жоғарғы май қышқылдарын бейтараптандыру және олардың күрделі метил эфирлерін күйдіргіш содамен сабындандыру реакцияларының кинетикалық моделі жасалды. Реакциялар автокаталитикалық болып табылады және де жүруінің үш кезеңінен тұрады: индукциялық, тұрақты жылдамдық кезеңі және жылдамдықтың төмендеу кезеңінен. Олар бастапқы май немесе май қышқылдары бойынша екінші реттік теңдеумен сипатталады. Температураға тәуелді реакция жылдамдығының константасы Аррениус теңдеуімен сипатталды. Белсендіру энергиясының және экспоненциалды көбейткіш факторының мәндері анықталды. Кинетикалық модельдердің сәйкестігі мен дұрыстығы есептік және тәжірибелік мәліметтерді салыстыру жолымен тексерілді: орташа қателік мәні салыстырмалы түрде 10% асқан жоқ.





## ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Клаудия Шейнбаум-Пардо, Андреа Кальдерон-Иразок, Мариана Рамирес-Суарес. Мексикадағы өсімдік майының қалдықтарынан алынған биодизельдің әлеуеті. Биомасса және Биоэнергетика. 56 Том, 2013 Жылғы Қыркүйек, 230-238 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.008> б.

[2] Хаоксин Ли, Цзянфэн Чжао, Юян Хуан, Чжэнву Цзян, Сяоци Ян, Чжэнхун Ян, Цинчэн. Портландцементте ұнтақтауға көмекші құрал ретінде өсімдік майының қалдықтарының әлеуетін зерттеу. Экологиялық Менеджмент журналы. 184 Том, 3 Бөлім, 2016 Жылғы 15 Желтоқсан, 545-551 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.027> б.

[3] Мария Э.Ортнер, Вольфганг Мюллер, Айрин Шнайдер, Анке Бокрейс. Үй шаруашылықтарының өсімдік майының қалдықтарын кәдеге жаратудың үш түрлі жолын экологиялық бағалау. Ресурстар, Сақтау және Қайта өңдеу. 106 Том, 2016 Жылғы Қаңтар, 59-67 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.007> б.

[4] М.А. Калам, Х. Х. Масжуки, М. Х. Джейд, А. М. Лиакват. Қалдық пісіру майымен жанатын жанама тұтанатын дизельді қозғалтқыштың шығарындылары мен өнімділік сипаттамалары. Энергия. 36 Том, 1 Шығарылым, 2011 Жылғы Қаңтар, 397-402 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.026> б.

[5] Spyros Foteinis, Efthalia Chatzisyneon, Alexandros Litinas, Theocharis Tsoutsos. Пайдаланылған-ас майы-биодизель: Өмірлік циклды бағалау және бірінші және үшінші буын биоотынымен салыстыру. Жаңартылатын Энергия. 153 Том, 2020 Жылғы Маусым, 588-600 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.022> б.

[6] Ин Сионг, Вэй-фэн Мяо, На-на Ван, Хун-мэй Чен, Сянь-ран Ван, Цзя-и Ван, Цин-лан Тан, Шуо-пинг Чен. Өсімдік майының қалдықтарына негізделген қатты алкоголь: Синтезі, қасиеттері, микроморфологиясы және биодизельдің бір мезгілде синтезі. Қалдықтарды Басқару. 85 Том, 2019 Жылғы 15 Ақпан, 295-303 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.036> б.

[7] Фанги Лу, Сули Ву. Қытайдың азық-түлік қауіпсіздігі "арыққа"тиеді. Азық-Түлікті Бақылау. 41 Том, 2014 Жылғы Шілде, 134-138 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.019> б.

[8] Сай Лян, Чжу Лю, Мин Сю, Тяньчжу Чжан. Қытайдағы қалдық мұнайдан алынған биоотын ПАРНИКТИК газдар шығарындыларын жаһандық азайту үшін жарықтық береді. Биоресурстар Технологиясы. 131 Том, 2013 Жылғы Наурыз, 139-145 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.008> б.

