ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.942:532.529+662.613

Тажикбаева С.Т.
ст. преп. Ошского государственного университета, Кыргызская Республика
Ташполотов Ы.
д. ф.-м. н., проф. Ошского государственного университета, Кыргызская Республика
Абдалиев У.К.
к. т. н., доц. Ошского техн. универ. им. М.М. Адышева, Кыргызская Республика

КОМПОЗИЦИЯЛЫК КҮЙҮҮЧҮ СУЮК ЗАТТЫН ЭКИ ФАЗАЛУУ АГЫМЫН COMSOL MULTIPHYSICS ЧӨЙРӨСҮНДӨ МОДЕЛДЕШТИРҮҮ

Бул жумушта изилдөөнүн предмети – курамы суудан жана көмүрдөн турган композициялык суюк күйүүчү заттын эки фазалуу агымын моделдештирүү болуп саналып, мында экономикалык жана экологиялык жактан эффективдүү болгон композициялык суюк күйүүчү затты даярдоонун технологиясынын макроскопикалык модели COMSOL Multiphysics программалык чөйрөсүндө түзүлдү. Изилдөөнүн максаты: көмүрдүн бөлүкчөлөрүнүн суудагы абалын, кыймылын, суудагы таралуусун математикалык жактан талдоо, композициялык суюк күйүүчү заттын стабилдүүлүгүн, эффективдүүлүгүн жогорулатуу үчүн заттын курамын, мүнөздөмөлөрүн оптималдаштыруу болду. Изилдөөнүн методу: аралашма үчүн импульстун сакталуу законунун, үзгүлтүксүздүктүн, массанын сакталуу законунун теңдемелери COMSOL Multiphysics программасынын Laminar Flow параметри аркылуу колдонулду. Изилдөөнүн жыйынтыгында түзүлгөн моделдин негизинде композициялык суюк күйүүчү заттын сапатына көмүрдүн маркасынын, суунун илешимдүүлүгүнүн, көмүрдүн бөлүкчөсүнүн өлчөмүнүн, аралашманын курамындагы көмүрдүн жана суунун концентрациясынын тийгизген таасирлери изилденип, анализденди. Алынган жыйынтыктардын өзгөчөлүгү, илимий баалуулугу катарында көмүрдүн бөлүкчөлөрүнүн суудагы абалы, аралаштыруу учурундагы миграциясынын мүнөзү аркылуу суу-көмүр отунунун сапатын текшерүү макроскопикалык моделдин жардамында ишке ашкандыгын белгилөөгө болот. Алынган натыйжалардын практикалык мааниси сапаттуу композициялык суюк күйүүчу затты даярдоо үчүн аралашмага суунун илешимдүүлүгүн жогорулатуучу пластификаторлорду, бөлүкчөлөрдүн сууда жакшы аралашуусу үчүн стабилизаторлорду кошуу зарылдыгын өнөр жай шарттарында колдонуу мүмкүнчүлүгүнөн турат. Келечектеги изилдөөлөрдү композициялык суюк күйүүчү заттардын сапатын жогорулатууда температуранын жана басымдын таасирлерин моделдештирүүгө багыттоо максатка ылайыктуу.

Негизги сөздөр: *композициялык зат; математикалык модель; реологикалык касиеттер; ламинардык агым; чөйрө; пластификатор.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА КОМПОЗИЦИОННОГО ТОПЛИВА В СРЕДЕ COMSOL MULTIPHYSICS

В данной работе предметом исследования является моделирование двухфазного потока композиционого топлива, состоящего из воды и угля, при этом в программной среде COMSOL Multiphysics создана макроскопическая модель технологии производства композиционного топлива, которая является экономически и экологически эффективной. Цель исследования: математический анализ состояния, движения и распределения частиц угля в воде, оптимизация состава и характеристика для повышения стабильности и эффективности композиционного топлива. Методы исследования- законы сохранения импульса, непрерывности, сохранения массы смеси с использованием параметра Laminar Flow программы COMSOL Multiphysics. В результате исследования на основе созданной модели изучено и проанализировано влияние марки угля, вязкости воды, размера частиц угля, концентрации угля и воды в смеси на качество композиционного топлива. Особенность и научная ценность полученных результатов заключается в том, что проверка качества композиционного топлива по состоянию частиц угля в воде и характеру их миграции при смешивании осуществляется с помощью созданной макроскопической модели. Практическая значимость полученных результатов состоит в возможности использования пластификаторов и

стабилизаторов для улучшения характеристик композиционного топлива в промышленных условиях. В перспективе исследования могут быть направлены на моделирование влияния температуры и давления на повышение качества композиционного топлива.

