

Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК



МАТЕРИАЛЫ

VII международной научно-практической конференции
"Информатика и прикладная математика",
20 октября - 21 октября 2022, Алматы, Казахстан

Алматы 2022

УДК 378 (063)
ББК 74.58
И74

Главный редактор:
Калимолдаев М.Н. - академик НАН РК, д.ф.-м.н., профессор, советник
генерального директора ИИВТ МНВО РК

Ответственные редакторы:
Мамырбаев О.Ж. - заместитель генерального директора по науке ИИВТ,
доктор PhD
Айнакулов С.Ж. - заместитель генерального директора ИИВТ
Усатова О.А. – главный ученый секретарь ИИВТ МНВО РК, PhD

И 74 **Информатика и прикладная математика:** Мат. VII Межд. науч. конф.
(20 октября -21 октября 2022 г.). Алматы, 2022. – 397 с.

ISBN 978-601-332-384-8

В сборнике опубликованы доклады, представленные учеными Республики Казахстан, стран ближнего и дальнего зарубежья. (Кыргызской Республики, Российской Федерации, Турции и др.)

Рассмотрены актуальные вопросы в области математики, информатики и управления: математического моделирования сложных систем и бизнес-процессов, исследования и разработки защищенных и интеллектуальных информационных и телекоммуникационных технологий, математической теории управления, технологий искусственного интеллекта.

Материалы сборника предназначены для научных работников, докторантов и магистрантов, а также студентов старших курсов.

УДК 378 (063)
ББК 74.58

ISBN 978-601-332-384-8

© Институт информационных и
Вычислительных технологий МНВО РК, 2022

МҰНАЙ ҚАЛДЫҚТАРЫН ТЕРМИЯЛЫҚ ӨНДЕУДІ МОДЕЛЬДЕУ

Балакаева Г.Т¹., Калменова Г.Б².

e-mail¹: gulnardtsa@gmail.com, e-mail²: kalmenova.g.b@gmail.com

аль-Фараби атындағы ҚазҰУ, Қазақстан

***Аннотация.** Мақалада мұнай қалдықтарының құрамындағы зиянды заттардан қоршаған ортаны қорғау мәселесін шешу жолдарының бірі ұсынылған. Сондай-ақ мұнай шламын өңдеу әдістері мен технологияларының егжей-тегжейлі талдауы берілген, оның негізінде қалдықтардың қоршаған ортаға әсерін барынша азайту мақсатында мұнай шламын өңдеудің термиялық әдісі таңдалған. Термиялық өңдеу үшін мұнай шламынан зиянды заттардың булануы кезіндегі жылу мен масса алмасуды сипаттайтын математикалық модель құрастырылды. Дифференциалдық теңдеулердің сандық шешімі және ауқымды есептеу тәжірибесі алынған нәтижелер мұнай шламын термиялық өңдеу кезінде зиянды заттардың жылу және масса алмасу және булану заңдылықтарын дұрыс сипаттайтынын көрсетті. Әртүрлі технологиялық параметрлердің әсерін зерттеу және болжау және мұнайлы қалдықтарды экологиялық таза деңгейге дейін өңдеуді зерттеу және талдау үшін Python құралдарының көмегімен бағдарламалық қосымша әзірленді. Бағдарламалық қосымша мұнай шламын өңдеудің интерактивті пайдаланушы талдау мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Авторлардың зерттеулері мұнай шламын зиянды қоспалардан тазартуға және олардың қоршаған ортаға теріс әсерін азайтуға бағытталған.*

Кіріспе

Қоршаған орта үшін табиғи ресурстарды қайта өңдеу экологиялық және экономикалық тұрғыдан маңыздырақ болып отыр. Мұнай өңдеу зауыттары мен мұнай-газ кәсіпорындарының өндірістік қызметі қоршаған ортаны ластаудың негізгі көздерінің бірі болып табылады. Мұнай өңдеу кәсіпорындарының қалдықтарының қоршаған ортаға және адам денсаулығына кері әсері ең алдымен олардың жоғары уыттылығымен байланысты маңызды экологиялық болып мәселе болып табылады. Табиғи ортаның барлық дерлік компоненттерінің ішіндегі ең қауіпті ластаушы – мұнай шламы. Қоршаған ортаның ластануы мұнай мен мұнай өнімдерін өндіру, тасымалдау, өңдеу және кәдеге жарату нәтижесінде, сондай-ақ мұнай өнімдерін қабаттарға рұқсатсыз төгу, техногендік авариялар, өнеркәсіптік өндіріс нәтижесінде болады.

