

**Асқарова Ә.С., Бөлегенова С.А., Бөлегенова С.А.,
Максимов В.Ю., Оспанова Ш.С.* , Нұғыманова А.О.,
Утелов С.М.**

Әл-Фараби ат. Қазақ ұлттық университеті, ЭТФҒЗИ,

Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: shinar_ospanova87@mail.ru

КӨМІРСУТЕКТІ СҰЙЫҚ ОТЫНДАРДЫҢ ЖАНУ ПРОЦЕСІНЕ ТУРБУЛЕНТТІЛІКТІҢ ӘСЕРІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

Сұйық отындардың жануын сандық зерттеу күрделі өзара процестер мен құбылыстарды есепке алуды талап ететіндіктен, жылуфизикадағы маңызды мәселе болып табылады. Сондықтан есептеуіш эксперимент жану процестерін зерттеу мен жану процестерін қолданатын әртүрлі құрылғыларды жобалауда негізгі элемент болып табылады. Жұмыста жоғары турбуленттіліктегі сұйық отындардың жану процесін сипаттайтын математикалық модель мен негізгі теңдеулер берілген. Тетрадекан үшін жану камерасындағы турбуленттіліктің деңгейіне қатысты бүрку және дисперсия процестеріне зерттеу жүргізілді. Жүргізілген компьютерлік модельдеу нәтижелерінде максимал температураның қысымға тәуелділігі, көміртегі қос тотығының массаға қатысты таралуы, тамшылардың радиус бойынша таралуы және тиімді жану режиміндегі температура өрістері алынды

Түйін сөздер: сандық модельдеу, тетрадекан, жану камерасы, қысым, температура, масса, тиімді режим.

Askarova A., Bolegenova S., Bolegenova S., Maximov V.,
Ospanova Sh.*, Nugymanova A., Utelov S.

Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: shinar_ospanova87@mail.ru

Computer simulation of the influence of turbulence on the combustion process of liquid hydrocarbon fuels

Numerical research of burning of liquid fuels is a complex challenge of thermo physics as demands the accounting of a large number of the difficult interconnected processes and the phenomena. Therefore computing experiment becomes more and more important element of research of processes of burning and design of various devices using burning process. In work the mathematical model and the main equations describing process of burning of liquid fuels at high turbulence is stated. Research of processes of disintegration and dispersion depending on pressure and an initial lot of injection in the combustion chamber of liquid fuel is conducted: tetradecane. As a result of the made computer experiments dependences of the maximum temperature on pressure were received, distributions of carbon dioxide from a lot of injection, distribution of drops on radiuses and temperature fields at the optimum mode of burning.

Key words: numerical modeling, tetradecane, combustion chamber, pressure, temperature, weight, optimum mode.

Асқарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю.,
Оспанова Ш.С.*, Нугыманова А.О., Утелов С.М.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
*e-mail: shinar_ospanova87@mail.ru

Компьютерное моделирование влияния турбулентности на процесс горения жидких углеводородных топлив

Численное исследование горения жидких топлив является сложной задачей теплофизики, так как требует учета большого количества сложных взаимосвязанных процессов и явлений. Поэтому вычислительный эксперимент становится все более важным элементом исследования процессов горения и проектирования различных устройств, использующих процесс горения. В работе изложена математическая модель и основные уравнения, описывающие процесс горения жидких топлив при высокой турбулентности. Проведено исследование процессов распыла и дисперсии в зависимости степени турбулентности в камере сгорания для жидкого топлива: тетрадекана. В результате проведенных компьютерных экспериментов были получены зависимости максимальной температуры от давления, распределения двуокиси углерода от массы впрыска, распределения капель по радиусам и поля температуры при оптимальном режиме горения.

Ключевые слова: численное моделирование, тетрадекан, камера сгорания, давление, температура, масса, оптимальный режим.

Кіріспе

Заманауи іштен жану қозғалтқыштары мұнайдан алынатын сұйық отындарды қолдануға негізделген. Алайда, мұнайдың әлемдік қоры орасан зор емес және жер бетінің бірқатар аймақтарында біртекті таралмаған. Энергетикалық ресурстар бойынша 1979 жылы Монреальда (Канада) өткен Халықаралық конференцияда дәстүрлі энергетикалық ресурстарға жеңіл және орта мұнай фракциялары, табиғи газ бен газ конденсаттары, ал дәстүрлі еместеріне – ауыр мұнай мен қатты битумдар, сонымен қатар сұйық және газ тәрізді көмірсутектер жатқызылды. Дәстүрлі емес шикізат көздерінен алынатын сұйық және газ тәрізді отындар мобильді құрылғыларда қолданылады, әрі балама мотор отындары деп аталады. Мұндай құрылғыларға карбюратор және поршенді авиациялық қозғалтқыштар, автотракторлар, тепловоздар мен су көліктері, турбобілікті және турбореактивті авиациялық техника қозғалтқыштары, газтурбинылы су құрылғылары жатады [1].