Ключевые слова: *композиционное вещество; математическая модель; реологические свойства; ламинарный поток; среда; пластификатор.*

SIMULATION OF TWO-PHASE FLOW OF COMPOSITE FUEL IN THE COMSOL MULTIPHYSICS ENVIRONMENT

In the article, the subject of the study is the modeling of a two-phase flow of a composite fuel consisting of water and coal, while a macroscopic model of a composite fuel production technology was created in the COMSOL Multiphysics software environment, that is economically and environmentally efficient. The purpose of creating the model is to mathematically analyzing the state, movement and distribution of coal particles in water, optimizing the composition and characteristics of the fuel to improve the stability and efficiency of the composite fuel. The study used the equations of the conservation law of momentum, the law of continuity, the law of conservation of the mixture mass using the Laminar Flow parameter of the COMSOL Multiphysics program. As a result of research based on the created model, the influence of coal grade, water viscosity, coal particle size, concentration of coal and water in the mixture on the quality of coal-water fuel was studied and analyzed. The peculiarity and scientific value of the results obtained lies in the fact that the quality of coal-water fuel is checked by the state of coal particles in water and the nature of their migration during mixing using the created macroscopic model. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of using plasticizers and stabilizers to improve the characteristics of composite fuels in industrial conditions. In the future, research may be aimed at modeling the influence of temperature and pressure on improving the quality of composite fuel.

Keywords: *composite material; mathematical model; rheological properties; laminar flow; environment; plasticizer.*

Киришүү

Эл аралык энергетикалык агенттигинин жылдык отчетуна ылайык, 2023-жылы дүйнө жүзү боюнча көмүрдү керектөө көрсөткүчү эң жогорку чекке жеткен [1]. Бирок бул көрсөткүч ар бир аймакта ар кандай бөлүштүрүлүп, айрым аймактарда көмүрдү керектөө тескерисинче төмөндөгөн. Агенттиктин маалыматы боюнча 2023-жылы Евробиримдиктин курамындагы өлкөлөрдө жана АКШда көмүргө болгон суроо-талап 20 пайызга кыскарып, тарыхый рекордго жеткен. Бул көрүнүш экономикасы өнүккөн жана өнүгүп келе жаткан өлкөлөрдө энергетикалык ресурстарды натыйжалуу пайдалануунун жыйынтыгы менен байланышкан. Ал эми электр энергиясына болгон суроо-талап жогору, бирок гидроэнергетикасы начар болгон Индия менен Кытайда бул көрсөткүчтөр 8 жана 5 пайызга өскөн.

Париж келишиминин шарттарын аткарууга багытталган дүйнөлүк коомчулуктун бардык аракеттерине карабастан, көмүр - электр энергиясын өндүрүү үчүн дүйнөдөгү негизги энергия булагы бойдон калууда жана электр энергиясына болгон суроо-талаптын өсүшү көмүргө болгон дүйнөлүк суроо-талапты жаратууну улантууда [2].

Азыркы учурда көмүр менен иштеген энергетикалык объектилерден зыяндуу калдыктардын бөлүнүп чыгуусун азайтууга жана көмүрдүн энергетикалык мүнөздөмөлөрүн жогорулатууга багытталган ар кандай технологиялар иштелип чыгууда. Мындай технологияларга көмүр энергетикасын өнүктүрүүнүн эң перспективдүү багыттарынын бири болгон көмүрдүн жана биомассанын негизинде композиттик күйүүчү заттардын технологиясын иштеп чыгууну белгилөөгө болот [3].

Көмүр суспензияларын изилдөөгө жана түзүүгө багытталган изилдөөлөр өткөн кылымдын ортосунда Россияда жүргүзүлгөн. Көмүрдүн майда калдыктарын жок кылуу

максатында 1959-жылы мамлекеттик пландын тапшырмасы боюнча суу-көмүр суспензияларын түзүү жана энергетикалык максатта пайдалануу боюнча иштер башталган.