Мұнай шламын термиялық өңдеу мәселесін модельдеу маңызды жер учаскелерінің мұнай қалдықтарымен ластануы нәтижесінде экология мәселесін шешу қажеттілігіне байланысты өте өзекті, өйткені қазіргі уақытта қоғамды толғандыратын негізгі мәселелердің көпшілігі қоршаған ортаны қорғау саласы.

Термиялық өңдеу әдісі

Мұнай шламын кешенді термиялық өңдеу әдісі енбекті үнемдейтін процедура болып табылады. Мұнай шламын термиялық ыдырату процесі қауіпті мұнай шламын тиімді пайдаланудың перспективті әдісі болып табылады, өйткені оның ұшқыш органикалық

материалдары және жоғары қыздыру қасиеті бар [1]. Шетелдік және отандық тәжірибеде мұнай шламын термиялық бейтараптандыру әдісі кеңінен қолданылады.

Термиялық процестер әдетте жоғары улы қалдықтар немесе жоғары концентрацияланған органикалық қалдықтар үшін қолданылады. Термиялық деструкция процестері жоғары температурада (1600-ден 2000 °F) жұмыс істейді, ластаушы заттардың кемінде екі секунд тұру уақытын қамтамасыз етеді және негізгі органикалық ластаушылар үшін 99,99%-дан жоғары жою тиімділігіне қол жеткізе алады [4].

Термиялық әсер – мұнай шламын өңдеудің негізгі әдісі. Термиялық әсерлердің ең көп қолданылатын түрлері жану, газдандыру, пиролиз, ауада, вакуумда қыздыру және т.б. Жылулық әдістерге әдетте шламды өңдеуге дайындау; жоғары температурада өңдеу; көп сатылы газды тазарту; жылуды қалпына келтіру; органикалық жанама өнімдер (газ, отын) және минералды өнімдер (оксидтер, цемент, минералды тұздар) өндірісі. Олардың бір-бірінен маңызды айырмашылығы – пайдаланылған оттегінің мөлшерінде .

Мұнай шламын өңдеудің термиялық әдістері өнімді коллекторды жылыту үшін жылу энергиясын пайдалануды қамтиды. Мұнайдың тұтқырлығының айтарлықтай төмендеуіне қол жеткізу үшін қабат температурасы айтарлықтай жоғарылауы керек, оны мұнай шламының қозғалғыштығы әсерін арттыру үшін пайдалануға болады. Өңдеу әрекетінде тау жынысының суланғыштығы артады, мұнай қалдықтарын неғұрлым тиімді өңдеу мүмкіндігі артады.

Жылудың жеткілікті мөлшерімен және өнімді қыздырылған аймақтан бір мезгілде шығарумен тұру уақытымен барлық шикізатты (қалдықтарды) азайып бара жатқан шикізаттың қажетті түрлендіру дәрежесін қамтамасыз ету үшін жылу беру қарқындылығын өлшеу арқылы «өңдеуге» болады [5].

Көп жағдайда термиялық өңдеуді қолдану үнемді емес, өйткені қалдықтардың құрамында май мен су тым көп [6]. Май шламын сүзгілеу мүмкін емес, себебі қатты заттардың мөлшері тым жоғары және сүзгілеу әрекеттері сүзу жүйелерін бітеп тастайды.

Мұнай шламын қыздырған кезде байқалатын эндотермиялық әсер материалдан суды және басқа да ұшқыш заттарды кетірумен байланысты.

Мұнай қалдықтарын тотықтыру оны өңдеудің тиімді әдісі болып табылады, бұл шламды аккумуляторларды жоюдың экологиялық мәселесін шешуге мүмкіндік береді. Мұнай шламын тотықтырғыш термиялық өңдеу пиролиз бен өртеу арасындағы технология болып табылады [7-8]. Мұнай қалдықтарының органикалық бөлігін термиялық өңдеу және тотықтыру оған ыстық газбен және ауа ағынымен әсер етуді қажет етеді және мұнай қалдықтарының бетінде газ тәрізді және сұйық фракциялар түзіледі .