[9] Дигамбар Сингх, Дилип Шарма, С.Л. Сони, Чандрапал Сингх Инд, Сумит Шарма, Пушпендра Кумар Шарма, Амит Джалани. Өсімдік майының қалдықтарынан биодизель өндірісіне және оны компрессиялық тұтану қозғалтқыштарында отын ретінде пайдалануға жан-жақты шолу: 3-ші буын тазартқыш шикізаты. Таза Өндіріс журналы. Көлемі 307, 20 Шілде 2021, 127299. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127299> б.

[10] Вэй Хан Фу, Вэнь И Чиа, Дорис Ин Ин Тан, Шерлин Сзе Нин Коай, Сью Ши Лим, Кит Уэйн Чу. Өсімдік майының қалдықтары туралы жұмбақ: қауіпті энергияға айналдыру. Қауіпті Материалдар журналы. Көлемі 417, 5 Қыркүйек 2021, 126129. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126129> б.



[11] Г.Баскар, Г. Калавати, Р. Айсвария, И. Абарнабенезер Селвакумари. 7-жеуге жарамсыз май тұқымдары мен балдырлардың биомассасынан био-май алудың Жетістіктері. Тұрақты Қоршаған ортаны қамтамасыз ету Үшін Экологиялық Отын саласындағы жетістіктер. Woodhead Баспа Сериясы Энергетика. 2019, 187-210 Беттер. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102728-8.00007-3> б.

[12] Садана Суджата, Натараджан Раджамохан, Ясир Вассегян, Манивасаган Раджасимман. Қорғасынды жақсартылған алу үшін қалдық пісіру майын қосылған құны бар эмульсиялық сұйық мембранаға айналдыру: Өнімділікті бағалау және оңтайландыру. Химосфера. Көлемі 284, 2021 Жылғы Желтоқсан, 131385. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131385> б.

[13] Альваро Орджуэла, Джеймс Кларк. Пайдаланылған өсімдік майларынан алынған жасыл химиялық заттар: Тенденциялар, қиындықтар және мүмкіндіктер. Жасыл Және Тұрақты Химия саласындағы қазіргі Пікір. 26 Том, 2020 Жылғы Желтоқсан, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100369> б.

[14] Джулиана Карденас, Альваро Орхуэла, Дэвид Л.Санчес, Паулу К. Нарваес, Бенджамин Катриниок, Джеймс Кларк. Жасыл химиялық заттарды өндіру үшін пайдаланылған өсімдік майларын алдын ала өңдеу: шолу. Таза Өндіріс журналы. Көлемі 289, 20 Наурыз 2021, 125129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125129> б.

[15] Р.Дханасекаран, С. Ганесан, Б. Раджеш Кумар, С. Сараванан. Биотуынды пропанолды қолдана отырып, таза шығарындыларды шығару үшін жеңіл ДИЗЕЛЬДІ ҚОЗҒАЛТҚЫШТА өсімдік майының қалдықтарын кәдеге жарату. Жанармай. 235 Том, 2019 Жылғы 1 Қаңтар, 832-837 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.093> б.

[16] Анилкумар Р.Гупта, Вирендра К. Ратод. Кальций диглицероксиді микротолқынды пештің қатысуымен өсімдік майының қалдықтарынан биодизель өндірісін катализдеді: Оңтайландыру және кинетикалық зерттеулер. Жаңартылатын Энергия. 121 Том, 2018 Жылғы Маусым, 757-767 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.027> б.

[17] Нұр Әл-Джаммал, Заид Әл-Хамамре, Мұхаммед Әлнаиф. Күнбағыс майының қалдықтарынан биодизель алу үшін цеолит шоғырынан цеолит негізіндегі катализаторды өндіру. Жаңартылатын Энергия. 93 Том, 2016 Жылғы Тамыз, 449-459 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.018> б.

[18] Алекс Танги, Индра Нил Пулидинди, Нина Перкас, Аарон Геданкен. Қалдық пісіру майынан биодизельді ауқымды өндіру үшін микротолқынды пеш арқылы үздіксіз ағын. Биоресурстар Технологиясы. 224 Том, 2017 Жылғы Қаңтар, 333-341 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.068> б.