Қазіргі кезде кең тараған іштен жану қозғалтқыштарына бензин және дизельдік қозғалтқыштар жатады. Іштен жану қозғалтқыштары ғылыми-техникалық прогрестің ажырамас бөлігіне айналды. Автокөлік тасымалы жолаушылар мен жүк тасу механизмінің тетігі болып отыр. Қазіргі уақытта АҚШ-тың өзінде 1000 адамға 800 автокөліктен келеді екен, ал 2020 жылға қарай біздің елімізде бұл көрсеткіш мың тұрғынға 350 машинадан болатын көрінеді. Жер бетіндегі автокөліктердің барлығы дерлік

қазіргі уақытта орта ғасырларда ойлап табылған іштен жану қозғалтқыштарын қолданады. Технологиялық ерекшеліктері мен ақылды электроникаға қарамастан заманауи бензиндік қозғалтқыштардың пайдалы әсер коэффициенті 30%-дан аса алмай келеді. Ең тиімді деген дизельдік іштен жану қозғалтқыштарының ПӘК-і 50%-ға жетеді, яғни олар отынның жартысын зиянды қалдық түрінде атмосфераға ығыстырып шығарады [2].

Сонымен қатар заманауи іштен жану қозғалтқыштарының тиімділігі туралы айтудың өзі қиын, себебі қазіргі күнделікте тұрмыста қолданылып жүрген автокөліктер 100 км жолға 10-20 литр жанармай жұмсайды. Әлемнің барлық ғалымдары қол жетімді электр және сутегімен жұмыс жасайтын автокөліктерді жасауға талпыныс жасап жатқаны анық. Алайда, іштен жану қозғалтқышын модернизациялау мәселесі өз өзектілігін жоя қойған жоқ.

Автокөлік құралдары – қуатты табиғат ластаушылардың бірі. Іштен жану қозғалтқыштары жұмыс жасағанда атмосфераға өңделген газдармен қоса 60 түрлі зат бөлінеді. Оның ішінде көміртегі тотығы, азот тотықтары, көмірсутектер және т.б. бар. Этиленденген бензиндерді қолданғанда қорғасын түзіледі. Атмосфераның ластануын азайту мақсатында ағымдағы іштен жану қозғалтқыштарының конструкциялары үнемі өзгертіліп отырады, жаңа түрлері жасалынады, іштен жану қозғалтқыштарын өзге энергетикалық құрылғылармен алмастыру көзделеді.

Экологиялық көзқарас тұрғысынан автокөліктер үшін ең тиімді отын бұл – сутегі, алайда,

сутегі өндірісі бензинді өндіруден 5 есе қымбат, әрі ол жарылысқа бейім, отынның көп көлемін қажет етеді және т.б. Электромобильдер көмірсутекті отындарды тұтынбайды, қоршаған ортаны ластамайды, шуылсыз, отқа төзімді. Бірақ, олардың да өз алдына кемшіліктері бар: мұндай автокөліктердің құны жоғары болады, инфрақұрылым тапшылығы байқалады және т.б. Сондықтан көмірсутегі құрамдас сұйық отындарды қолдану бүгінгі заманауи технологиялық үрдіс дәуірінде де өзекті болып қала бермек.

Жоғарыда айтылғанға сәйкес өндірісті жандандыру, құрылғылардың материалды талап ету мөлшерін азайту, отынды үнемдеп шығындау, қоршаған ортаны қорғау сияқты мәселелердің мәні артып, **өзекті** бастамалардың қатарынан көрініп отыр. Отын мен оның қалдықтарын кешенді тұтынуды, өндірістің биосфераға зиянды әсерін жоятын қарқынды технологиялық процестердің ғылыми іргетасын қалау мәселесіне ерекше көңіл бөлген жөн. Табиғатты қорғау мен энергия үнемдеудің жаңа стратегиясы ғылыми-техникалық ілгерілеудің аса тиімді жетістіктерін таңдап алуды талап етеді. Олардың ішінде шаралардың негізгі үш тобын іріктеп алуға болады: пайдаға асыру, энергетикалық жаңғырту, қарқынды энергия үнемдеу. Сондықтан іштен жану қозғалтқыштарынан бөлінетін зиянды зат өнімдерінің мөлшерін кеміту және техносфералық апаттың алдын алу шараларын іздестіруде аталған зерттеу жұмысының өзектілігі жоғары болады.

Мәселенің математикалық қойылымы

Көптеген ағыстар өз табиғатына сәйкес турбулентті сипатқа ие және ағынның қозғалысы барысындағы турбуленттілік күйі импульс, температура және қоспадағы заттардың концентрациясының тасымалы сияқты ағыстың параметрлеріне әсер етеді. Мақалада массаның (ρ), импульстің ($\rho\vec{u}$), энергия (E) мен концентрацияның (c) сақталу теңдеулері негізіндегі сұйық отындардың жануын сипаттайтын математикалық модель келтірілген [3-6].