Зерттеу жұмысында [9] битумының көмірсутекті компоненттерінің біршама тотығуы көрсетілген. [10] ғалымдар зерттеулер жүргізіп, онда эксперименттер нәтижесінде газ тәрізді өнімдердің ең жоғары концентрациясы көмірқышқыл газы, сутегі, метан және көміртегі тотығы болатынын көрсетті.

Сұйық мұнай қалдықтарынан және мұнайлы қабаттардағы майлы шөгінділер мен шламдардан құтылу үшін термиялық қыздыру жүргізілді . Барлық нәтижелер фрагменттерге қыздыру кезінде 150°C, 250°C, 350°C және 450°C ыстық ауа ағындарына ұшыраған кезде алынды.

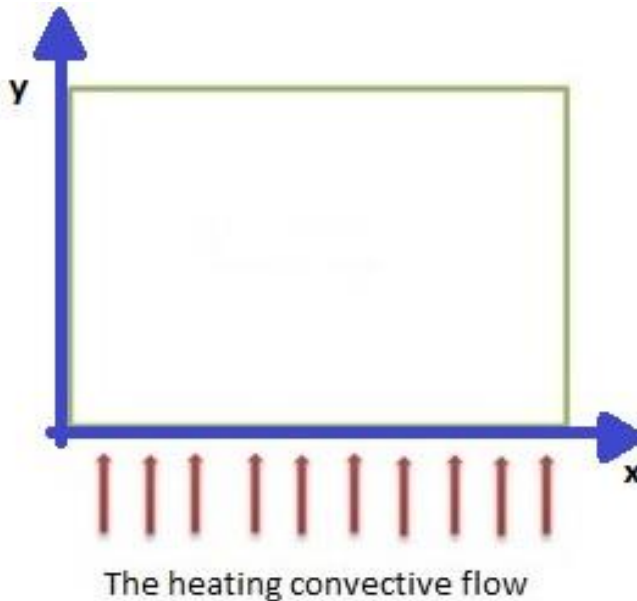
Мұнай шламдарын өндеудің термиялық әдісін модельдеу

Есептің қойылымы

Мұнай шламын термиялық өңдеу арқылы экологиялық қауіпсіз деңгейге дейін мұнай қалдықтарын залалсыздандыру және кәдеге жарату мәселелерін шешуге арналған бағдарламалық кешен әзірлеу арқылы қоршаған ортаның мұнайлы қалдықтармен ластануын азайту – біздің жұмысымыздың басты міндеті.

Қайта өңдеу қажеттілігі қалдықтардың қоршаған ортаға теріс әсерінен де, көмірсутек шикізатының қайта қалпына келмеуінен де туындайтын экологиялық проблемаларға байланысты. Айналадағы экожүйелерге антропогендік әсерді барынша азайту үшін технологиялық шешімдерді әзірлеу қажеттілігі мұнай кешенінің қарқынды дамуы экологиялық тепе-теңдікті бұзатын бірқатар қолайсыз факторларға әкеліп соқтыруымен байланысты.

Жылыту конвективті ауа ағыны төменнен (1-суреттегідей) өтеді деп болжанады, ал қалған жақтары өте жақсы оқшауланған деп саналады. Уақыттың ұлғаюымен жылу мұнай шламының бүкіл көлеміне ішке қарай таралады, демек, мұнай шламының сұйық фракциялары буланып, сыртқа таралады. Төменде сипатталған процесті модельдеуге сәйкес, авторлар мұнай шламын термиялық өңдеу кезінде жылу және масса алмасу процестерінің сәйкес сипаттамаларын зерттейді және талдайды.



1-Сурет. Жылу беру ағынының схемасы .

Мұнай қалдықтарын термиялық өндеуді модельдеу

Процестің математикалық моделі жылу және масса алмасу теңдеулер жүйесімен сипатталған және термиялық өңдеу кезінде жылу мен концентрация алмасуды стационар емес, конвективті және диффузиялық қамтитын жеке туындылардағы екінші ретті параболалық дифференциалдық теңдеулер жүйесін қамтиды.