[19] Су Шиунг Лам, Ван Адиба Ван Махари, Али Сик Ок, Ванси Пэн, Чен Тунг Чонг, Ньюк Линг Ма, Ховард А.Чейз, Чжэнлинг Лью, Сюзана Юсуп, Эйлханн Э. Квон, Даниэль К. В. Цанг. Қалдықтарды бір уақытта азайту және энергияны тұрақты түрлендіру үшін пластмасса қалдықтары мен пайдаланылған өсімдік майының микротолқынды вакуумдық пиролизі: таза сұйық отынды Қалпына келтіру және техноэкономикалық талдау. Жаңартылатын Және Тұрақты



Энергияға Шолулар. 115 Том, 2019 Жылғы Қараша, 109359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109359> б.

[20] Омар Абоелазайем, Мамдух Гадалла, Басудеб Саха. Суперкритикалық метанолизді қолдана отырып, биодизельдегі қышқылдығы жоғары өсімдік майының қалдықтарын бағалау: Эксперименттік бағалау және Египеттің әдеттегі шикізатын статистикалық оңтайландыру. Энергия. 162 Том, 2018 Жылғы 1 Қараша, 408-420 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.194> б.

[21] Барбара С.Калдас, Катя с. Нуньес, Пауло Р. Соуза, Фернанда А. Роза, Исаи В. Визентайнер, Оскар де Оливера С. Хуниор, Эдвани К. Мунис. Катализатор ретінде иондық сұйықтықты [HMim][HSO<sub>4</sub>] пайдалана отырып, жеуге жарамды мұнай қалдықтарынан биодизель өндіруге арналған суперкритикалық этанолиз. Қолданбалы Катализ В: Экологиялық. 181 Том, 2016 Жылғы Ақпан, 289-297 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.07.047> б.

[22] Чжися Ли, Чжентао Хуан, Шилэй Дин, Фувэй Ли, Чжао Ван, Хунфэй Лин, Конгжин Чен. Пісіру майының қалдықтарын мазутқа каталитикалық түрлендіру: Катализатордың дизайны және еріткіштің әсері. Энергия. 157 Том, 15 Тамыз 2018 Ж., 270-277 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.156> б.

[23] Хуймин Чжан, У. Айтун Өзтүрік, Кунвэй Ван, Цзэньяо Чжао. Өсімдік майының қалдықтарымен өндірілетін биодизель: Қытайда, АҚШ-та және Жапонияда қайта өңдеу режимдеріне Шолу. Жанартылатын Және Тұрақты Энергияға Шолулар. 38 Том, 2014 Жылғы Қазан, 677-685 Беттер. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.042> б.

#### REFERENCES

[1] Claudia Sheinbaum-Pardo, Andrea Calderón-Irazoque, Mariana Ramírez-Suárez. Potential of biodiesel from waste cooking oil in Mexico. Biomass and Bioenergy. Volume 56, September 2013, Pages 230-238. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.008>.

[2] Haoxin Li, Jianfeng Zhao, Yuyan Huang, Zhengwu Jiang, Xiaojie Yang, Zhenhong Yang, QingChen. Investigation on the potential of waste cooking oil as a grinding aid in Portland cement. Journal of Environmental Management. Volume 184, Part 3, 15 December 2016, Pages 545-551. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.027>.

[3] Maria E. Ortner, Wolfgang Müller, Irene Schneider, Anke Bockreis. Environmental assessment of three different utilization paths of waste cooking oil from households. Resources, Conservation and Recycling. Volume 106, January 2016, Pages 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.007>.

[4] M.A. Kalam, H.H. Masjuki, M.H. Jayed, A.M. Liaquat. Emission and performance characteristics of an indirect ignition diesel engine fuelled with waste cooking oil. Energy. Volume 36, Issue 1, January 2011, Pages 397-402. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.026>.

[5] Spyros Foteinis, Efthalia Chatzisyneon, Alexandros Litinas, Theocharis Tsoutsos. Used-cooking-oil biodiesel: Life cycle assessment and comparison with first- and third-generation biofuel. Renewable Energy. Volume 153, June 2020, Pages 588-600. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.022>.