Массаның сақталу теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{u}) = S_{mass}, \quad (1)$$

мұндағы u – сұйықтың жылдамдығы. Егер газ-сұйық қоспасы қарастырылатын болса, онда S_{mass} ағын көзі булану немесе конденсацияның есебінен газ тығыздығының жергілікті өзгерісін

білдіреді. Егер газдың бірфазалы ағысы қарастырылатын болса, онда аталған ағын көзі нөлге тең деп қабылданады.

Газ импульсінің сақталу теңдеуі мына түрде жазылады:

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho(\vec{u} \cdot \text{grad})\vec{u} = \text{div}\vec{\xi} + \rho\vec{g} + S_{mom},$$

$$\vec{\xi} = -P\vec{I} + \vec{\tau}. \quad (2)$$

(2) теңдеудің оң жағы қысым P градиенті, тұтқыр кернеу тензоры $\vec{\tau} = \lambda \text{div}\vec{u} + 2\mu\vec{D}$ және көлемдік ауырлық күшінің $\rho\vec{g}$ есебінен импульстің өзгерісінің қосатын үлесін білдіреді. Мұндағы $D_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ – деформация жылдамдығы тензоры, \vec{I} – бірлік матрица, μ және λ – сәйкесінше, динамикалық тұтқырлық коэффициенті мен екінші тұтқырлық коэффициенті. Егер газдың бірфазалы ағысы қарастырылатын болса, онда $S_{mom} = 0$; егер ағыс екіфазалы болса, онда S_{mom} тамшылардың қозғалысы нәтижесіндегі газ фазасындағы импульс өзгерісінің жергілікті жылдамдығы деп аталады.

Ішкі энергияның сақталу теңдеуі:

$$\rho \frac{\partial E}{\partial t} = \vec{\tau} : \vec{D} - \rho \text{div}\vec{u} - \text{div}\vec{q} + S_{energy}, \quad (3)$$

мұндағы q – жылу тасымалы туралы Фурье заңы негізіндегі меншікті жылу ағыны, $\vec{\tau} : \vec{D}$ өрнегі тұтқыр диссипация нәтижесіндегі ішкі энергия жылдамдығының өсімшесін білдіреді. S_{energy} ағын көзі бүркілген сұйық немесе қатты фазаның болуы есебінен ішкі энергияның өзгерісіне қосатын үлесін білдіреді (S_{mom} күш жұмысы).

Концентрацияның m компонентінің сақталу теңдеуі мынадай болады:

$$\frac{\partial(\rho c_m)}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho c_m u_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho \cdot D_{c_m} \cdot \frac{\partial c_m}{\partial x_i} \right) + S_{mass}, \quad (4)$$

мұндағы ρ_m – m компоненттің массалық тығыздығы, ρ – толық массалық тығыздық.

Турбулентті ағыстарды инженерлік есептеулердің анағұрлым универсал моделдері ретінде екі дифференциалдық теңдеуден тұратын модельдерді айтуға болады. Техникалық ағыстарда екі дифференциалдық теңдеуден тұратын модель жиі қолданылады. Бұл $k - \epsilon$ моделі деп аталады. Мұнда турбуленттіліктің кинетикалық энергиясы k мен оның диссипация жылдамдығы ϵ үшін екі теңдеу шешіледі [7-8]:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \frac{\partial \bar{u}_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + G - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon, \quad (5)$$

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \frac{\partial \bar{u}_j \varepsilon}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] = c_{\varepsilon_1} \frac{\varepsilon}{k} G - \left[\left(\frac{2}{3} c_{\varepsilon_2} - c_{\varepsilon_3} \right) \rho \varepsilon \delta_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] - c_{\varepsilon_2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}. \quad (6)$$

мұндағы $G = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}$.

Жоғарыда аталған теңдеулер стандартты $k - \varepsilon$ теңдеулері деп аталады. $c_{\varepsilon_1}, c_{\varepsilon_2}, c_{\varepsilon_3}, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ шамалары тәжірибеден анықталатын модельдік тұрақтылар деп аталады.

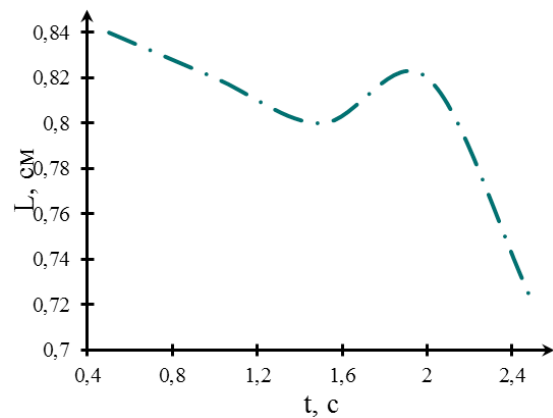
Мәселенің физикалық қойылымы

Зерттеу барысында тетрадекан отыны үшін бастапқы тиімді бүрку масса мен температура мәндері үшін Рейнольдс санының әр түрлі мәндеріндегі жану процестеріне сандық зерттеу жүргізілді. Зерттеу барысында тетрадекан үшін бастапқы тиімді масса мәні 6 мг тең деп таңдап алынды [9]. Сұйық отын бастапқы 300 К температурада цилиндр формалы камераға бүркіледі. Камера ішіндегі ауаның температурасы 900 К құрады.