Мұнай шламын термиялық өндеудің тұрақсыз жылу және масса алмасу есебін математикалық модельдеу өлшемсіз айнымалылардағы дифференциалдық теңдеулер жүйесін қамтиды. Жылу алмасу теңдеуі мұнай шламының пластинасын ыстық ауа ағынымен қыздырған кездегі жылу алмасу процесін сипаттайды ((1) бірінші теңдеу).

Масса алмасу теңдеуі ((1)-дегі екінші теңдеу) мұнай шламын термиялық өңдеу кезінде сұйық фракцияның жоғалуын сипаттайды:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} = \frac{1}{Re*Pr} \left(\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} = \frac{1}{Re*Sc} \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} \right) \end{cases} \quad (1)$$

Жылу өткізгіштік денелердегі жылу таралу дифференциалдық теңдеуіне коэффициент ретінде кіреді:

Дифференциалдық теңдеулер жүйесі өткізгіш жылу процесінің дамуын сипаттайды және массалық тасымалдау.

Нақты есептерді шешу кезінде дифференциалды берілу теңдеулер жүйесін бастапқы және шекаралық шарттармен толықтыру қажет [12]. Теңдеулер жүйесінің шешімін алу үшін оған бастапқы және шекаралық шарттарды қосу керек. Осылайша, біз T және C үшін уақыттың бастапқы моментіндегі бастапқы шекаралық шарттарды және шекаралардағы шекаралық шарттарды бердік .

Жылу алмасудың бастапқы және шекаралық шарттары былай жазылады :

$$\begin{aligned} \bar{T}|_{t=0} &= 0 \\ \frac{\partial \bar{T}}{\partial x}|_{x=0} &= 0, \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial x}|_{x=L} = 0 \\ \bar{T}|_{y=0} &= 1, \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}|_{y=H} = 0 \end{aligned}$$

Масса алмасудың бастапқы және шекаралық шарттары былай жазылады:

$$\begin{aligned} \bar{C}|_{t=0} &= C_0 \\ \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}|_{x=0} &= 0, \quad \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}|_{x=L} = 0 \\ \bar{C}|_{y=0} &= \text{const}, \quad \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}|_{y=H} = 0 \end{aligned}$$

Сандық шешім және бағдарламалық қосымша

(1) жүйесіндегі сандық дифференциалдық теңдеулер үшін айнымалы бағыттар әдісі қолданылды. Біздің мәселеміз үшін ADI әдісінің қолдану және жинақтылық шарттары тексерілді [13]. Шешім конвергенция шарты орындалғанға дейін ауыспалы бағыттар арқылы жасырын айырмашылық схемасын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Мұнай шламын өңдеуге әртүрлі технологиялық параметрлердің әсерін зерттеу және болжау үшін біз арнайы бағдарламалық пакет әзірледік. Алынған есептеу нәтижелері Python құралдарының көмегімен өңделеді. Мұнай шламының қалдықтарын өңдеу нәтижелерін визуализациялау үшін кіріктірілген питон түрлері құралы пайдаланылды.

Бағдарламалық қосымша әзірлеу

Мұнай шламының қалдықтарын өңдеуді есептеу бағдарламасы алынған нәтижелерді талдау үшін Python тілінде жазылған графикалық интерфейсті қолдануға болатындай етіп жасалған. Дисплей үшін Matplotlib құралы пайдаланылды. Бұл құралдың көмегімен температураның өзгеруін көрсететін 3D сызбасы жасалды [14]. Tkinter құралының көмегімен мұнай шламындағы жылу және масса алмасу заңдылықтарын зерттеуді жүзеге асыру үшін нақты интерфейс жасалды. Деректерді визуализациялау біздің қолданбамыздың ажырамас бөлігі болып табылады. Интерактивті графиктермен жұмыс істеуге ғана емес, сонымен қатар оларды веб-сайтта көрсетуге мүмкіндік беретін Python-Dash деректер визуализациясы жүйесі