1973-жылдагы АКШ, Кытай, Япония, Швеция ж.б. өлкөлөрдө мунай кризиси болгон учурда көмүр мунай продуктыларына альтернативдүү отун катары каралып, суу-көмүр же композициялык күйүүчү затын (ККЗ) иштеп чыгуу технологиясынын эң интенсивдүү өнүгүүсү ушул убакытка туура келген. Азыркы учурда ККЗ боюнча ийгиликтүү иштер Кытайда эң кеңири жайылган, ал мамлекеттик жана коммерциялык уюмдар тарабынан активдүү колдоого алынган, жана бул багытта бир нече мамлекеттик илимий борборлор иштеп жатат.

Бир катар мамлекеттерде ККЗ активдүү пайдаланып жатканына карабастан, айрым маселелер чечилбестен келүүдө. Ошондуктан, бул жааттагы изилдөөлөрдүн көбү ККЗнын тутануусун жана күйүү өзгөчөлүктөрүн изилдөөгө багытталган.

Изилдөөнүн максаты: композициялык суюк күйүүчү затынын эки фазалуу ламинардык агымына анын реологикалык касиеттеринин тийгизген таасирин изилдөө жана моделдештирүү.

Маселенин коюлушу. Көмүрдү колдонуунун экономикалык жана экологиялык жактан эң эффективдүү ыкмаларынын бири - аны “композициялык суюк күйүүчү зат” түрүндө күйгүзүү болуп саналат. ККЗ – бул майдаланган көмүрдүн, суунун жана пластификатордун майда дисперстүү аралашмасы.

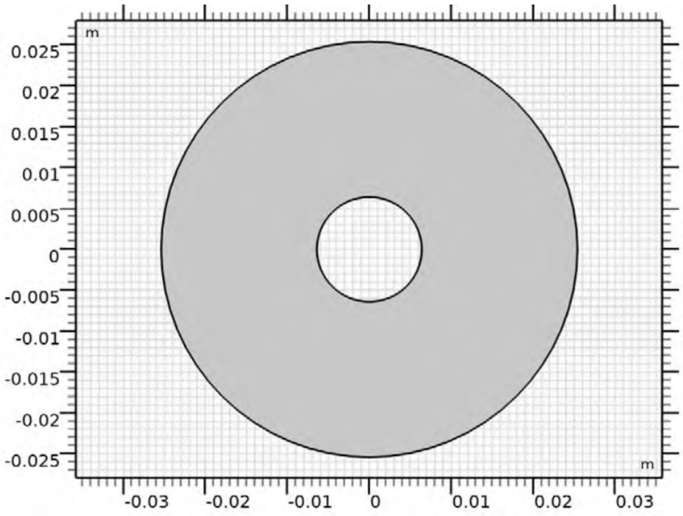
ККЗну жеткирүү жана аны күйгүзүү процесстеринин сапаты отундун реологикалык жана энергетикалык мүнөздөмөлөрүнөн белгилүү деңгээлде көз каранды [4]. Канчалык аралашманын илешимдүүлүгү жогору болсо, аны түтүктөр аркылуу жеткирүү жана күйүү камерасына чачыратуу ошончолук татаалдыкты жарататат. Отундун толук күйүүсү үчүн отун күйүү камерасына бир калыпта майда тамчылар сыяктуу бөлүштүрүлүшү зарыл, ал эми жогорку даражадагы илешимдүүлүгүнүн таасиринен ККЗнун тамчысынын диаметри чоңоюп, күйүүнүн эффективдүүлүгү төмөндөйт. Ошондой эле жогорку даражадагы илешимдүүлүк отундун талаптагыдай аралашуусуна тоскоол болуп, отун толук күйбөстөн, зыяндуу калдыктардын көбүрөөк бөлүнүп чыгуусу жаралат.

ККЗнун реологикалык мүнөздөмөлөрү көмүрдүн маркасынан, компоненттердин концентрациясынан, өлчөмүнө жараша тамчылардын бөлүштүрүлүшүнөн, пластификатордун түрүнөн көз каранды болору жүргүзүлгөн изилдөөлөрдөн белгилүү.