- [6] Ying Xiong, Wei-feng Miao, Na-na Wang, Hong-mei Chen, Xian-ran Wang, Jia-yi Wang, Qing-lan Tan, Shuo-ping Chen. Solid alcohol based on waste cooking oil: Synthesis, properties, micromorphology and simultaneous synthesis of biodiesel. *Waste Management*. Volume 85, 15 February 2019, Pages 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.036>.
- [7] Fangqi Lu, Xuli Wu. China food safety hits the “gutter”. *Food Control*. Volume 41, July 2014, Pages 134-138. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.019>.
- [8] Sai Liang, Zhu Liu, Ming Xu, Tianzhu Zhang. Waste oil derived biofuels in China bring brightness for global GHG mitigation. *Bioresource Technology*. Volume 131, March 2013, Pages 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.008>.
- [9] Digambar Singh, Dilip Sharma, S.L. Soni, Chandrapal Singh Inda, Sumit Sharma, Pushpendra Kumar Sharma, Amit Jhalani. A comprehensive review of biodiesel production from waste cooking oil and its use as fuel in compression ignition engines: 3rd generation cleaner feedstock. *Journal of Cleaner Production*. Volume 307, 20 July 2021, 127299. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127299>.
- [10] Wei Han Foo, Wen Yi Chia, Doris Ying Ying Tang, Sherlyn Sze Ning Koay, Siew Shee Lim, Kit Wayne Chew. The conundrum of waste cooking oil: Transforming hazard into energy. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 417, 5 September 2021, 126129. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126129>.
- [11] G. Baskar, G. Kalavathy, R. Aiswarya, I. Abarnaebenezer Selvakumari. 7 - Advances in bio-oil extraction from nonedible oil seeds and algal biomass. *Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment*. Woodhead Publishing Series in Energy. 2019, Pages 187-210. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102728-8.00007-3>.
- [12] Sadana Sujatha, Natarajan Rajamohan, Yasser Vasseghian, Manivasagan Rajasimman. Conversion of waste cooking oil into value-added emulsion liquid membrane for enhanced extraction of lead: Performance evaluation and optimization. *Chemosphere*. Volume 284, December 2021, 131385. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131385>.
- [13] 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>.
- [14] Juliana Cárdenas, Alvaro Orjuela, David L. Sánchez, Paulo C. Narváez, Benjamin Katryniok, James Clark. Pre-treatment of used cooking oils for the production of green chemicals: A review. *Journal of Cleaner Production*. Volume 289, 20 March 2021, 125129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125129>.
- [15] R. Dhanasekaran, S. Ganesan, B. Rajesh Kumar, S. Saravanan. Utilization of waste cooking oil in a light-duty DI diesel engine for cleaner emissions using bio-derived propanol. *Fuel*. Volume 235, 1 January 2019, Pages 832-837. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.093>.
- [16] Anilkumar R. Gupta, Virendra K. Rathod. Calcium diglyceroxide catalyzed biodiesel production from waste cooking oil in the presence of microwave: Optimization and kinetic studies. *Renewable Energy*. Volume 121, June 2018, Pages 757-767. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.027>.



- [17] Noor Al-Jammal, Zayed Al-Hamamre, Mohammad Alnaief. Manufacturing of zeolite based catalyst from zeolite tuft for biodiesel production from waste sunflower oil. *Renewable Energy*. Volume 93, August 2016, Pages 449-459. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.018>.
- [18] Alex Tangy, Indra Neel Pulidindi, Nina Perkas, Aharon Gedanken. Continuous flow through a microwave oven for the large-scale production of biodiesel from waste cooking oil. *Bioresource Technology*. Volume 224, January 2017, Pages 333-341. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.068>.
- [19] Su Shiung Lam, Wan Adibah Wan Mahari, Yong Sik Ok, Wanxi Peng, Cheng Tung Chong, Nyuk Ling Ma, Howard A. Chase, Zhenling Liew, Suzana Yusup, Eilhann E. Kwon, Daniel C.W. Tsang. Microwave vacuum pyrolysis of waste plastic and used cooking oil for simultaneous waste reduction and sustainable energy conversion: Recovery of cleaner liquid fuel and techno-economic analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 115, November 2019, 109359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109359>.
- [20] Omar Aboelazayem, Mamdouh Gadalla, Basudeb Saha. Valorisation of high acid value waste cooking oil into biodiesel using supercritical methanolysis: Experimental assessment and statistical optimisation on typical Egyptian feedstock. *Energy*. Volume 162, 1 November 2018, Pages 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.194>.
- [21] Bárbara S. Caldas, Cátia S. Nunes, Paulo R. Souza, Fernanda A. Rosa, Jesuí V. Visentainer, Oscar de Olivera S. Júnior, Edvani C. Muniz. Supercritical ethanolysis for biodiesel production from edible oil waste using ionic liquid [HMim][HSO<sub>4</sub>] as catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*. Volume 181, February 2016, Pages 289-297. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.07.047>.
- [22] Zhixia Li, Zhentao Huang, Shilei Ding, Fuwei Li, Zhaohe Wang, Hongfei Lin, Congjin Chen. Catalytic conversion of waste cooking oil to fuel oil: Catalyst design and effect of solvent. *Energy*. Volume 157, 15 August 2018, Pages 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.156>.
- [23] Huiming Zhang, U. Aytun Ozturk, Qunwei Wang, Zengyao Zhao. Biodiesel produced by waste cooking oil: Review of recycling modes in China, the US and Japan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 38, October 2014, Pages 677-685. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.042>.