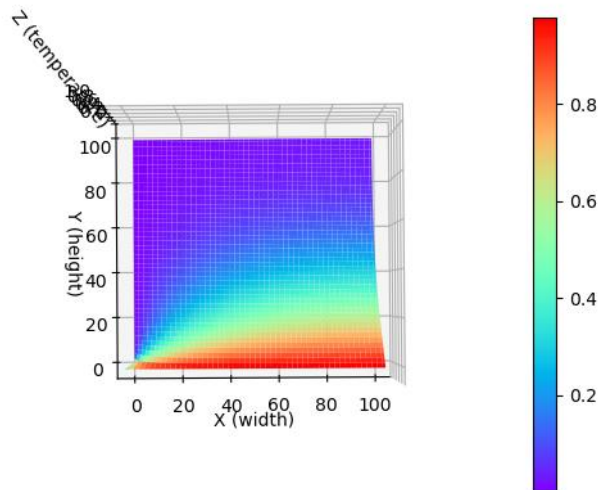
Секция – 1. Современные проблемы прикладной математики, информатики и теории управления. Моделирование и оптимизация сложных систем и бизнес процессов. Вычислительная математика, численный анализ и программирование, математическая логика. Теория статистики. Статистические методы

қолданылады. Dash қолданбасының коды декларативті және жауап береді, бұл көптеген интерактивті элементтерді қамтитын күрделі қолданбаларды жасауды жеңілдетеді. Кірістірілген python ступес құралы шөгінділерді өңдеуді есептеу кітапханасымен біріктіру үшін пайдаланылды. Бұл құрал Python ішіндегі C\C++ тілінде жазылған функцияларды алуға және пайдалануға көмектеседі. Tkinter құралының көмегімен оның параметрлерін жүзеге асыру және сәйкес нәтижелерді алу үшін интуитивті интерфейс жасалды. Бағдарламалық қосымша Python объектілі-бағытталған бағдарламалау ортасында жүзеге асырылды.

Нәтижелер

Сұйықтықтың жоғалу процесіне әсер ететін негізгі параметрлерді анықтау үшін мұнай шламы қыздырылған конвективті ауа ағындарының әсеріне ұшырады. Тікбұрышты плиталардағы жылу және масса алмасу процестерін талдау конвективтік ағынның температурасы мен жылдамдығы, сонымен қатар пластинаның геометриялық өлшемдері зерттелетін негізгі параметрлердің қатарына жатады. Осылайша, бұл сандық тәжірибелік зерттеу ауа температурасының 150°C-тан 450°C-қа дейінгі диапазондағы өзгеруін және ауа жылдамдығының 0,83 м/с-тан 2,7 м/с-ге дейінгі аралықта өзгеруін болжады.

Есептеулер жоғарыда көрсетілген параметрлер бойынша буланған компоненттердің массалық концентрациясына негізделген. Жылдамдық пен температураны, пластина өлшемін өзгерту арқылы термиялық өңдеу кезінде ластаушы заттардың булануын есептеу арқылы келесі нәтижелер алынды.

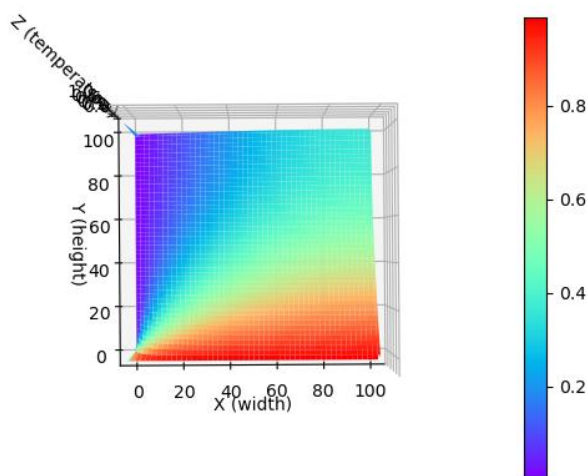


3-сурет. 150 °C 0,83 м/с жылдамдықта мұнай шламының температурасының өзгеруі

Суреттер (3) және (4) 2,7 м/с және 0,83 м/с 150 °C жылдамдықта технологиялық параметрлері өзгертін резервуар учаскелеріндегі температураның өзгеруін көрсетеді.