ККЗнун курамындагы көмүрдүн концентрациясын көтөрүү менен отундун күйүү жылуулугу, башкача айтканда калориялуулугу жогорулайт, бирок ошол эле учурда аралашманын илешимдүүлүгү да жогорулап аны чачуу процесси татаалдашат. Аралашманын илешимдүүлүгү температурадан көбүрөөк көз каранды, температуранын жогорулашы менен суюктуктун тамчысынын илешимдүүлүгү азаят [5]. Ошондуктан, аралашманын илешимдүүлүгүн төмөндөтүү жана стабилдүүлүгүн жогорулатуу үчүн пластификатор менен бирге отундун курамына азыраак өлчөмдө суюк компонентти (керосин, метанол, этанол ж.б.) да кошууга туура келет. Демек, сапаттуу ККЗну алуу үчүн анын курамындагы компоненттердин концентрациясы олуттуу ролду ойнойт, башкача айтканда ККЗнун курамындагы көмүрдүн жана суунун өлчөмү отундун илешимдүүлүгүнө, суюктук абалына, күйүү жылуулугуна, калдыксыз толук күйүшүнө чоң таасирин тийгизет.

Коюлган маселени чечүү максатында COMSOL Multiphysics программалык чөйрөсүндө ККЗнун эки фазалуу ламинардык агымынын макроскопикалык моделин түзүп, аралашманын стабилдүүлүгүнө жана илешимдүүлүгүнө анын курамындагы компоненттердин тийгизген таасирлери анализделет.

ККЗнун аралашмасы радиустары тиешелүү түрдө 0,64 см жана 2,54 см болгон эки цилиндрден куралган түзүлүшкө куюлат. Мында ички цилиндр 55 айл/мин туруктуу ылдамдыкта айланып, ал эми сырткы цилиндр кыймылсыз абалда болот. Түзүлүштүн эки ченемдүү модели 1-сүрөттө көрсөтүлгөн.



1-сүрөт. Түзүлүштүн геометриясы

Ички цилиндрдин айлануусу менен аралашманын бөлүкчөлөрүнүн миграциясы, агымынын өзгөрүүлөрү программанын жардамында көзөмөлдөнүп анализденет.

Изилдөө жана маселени чечүү. Көмүрдүн катуу майда бөлүкчөлөрүнүн суудагы абалын, кыймылын, суу менен болгон өз-ара аракеттенүүсүн, суудагы таралуусун математикалык жактан талкуулоо үчүн аралашманын импульсунун сакталуу законунун теңдемеси, үзгүлтүксүздүк теңдемеси, массанын сакталуу законунун теңдемеси колдонулат. Алардын жардамында тиешелүү түрдө сырткы күчтөрдүн таасиринде (гравитация, басым, фазалардын өз-ара аракеттенүүсү) аралашманын кыймылынын мүнөзү, убакыттын өтүшү менен аралашманын массасынын сакталышы, агымдагы көмүрдүн майда бөлүкчөлөрүнүн кыймылы жана таралуусу моделденет. Суу-көмүр отунунун эки фазалуу агымын мүнөздөө үчүн COMSOL Multiphysics программалык чөйрөсүндө Laminar Flow параметри аркылуу автоматтык түрдө төмөнкү теңдемелер колдонулат [6]:

$$\rho\frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u\cdot\nabla)u = $$
$$= -\nabla p - \nabla\cdot\mu[\nabla u + \nabla u^T] + \rho g - \nabla\cdot[\rho_s\phi_s(1-c_s)u_{slip}{u_{slip}}^T], \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho + \nabla\cdot(\rho u) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_s\phi_s) + \nabla\cdot(\rho_s\phi_s u_s) = 0. \quad (3)$$

Мында, (1) - аралашманын импульсунун сакталуу законунун теңдемеси, (2) - үзгүлтүксүздүк теңдемеси, (3) – массанын сакталуу законунун теңдемеси, u – аралашманын ылдамдыгы, p – басым, g – эркин түшүүнүн ылдамдануусу, u_{slip} – көмүрдүн бөлүкчөлөрү менен суунун ортосундагы салыштырмалуу ылдамдык, ρ – аралашманын тыгыздыгы, c_s – бөлүкчөнүн ченемсиз массалык үлүшү, μ – аралашманын илешимдүүлүгү.

Аралашманын тыгыздыгы жана илешимдүүлүгү төмөнкүчө аныкталат:

$$\rho = (1 - \phi_s)\rho_f + \phi_s\rho_s\,, \tag{4}$$

$$\mu = \mu_f\left(1 - \frac{\phi_s}{\phi_{max}}\right)^{-2.5\cdot\phi}, \tag{5}$$

$$c_s = \frac{\phi_s\rho_s}{\rho}\,. \tag{6}$$

Мында, ρ_f жана ρ_s – суунун жана көмүрдүн тыгыздыктары, ϕ_s – көмүрдүн аралашмадагы үлүшү.