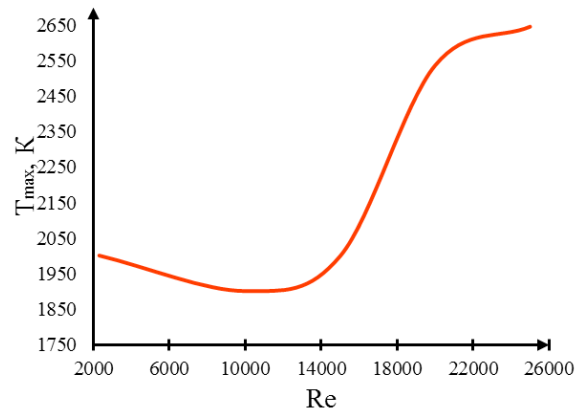
Бұл бөлімде алдымен тетрадекан отынын бүрку нәтижесіндегі камера ішіндегі газ ағысының Рейнольдс санының әр түрлі мәндеріндегі турбулентті әсерлесетін ағыстарды сипаттайтын екіөлшемді дифференциалдық теңдеулерді шешу негізінде статистикалық модельдеу бойынша тәжірибелер келтірілген. Бұл жұмыста тетрадекан сұйық отыны Рейнольдс санының бастапқы 2300, 10 000, 15 000, 20 000, 25 000 мәндеріндегі дамыған турбулентті ағысы зерттелінді. Осы Рейнольдс санының берілген мәндеріне сәйкес жану камерасындағы тетрадеканның тиімді жану параметрлері анықталды. Төменде Рейнольдс санының бастапқы мәндері үшін жану нәтижесіндегі ағысы сипаттайтын негізгі параметрлердің таралу заңдылықтары келтірілген.

1-суретте Рейнольдс санының әр түрлі мәндеріндегі тетрадекан тамшыларының камера биіктігі бойымен ену ұзындығы бейнеленген. Жану барысында тетрадекан тамшыларының әр түрлі уақыт мезетіндегі жану камерасы биіктігі бойымен таралуы қарастырылды. Суреттен көрініп тұрғанындай, бастапқы Рейнольдс санының 2300 және 10 000 тең мәндерінде тамшылар камера биіктігі бойымен жоғарылап, тұтану процесі жақсы жүреді. Алайда, Рейнольдс

санының жоғары мәндерінде ауыр бөлшектер камераның төменгі жағына шоғырланып, жеңіл бөлшектердің саны азая түседі. Мысалы, 20000 тең Рейнольдс саны мәнінде тетрадекан тамшылары камера биіктігі бойымен 0,82 см биіктікке көтеріледі (10 сурет).



1 сурет – Тетрадекан тамшыларының жану камерасы биіктігі бойымен уақыт бойынша таралуы

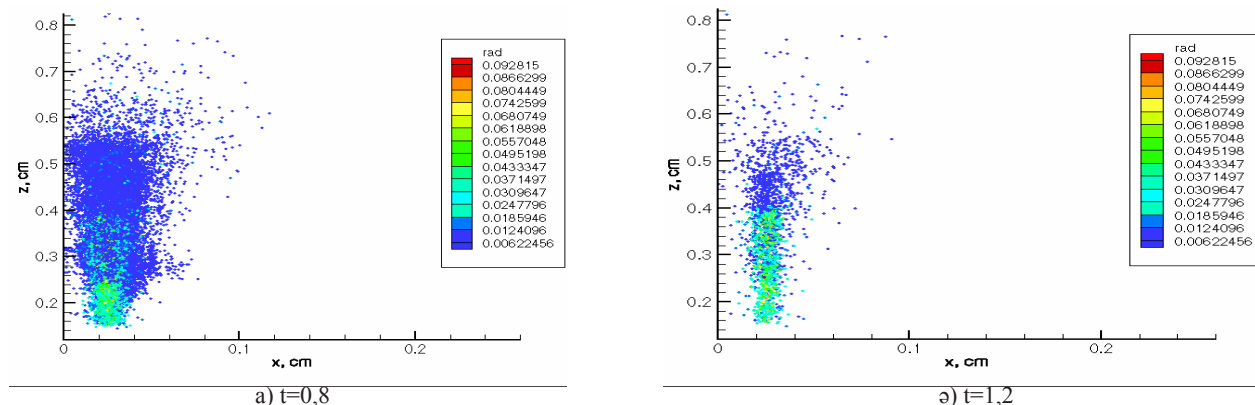


2 сурет – Рейнольдс санының әр түрлі мәндеріндегі жану камерасындағы максимал температураның таралуы