Жоғарыдағы суреттер жалпы ауа ағынының температурасы мен өлшемі тұрақты сақталатын жағдайларға арналған. Осылайша, графиктер масса алмасу процесіне

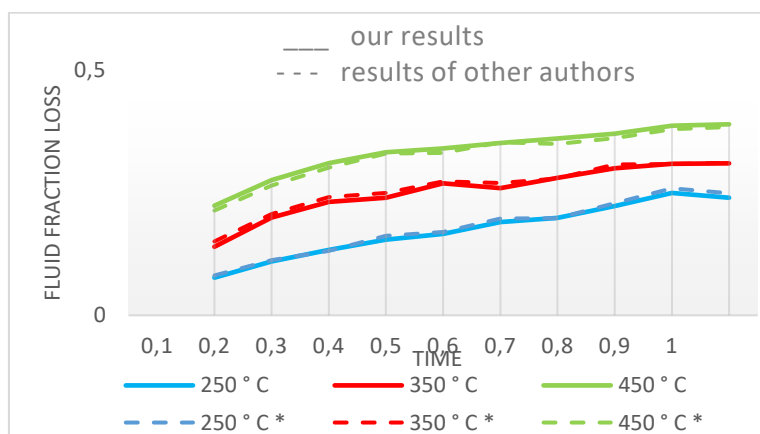
жылдамдық әсерін көрсетеді. 3-4-суреттердегі алынған сандық нәтижелер физикалық процестерді дұрыс сипаттайды.



4 - сурет . 150 ° C 2,7 м / с жылдамдықта мұнай шламының температурасының өзгеруі

Конвективтік қыздыру жағдайында жылдамырақ қозғалатын сұйықтық жүйедегі жылу беру сипаттамаларын жақсартады, демек, қыздырылған мұнай қалдықтары ішіндегі булану және диффузиялық жетектерді күшейтеді. Сондай -ақ , қыздырылған плита бетіндегі жоғары

5 - суретте әртүрлі температурадағы ыстық ауа ағындарына енгізілген мұнайлы қадықтары бар плиталарының массалық жоғалуы көрсетілген.



5 - Сурет. 0,83 м/с жылдамдықпен әртүрлі ағын температурасында сұйықтық фракциясының уақытпен салыстырғанда салыстырмалы талдауы . Бұл көрсеткіш басқа авторлар алған нәтижелерді қамтиды [9].

Көріп отырғанымыздай, ағынның жоғары температурасы соңғы ұшқыштық шектерін арттырады және масса алмасу жылдамдығын арттырады. Демек, ағынның температурасы неғұрлым жоғары болса, булану фракциясы соғұрлым көп болады. Атап айтқанда, ағын температурасының жоғарылауымен мұнай қалдығы бар тақтасының ішінде үстемдік ететін температураның жоғарғы шегі үлкен болады, бұл

ауыр компоненттердің булануын және диффузиясын тудырады. Екінші жағынан, сұйық буларының диффузиялық қасиеті жоғарырақ температурада жоғарырақ болар еді, бұл сұйықтықтың диффузия процесін жеделдетеді. Сонымен қатар, ағынның жоғары температурасы булардың қыздыру ағындарына диффузиясы мен конвекциясын жақсартады, бұл өз кезегінде ұшпалану жылдамдығын күшейтеді және тездетеді.

Қорытынды

Өңдеу өнеркәсібінің қалдықтарының көлемі жыл сайын артып келеді. Мұнай қалдықтарының зиянды әсері адам өмірі мен денсаулығына қауіп төндіретін және болашақ ұрпақтың өмірі мен денсаулығына қауіп төндіретін экологиялық факторларға әсер етеді. Сондықтан қоршаған ортаны қорғау үшін мұнай шламын сандық әдістермен термиялық өңдеу моделін жасау тапсырманың негізгі мақсаты болды.