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

**ОГРАНИЧЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА  
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТХОДОВ ПИЩЕВЫХ МАСЕЛ ЗА СЧЕТ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОЛЕОХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ**

**Аннотация.** Для определения трудностей и перспектив использования отходов отработанного кулинарного масла в качестве вторичного сырья для получения ценной продукции возникает необходимость глубокого изучения процессов, применяемых при вторичной переработке, и это является актуальной проблемой. В статье описано негативное влияние отходов отработанного кулинарного масла на компоненты окружающей среды, засорение водоотводных



систем, загрязнение сточных вод токсичными веществами. Описана возможность использования отработанных пищевых маслоотходов в качестве вторичного сырья при синтезе средств бытовой химии, при производстве санитарно-гигиенических изделий. Приведены результаты оценки потенциала отработанных пищевых масел как олеохимического сырья. Представлены результаты кинетического исследования процесса получения санитарно-гигиенического мыла из пищевых масложировых отходов. Описаны реакции нейтрализации, омыления и омыления сложных жирных кислот. Рассчитана кинетика скорости реакций нейтрализации и омыления, реакции омыления сложных жирных кислот. Константу скорости реакции, зависящую от температуры, описывали уравнением Аррениуса. Определены значения энергии активации и экспоненциального множителя. Актуальность и корректность кинетических моделей проверялись путем сравнения расчетных и экспериментальных данных: среднее значение ошибки было относительно в пределах 5-10%. Результаты представленных исследований имеют перспективу практического применения при производстве санитарно-гигиенического мыла с использованием отходов пищевого масла, которые производятся в огромном количестве, в качестве вторичного сырья.

**Ключевые слова:** отходы пищевых масел; окружающая среда; токсичные загрязнители; сточные воды; олеохимическое сырье.

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

#### **LIMITING THE ANTHROPOGENIC IMPACT OF EDIBLE OIL WASTE ON THE ENVIRONMENT BY USING IT AS OLEOCHEMICAL RAW MATERIAL**

**Annotation.** To determine the difficulties and prospects of using waste cooking oil as a secondary raw material for obtaining valuable products, there is a need for an in-depth study of the processes used in recycling, and this is a pressing issue. The article describes the negative impact of waste cooking oil on environmental components, clogging of drainage systems, and wastewater pollution with toxic substances. The possibility of using waste food oil waste as a secondary raw material in the synthesis of household chemicals and in the production of sanitary and hygienic products is described. The results of assessing the potential of waste food oils as oleochemical raw materials are presented. The results of a kinetic study of the process of obtaining sanitary and hygienic soap from food oil and fat waste are presented. The reactions of neutralization, saponification, and saponification of complex fatty acids are described. The kinetics of the rate of neutralization and saponification reactions, and the saponification reaction of complex fatty acids are calculated. The reaction rate constant, depending on temperature, was described by the Arrhenius equation. The values of activation energy and exponential factor were determined. The relevance and correctness of kinetic models were verified by comparing calculated and experimental data: the average error value was relatively within 5-10%. The results of the presented studies have potential for practical application in the production of sanitary and hygienic soap using waste edible oil, which is produced in huge quantities, as secondary raw materials.

**Key words:** waste edible oils; environment; toxic pollutants; wastewater; oleochemical raw materials.