2-суретте Рейнольдс санының әр түрлі мәндеріндегі жану камерасындағы жанудың максимал температурасының таралу қисығы келтірілген. Турбулентті ағыстарға тән Рейнольдс саны

артқан сайын камера ішіндегі тетрадеканның жану температурасы да арта түседі. $Re=25000$ болғанда камера ішіндегі максимал температура 2645,2 К дейін жетеді. Бұл жағдай физикалық тұрғыдан былай түсіндіріледі: Рейнольдс саны артқан сайын камера ішіндегі бөлшектердің қозғалыс жылдамдығы да сәйкесінше артады. Осы себепті қоспа мен оттегі жақсы араласып, жану температурасы өзінің максимал мәніне жетеді. Ал температураның минимум мәні 1901,2 К Рейнольдс саны $Re=10000$ болғанда түзіледі [10-12].

Төменде тиімді жану режиміндегі тетрадеканның жануын сандық модельдеу нәтижелері келтірілген. Бастапқы шарттарға жүгіне отырып, тетрадекан тамшыларының камера биіктігі бойымен өлшемдері бойынша таралуы 3-суретте келтірілген. Бастапқы тұтану уақытында $t = 0,8$ мс кезінде жану камерасындағы бөлшектер буланып, камера биіктігі бойымен жоғары қарай көтеріледі. Ал кейінгі жану уақыттарында бөлшектердің дисперсиясы азайып, жану процесі көбінесе камераның төменгі бөлігінде өтеді.



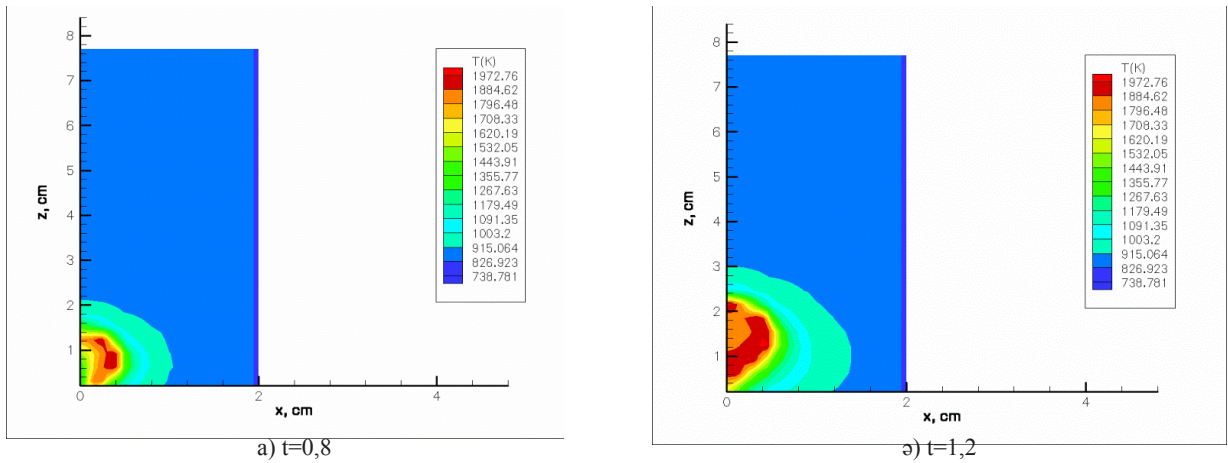
3-сурет – Тетрадекан тамшыларының радиус бойынша камера кеңістігіндегі дисперсиясы

Келесі 4-суретте жану камерасы биіктігі бойымен максимал температураның таралуы кескінделген. Суреттен көрініп тұрғанындай, жану камерасындағы максимал температура мәні $t = 0,8$ мс мәнінде 1972,76 К құраса, жалпы максимал температура 2645,2 К тең болды. Жану камерасындағы температуралық алау мәні камераның 2,3 см биіктігінде орнайды. Графиктерден камера ішіндегі температураның 2,5 мс ішіндегі өзгерісін көруге болады. Бастапқы уақыт мезетінде бүрку облысында жылудың сұйық тамшыларының булануына жұмсалуды есебінен температура аздап төмендейді. Басқа уақытта камера 915,064 К дейін қыздырылады. Отын буының қоспасы тотықтырғышпен араласып жанған кезде жылдам жанып, жану камерасының жарты облысын алау алып жатыр [13-14].