Катуу жана суюк фазалардын физикалык касиеттери төмөнкү 1-таблицада чагылдырылды.

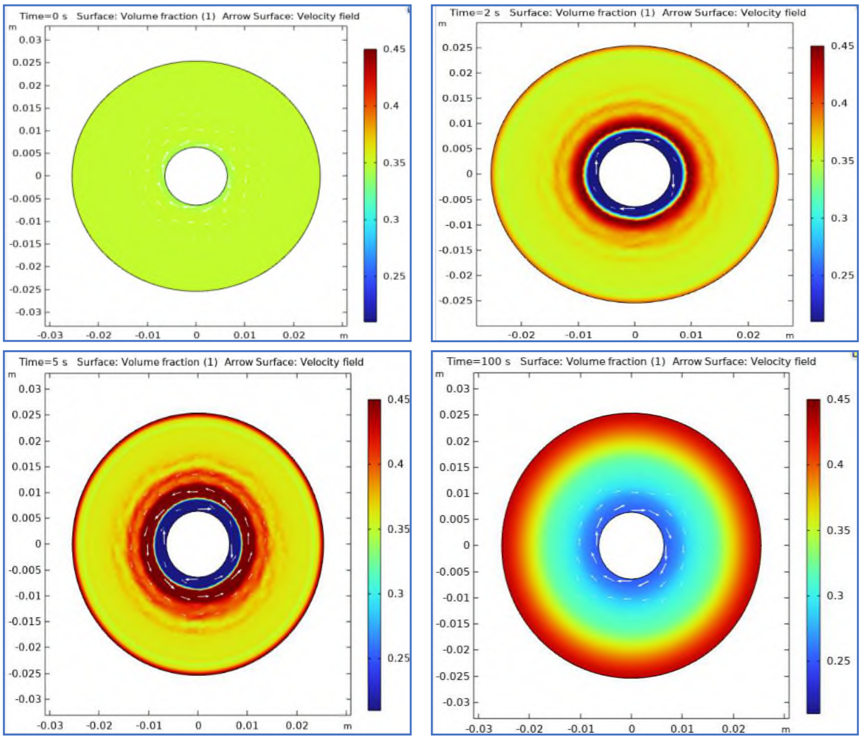
1-таблица. Моделденүүчү аралашманын физикалык касиеттери

Аталышы	**Мааниси**	**Баяндалышы**
ρ_s	1200[kg/m^3]	Күрөң көмүрдүн тыгыздыгы
ρ_f	997[kg/m^3]	Суунун тыгыздыгы
R	0.125[mm]	Көмүрдүн бөлүкчөсүнүн радиусу
μ_f	0.001[Pa*s]	Суунун илешимдүүлүгү
ϕ_s	0.55	Аралашмадагы көмүрдүн үлүшү
RPM	[55-200][1/min]	Ички цилиндрдин 1 минутадагы айлануусунун саны