Мұнай шламдары туралы ашық әдебиеттерге шолу ыстық конвективтік атмосферадағы мұнай плиталарындағы жылу және масса алмасу процестерін сандық талдауға қатысты салыстырмалы түрде аз ақпарат бар екенін көрсетті. Тікбұрышты мұнай плиталарындағы энергия мен заттардың тасымалдануының талдауы талқыланды және қыздырылған мұнай қалдықтары плиталарындағы сұйықтық концентрациясы мен өтпелі температура профилдерінің қарапайым шешімі өлшеніп, теориялық түрде есептелді.

Ұсынылған сандық нәтижелер мұнай шламын термиялық өңдеудің физикалық заңдылықтарын дұрыс сипаттайды, осылайша, құрастырылған математикалық модель және әзірленген сандық модельдеу мұнай шламын термиялық өңдеу кезінде болатын жылу және масса алмасу процестерін зерттеуге мүмкіндік береді, өнеркәсіпте қолдану үшін тек теориялық емес, сонымен қатар практикалық маңызы бар деп үміттенеміз.

Әдебиеттер

1. M. U. Kankia, L. Baloo, B. S. Mohammed, S. B. Hassan, E. A. Ishak, Z. U. Zango. Review of petroleum sludge thermal treatment and utilization of ash as a construction material, a way to environmental sustainability. *International Journal of Advanced and Applied Sciences* 2020;7(12):68-81. DOI: 10.21833/ijaas.2020.12.008
2. O. A. Johnson, A. Ch. Affam. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. *Environmental Engineering Research* 2019; 24(2): 191-201. DOI: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.134>
3. X. Wang, Q. Wang, Sh. Wang, F. Li. Effect of biostimulation on community level physiological profiles of microorganisms in field-scale biopiles composed of aged oil sludge. *Bioresource Technology* 2012; 111: 308-315. DOI:10.1016/j.biortech.2012.01.158
4. N. Jadidi, B. Roozbehani, A. Saadat. The Most Recent Researches in Oily Sludge Remediation Process. *American Journal of Oil and Chemical Technologies* 2014; 2(10): 340-348.
5. E. I. Bakhonina, U. B. Imashev. Processing of hydrocarbon-bearing slurries without their removing from outdoor storages. *Bashkir chemical journal* 2017; 22(1): 20-29. ISSN: 0869-8406 (In Russian)
6. B. Islam. Petroleum sludge, its treatment and disposal: a review. *Int. J. Chem. Sci.* 2015; 13(4):1584-1602. ISSN 0972-768X

7. J. Shie, J. Lin, Ch. Chang, Ch. Wu, D. Lee, Ch. Chang, and Y. Chen. Oxidative Thermal Treatment of Oil Sludge at Low Heating Rates. *Energy & Fuels* 2004;18: 1272-1281. DOI: 10.1021/ef0301811
8. Sh. Cheng, F. Chang, F. Zhang, T. Huang, K. Yoshikawa, H. Zhang. Progress in thermal analysis studies on the pyrolysis process of oil sludge. *Thermochimica Acta* 2018; 663: 125-136. DOI: 10.1016/j.tca.2018.01.006
9. M. A. Abdrabboh. *Studies in Heat and Mass Transfer in Oil Sand Beds* [dissertation]. Calgary, Alberta, Canada: The University of Calgary; 1983
10. A. S. Hanafi. *Experimental and Analytical Studies of Volatilization and Burning of Oil Sand Particles* [dissertation]. Calgary, Alberta, Canada: The University of Calgary; 1979
11. M. A. Abdrabboh, G. A. Karim. A Study of Mass Transfer Around Oil Sand Fragments in High Temperature Atmospheres. *ASME Journal of Energy Resources Technology* 1989; 111: 97-99.
12. G.T. Balakayeva, E. Mikebaev, M. Safonov, E.K. Ongarbaev, S.Zh. Tetenov. Numerical modeling of heat and mass transfer in a reactor for continuous movement of oxidation of oil slime. *Chemical Bulletin of Kazakh National University* 2000; 3: 47-55 (in Russian).
13. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. - 2-е изд. -М.: Научный мир. -2003.-316 с.
14. G. T. Balakayeva, G. B. Kalmenova, M. T. Turdaliev. Using Python tools to digitize data processing. *Marchuk scientific readings* 2020; June 29 - July 3, 2020, Novosibirsk, Russia. p104