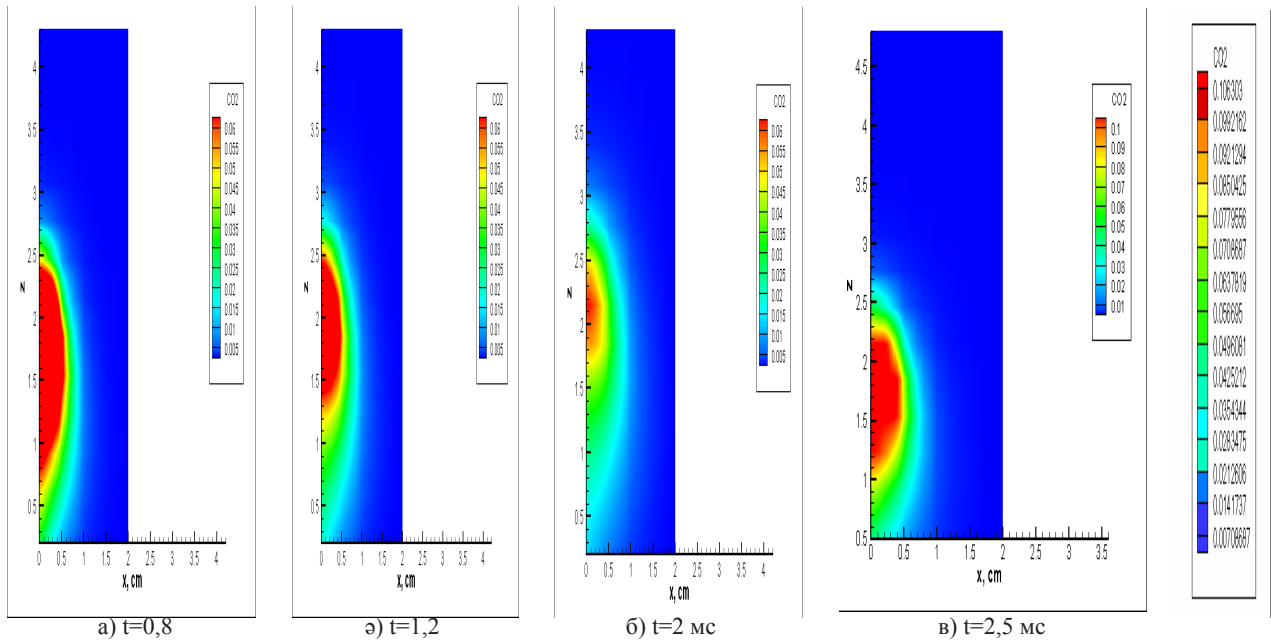
нуы мен жану процесіне компьютерлік тәжірибелер жүргізілді. Есептеу жұмыстарын жүргізу үшін іргелі физикалық сақталу заңдары мен заманауи сандық әдістер қолданылады. Олар өз кезегінде сұйық отынның жануының нақты процесін дұрыс, жеткілікті жоғары дәлдікпен бейнелей алады. Жұмыс барысында алынған нәтижелер өзге авторлардың есептік тәжірибелерінің нәтижелерімен жақсы сәйкес келеді [15-17].

Жұмыста жоғары турбулентті ағыстарды сипаттайтын екіөлшемді дербес туындылы дифференциалдық теңдеулерді шешу негізінде және статистикалық модельдеу әдістерін басшылыққа ала отырып, сұйық отынның тұта-

Сонымен қатар 5-суретте тиімді жану параметрлеріне сәйкес жану камерасындағы көмірқышқыл газының таралуы бейнеленген. Бастапқы жану кезеңінде көміртегінің қос тотығының концентрациясы камераның өсінде шоғырланады. Уақыт өткен сайын көмірқышқыл газының концентрациясы камера биіктігі бойымен жоғарылап, камераның шығысындағы максимал концентрациясы 0,106303 г/г мәніне жетеді. Соңғы жану мезеттерінде көмірқышқыл газының концентрациясы жанбай қалған заттардың есебінен жоғарылайды.



4-сурет – Жану камерасының биіктігі бойымен максимал температураның таралуы



5-сурет – Жану камерасы биіктігі бойымен көмірқышқыл газының CO₂ таралуы

6-суретте жану камерасындағы күйенің таралуы сипатталған. бастапқы уақыт мезетінде $t = 0,8$ мс күйенің концентрациясы 42,51 г/г, ал $t = 1,2$ мс мәнінде 85,01 г/г, ал $t = 2,5$ мс 93,51 г/г, соңғы 4 мс уақытта 127,52 г/г максимал мәніне жетеді. Жалпы сұйық көмірсутек тектес отындардың жануы барысында реакция нәтижесінде көмірқышқыл газы мен су бөлінеді. Алайда, кейде реакция барысында оттегінің мөлшері жеткіліксіз болса, нәтижесінде көмірқышқыл газы емес, көміртегі оксиді немесе улы газ CO түзілуі мүмкін. Соның салдарынан

камера ішіндегі күйенің де концентрациясы арта түседі.