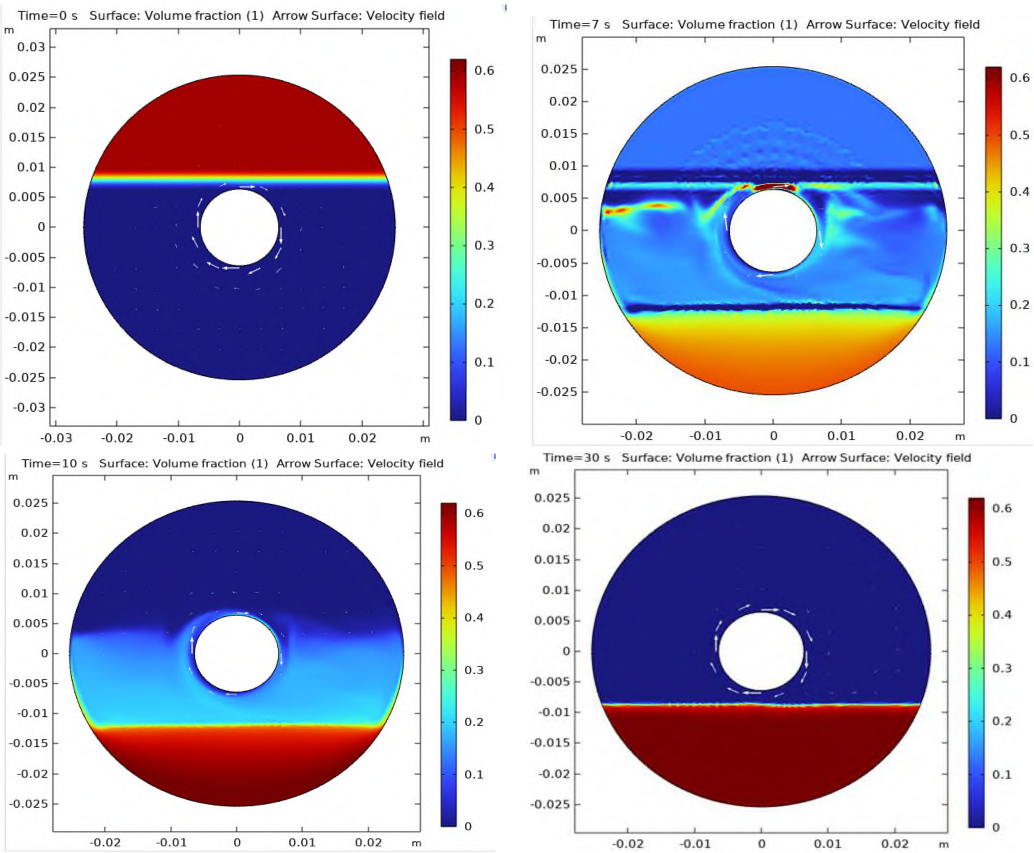
Бөлүкчөлөрдүн алгачкы бөлүштүрүлүшүн эки түрдүү учурда карайбыз:

1) бөлүкчөлөр түзүлүштүн ичинде бир калыпта бөлүштүрүлгөн;
2) бөлүкчөлөр түзүлүштүн жогорку бөлүгүнө топтоштурулган.

Бул эки учурда COMSOL Multiphysics программалык чөйрөсүндө кандай жыйынтыктар алынганын төмөнкү сүрөттөрдөн көрүүгө болот [7]:



2-сүрөт. Бөлүкчөлөр түзүлүштүн ичинде бир калыпта бөлүштүрүлгөн I учур



3-сүрөт. Бөлүкчөлөр түзүлүштүн жогорку бөлүгүнө топтоштурулган II учур

Анализдөө. Демек, 1-учурда ички цилиндрдин айлануусу башталганда программада көрсөтүлгөн “гравитациянын таасиринде ламинардык агым” шарты боюнча көмүрдүн бөлүкчөлөрү айлануунун ылдамдыгы төмөн болгон аймакка карап жыла башташат. Ички цилиндрдин бетине жакын аймакта ККЗнун илешимдүүлүгү жогору болгондуктан, ушул аймакта көмүрдүн бөлүкчөлөрү көбүрөөк топтолгон.

Ал эми 2-учурда алгач түзүлүштүн төмөн жагында көмүрдүн бөлүкчөлөрүнүн көлөмү нөлгө барабар болот. Изилдөөнүн башында бөлүкчөлөрдүн миграциясы байкала бербейт, убакыттын өтүшү менен бөлүкчөлөр цилиндрдин айлануу багыты боюнча жылышып отуруп, 30 секунддан кийин көмүрдүн бардык бөлүкчөлөрү түзүлүштүн түбүнө чөгүп калды. Мындай көрүнүштүн болушуна төмөнкү факторлор таасир этиши мүмкүн: айлануу ылдамдыгынын төмөндүгү, көмүрдүн бөлүкчөлөрүнүн өлчөмүнүн чоңдугу, суунун илешимдүүлүгүнүн төмөндүгү, суунун тыгыздыгына салыштырмалуу көмүрдүн тыгыздыгынын чоң болушу.