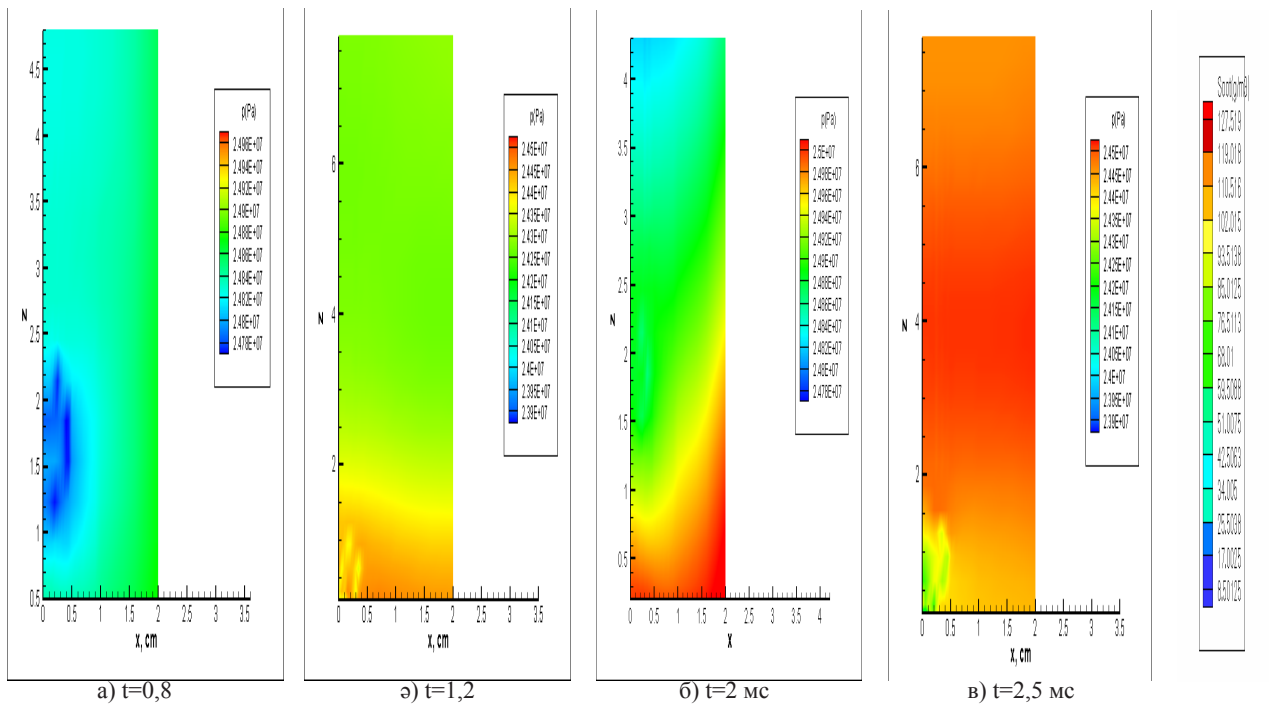
Турбулентті ағыстардағы конвективті жылу алмасу құбылыстары химиялық реакцияларды ескергенде кең тараған және табиғат құбылыстарында, сонымен қатар өнеркәсіптің алуан түрлі салаларында маңызды рөл атқарады. Осындай ағыстардың заңдылықтарын білу жану теориясының физикасын қалыптастыруда, жаңа физика-химиялық технологияларды жасап шығаруда, сонымен қатар жылуэнергетикасы мен экология мәселелерін шешуде маңызды.

Осы тұста зерттеу барысында жанудың күрделі процесін жану реакциясының көптеген физикалық және химиялық параметрлерінің әсеріне тәуелділігі тұрғысынан талдауға тура келеді.

Қорытынды

Көпфазалы жүйелердегі құбылыстарды зерттеуде жоғары турбуленттілік кезіндегі сұйық тамшыларының түзілу теориясын дамыту қы-

зығушылық тудырады. Бейтарап атмосфера ағыстарындағы дисперсия процесі соңғы он жыл ішінде сандық, зертханалық және табиғи зерттеулердің көмегімен жақсы түсіндірілді. Осы облыста жүргізілген зерттеулер экологиялық мәселелерге, оның ішінде зиянды улы металдардан, күкірт қышқылынан, азот қышқылы мен өзге зиянды заттардан тұратын атмосфералық ластану мәселелеріне негізделі жүргізіледі.