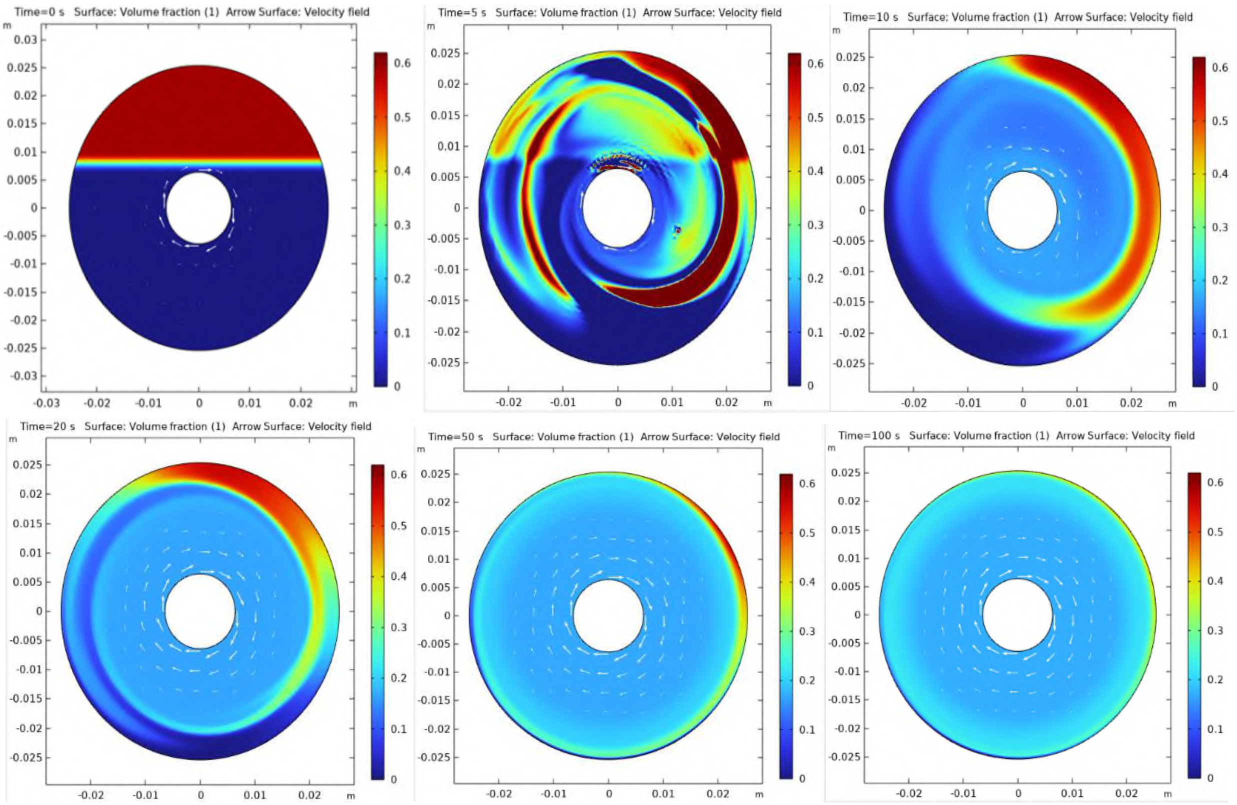
Ушул кырдаалдарды жоюу максатында айлануу ылдамдыгын [55-400], көмүрдүн бөлүкчөсүнүн радиусун [0,100-0,250] диапазондорунда карап, ал эми ККЗнун курамындагы көмүрдүн тыгыздыгын азайтып, суунун илешимдүүлүгүн жогорулатуучу кошумча компоненттерди кошуу зарылдыгы жаралды. Анткени, суу менен ага кошулган кошулманын тыгыздыктарынын ортосундагы айырма канчалык кичине болсо, ККЗнун стабилдүүлүгү ошончолук жогору болот [8].

Окумуштуулардын эксперименталдык изилдөөлөрүнө негиздеп ККЗнун курамына натрийдин лигносульфонатын (1% өлчөмүндө) пластификатор катары кошуп, моделди кайрадан текшерүүдө жогоруда алынган жыйынтык бир топ жакшырды, бирок убакыттын өтүшү менен аралашма кайра эле 3-сүрөттөгү абалга келип калды. Мындан катуу бөлүкчөлөрдүн суунун түбүнө чөгүшүнө жол бербей турган 4-компонентти аралашмага кошуу

зарыл болуп, стабилизатор катары перлит (12% өлчөмүндө) тандалып алынды [9]. Тиешелүү параметрлердин маанилери өзгөртүлүп (2-таблица), модель кайрадан текшерилди жана төмөнкү жыйынтык алынды.

2-таблица. Моделденүүчү аралашманын физикалык касиеттери

Аталышы	Мааниси	Баяндалышы
ρ_s	980[kg/m^3]	Күрөң көмүрдүн тыгыздыгы
ρ_f	997[kg/m^3]	Суунун тыгыздыгы
R	0,100[mm]	Көмүрдүн бөлүкчөсүнүн радиусу
μ_f	0,002[Pa*s]	Суунун илешимдүүлүгү
ϕ_s	0,50	Аралашмадагы көмүрдүн үлүшү
RPM	400[1/min]	Ички цилиндрдин 1 минутадагы айлануусунун саны



4-сүрөт. ККЗнун курамына натрийдин лигносульфонатын жана перлитти кошкон учурдагы жыйынтык

3-таблица. ККЗну мүнөздөөгө карата анализ

№	ККЗнун аталышы	Артыкчылыктары	Кемчилдиктери
1.	Көмүр	Жогорку калориялуу, башкача айтканда күйүү жылуулугу жогору	Күйүү процессинде чоң көлөмдөгү зыяндуу заттар бөлүнүп чыгат, олуттуу экологиялык проблемаларды жаратат

2.	Кошумча кошулмасы жок суу-көмүр отуну	Таза көмүргө салыштырмалуу отундун толук күйүүсүнөн улам зыяндуу заттар аз бөлүнүп чыгат, өндүрүүдө жана жеткирүүдө чыгым аз сарпталат жана коопсуз	Көмүрдү сууга аралаштыруу менен отундун ымдуулугу жогорулап, таза көмүргө салыштырмалуу күйүү жылуулугу төмөндөйт, стабилдүү эмес
3.	Пластификатор жана стабилизатор кошулган ККЗ отуну	Аралашма бир тектүү жана стабилдүү, зыяндуу заттардын аз бөлүнүп чыгуусу менен отун толук күйөт, реологикалык касиеттери талапка жооп берип, отунду жеткирүү, сактоо, күйгүзүү ыңгайлуу жана коопсуз	Таза көмүргө салыштырмалуу күйүү жылуулугу төмөн

4-сүрөттө көрүнүп тургандай, убакыттын өтүшү менен бөлүкчөлөр ички цилиндрдин айлануу багыты боюнча жылышып отуруп, суу менен көмүрдүн бөлүкчөлөрүнүн бир тектүү аралашуусун жаратты.

Жыйынтык

Сапаттуу композициялык суюк күйүүчү заттарды жаратууда экологиялык жактан таза, экономикалык жактан ыңгайлуу болгон аралашмага пластификатор (1%) жана стабилизаторду (12%) кошуу жакшы жыйынтык берээри аныкталды.

Колдонулган адабияттар тизмеси:

1. International Energy Agency. World Energy Outlook 2024. Paris: IEA, 2024. 219 p. https://www.iea.org/reports/coal-mid-year-update-july-2024/overview
2. UNFCC. Adoption of the Paris Agreement - Conference of the Parties COP 21.- Paris, 2015.- 32 p.
3. **Зайденварг, В.Е.** Производство и использование водоугольного топлива [Текст] / [В.Е. Зайденварг, К.Н. Трубецкой, В.И. Мурко, И.Х. Нехороший]. - Москва, 2001. - 163 с.
4. **Баранова, М.П.** Влияние пластифицирующих добавок на реологические характеристики водоугольных суспензий из углей разной степени метаморфизма [Текст] / М.П. Баранова // Труды КГТУ. – Бишкек, 2006. – Т.2, № 3. – С. 143–147.
5. **Андрижиевский, А.А.** Механика жидкости и газа [Текст]: учеб. пособ. / А.А. Андрижиевский.- Минск, 2014. - 206 с.
6. **Subia, S.R.** Modelling of Concentrated Suspensions Using a Continuum Constitutive Equation [Текст] / [S.R. Subia, M.S. Ingber, L.A. Mondy, S.A. Altobelli, A.L. Graham]. – 1998, vol. 373.- Pp. 193–219.
7. **Rao, R.** A Numerical and Experimental Study of Batch Sedimentation and Viscous Resuspension [Текст] / [R. Rao, L. Mondy, A. Sun, S. Altobelli] // Int. J. Num. Methods in Fluids,vol. 39.- 2002.- Pp. 465–483.
8. **Зенков, А.В.** Свойства водоугольных топлив с добавлением жидких горючих компонентов и характеристики их распыления для котлов промышленной теплоэнергетики [Текст]: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / А.В. Зенков. - Москва, 2021. - 22 с.
9. **Мингалеева, Г.Р.** Сравнительный анализ способов снижения вязкости водоугольных топлив [Текст] / Г.Р. Мингалеева // Проблемы энергетики. - 2015. - № 7-8. - С. 37- 46.

Поступила в редакцию: 18. 09. 2024 г.