6-сурет – Камера биіктігі бойымен күйеңің таралуы

Әдебиеттер

- 1 Askarova A., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Ospanova Sh., Gabitova Z. Using 3D modeling technology for investigation of conventional combustion mode of BKZ-420-140-7C combustion chamber // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2014. – Vol.1, №9. – P. 24-28.
- 2 Askarova, A. S., Karpenko, E. I., Messerle, V. E., Ustimenko, A. B. Mathematical modelling of the processes of solid fuel ignition and combustion at combustors of the power boilers // 7th International Fall Seminar on Propellants, Explosives and Pyrotechnics. – Xian, 2007. – Vol. 7. – P. 672-683.
- 3 Askarova, A.S., Ustimenko, A. B., Bolegenova, S. A., Maksimov, V. Yu. Numerical simulation of the coal combustion process initiated by a plasma source // Thermophysics and aeromechanics. – 2014. – Vol 21, issue 6. – P. 747-754.
- 4 Bolegenova, S.A., Maximov, V.Y., Bekmukhamet, A., Beketayeva, M.T. Gabitova, ZK., et al. Computational method for investigation of solid fuel combustion in combustion chambers of a heat power plant // High temperature. – 2015. – Vol. 5, issue 5. – P. 751-757.
- 5 Askarova, A. S., Messerle, V. E., Bolegenova, S. A., Maximov, V. Yu. Gabitova, Z. Kh., et al. Numerical simulation of pulverized coal combustion in a power boiler furnace // High temperature. – 2015. – Vol. 53, issue 3. – P. 445-452.
- 6 Maximov, V., Bolegenova, S., Beketayeva, M., Safarik, P., et al. Numerical Modeling of Pulverized Coal Combustion at Thermal Power Plant Boilers // Journal of thermal science. – 2015. – Vol. 24, issue 3. – P. 275-282.
- 7 Karpenko E.I., Messerle V.E. et al. Plasma enhancement of combustion of solid fuels // Journal of High Energy Chemistry. – Vol. 40, Issue: 2, 2006. – P.111-118.

- 8 Richardson M., Danford A., Stewart P., Pulignano V. Employee participation and involvement: Experiences of aerospace and automobile workers in the UK and Italy // *European Journal of Industrial Relations*. – 2006. – Vol.16, №1. – P. 21-37.
- 9 Sako M. The nature and impact of employee «voice» in the European car components industry // *Human Resource Management Journal*. – 1998. – Vol. 8, №2. – P. 5-13.
- 10 Olivier J., Janssens-Maenhout G., Peters J. Trends in global CO2 emissions. – Netherlands: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2012. – 40 p.
- 11 Dadach Z.E. Cost Effective Strategies to Reduce CO2 Emissions in the UAE: A Literature Review // *Journal of Industrial Engineering and Management*. – 2013. – Vol. 2(4). – P. 1-9.
- 12 Amsden A.A., O'Rourke P.J., Butler, T.D. KIVA-II: A computer program for chemically reactive flows with sprays. – Los Alamos, 1989. – 160 c.
- 13 Amsden D.C., Amsden A.A., The KIVA Story: A Paradigm of Technology Transfer // *IEEE Transactions on Professional Communication Journal*. -1993. – Vol.36, №4. – P. 190-195.
- 14 155-158.
- 15 Askarova A., Bolegenova S., Berezovskaya I., Ospanova Sh., etc. Numerical study of initial temperature influence on the process of combustion of liquid fuel spray at high pressure // *Materials of the I International scientific conference «Global science and Innovation»*. – Chicago, USA, 2013. – P. 380-385.
- 16 Bolegenova S, Beketayeva M, Ospanova Sh, Maximov V, et al. 3-D Modeling of Heat and Mass Transfer during Combustion of Solid Fuel in Bkz-420-140-7C Combustion Chamber of Kazakhstan // *Journal of Applied Fluid Mechanics*. – 2016.- Vol.9, №2. – P.699-709.
- 17 Beketayeva M., Bolegenova S.A., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov V., et al. Numerical experimenting of combustion in the real boiler of CHP // *International Journal of Mechanics*. – ISSN: 1998-4448. – Issue 3. – Volume 7, 2013. – P. 343-352.
- 18 Ospanova Sh., Bolegenova S., Beketayeva M., Maximov V., et al. Numerical modeling of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ-420-140-7c combustion chamber // *International Journal of Mechanics*. – ISSN: 1998-4448. – Volume 8, 2014. – P. 112-122.

References

- 1 A. Askarova, S. Bolegenova, A. Bekmukhamet, Sh. Ospanova, Z. Gabitova, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(9), 24-28, (2014).
- 2 A.S. Askarova, E.I. Karpenko, V.E. Messerle, A.B. Ustimenko, 7th International Fall Seminar on Propellants, Explosives and Pyrotechnics. Xian, 2007, 7, 672-683, (2007).
- 3 A.S. Askarova, A.B. Ustimenko, S.A. Bolegenova, V.Yu. Maksimov, *Thermophysics and aeromechanics*, 21(6), 747-754, (2014).
- 4 S.A. Bolegenova, V.Y. Maximov, A. Bekmukhamet, M.T. Beketayeva, Z.K. Gabitova, et al., *High temperature*, 5(5), 751-757, (2015).
- 5 A.S. Askarova, V.E. Messerle, S.A. Bolegenova, V.Y. Maximov, Z.K. Gabitova, et al., *High temperature*, 53(3), 445-452, (2015).
- 6 V.Y. Maximov, S.A. Bolegenova, M.T. Beketayeva, P. Safarik, et al., *Journal of thermal science*. 24(3), 275-282, (2015).
- 7 E.I. Karpenko, V.E. Messerle, et al., *Journal of High Energy Chemistry*, 40(2), 111-118, (2006).
- 8 M. Richardson, A. Danford, P. Stewart, V. Pulignano, *European Journal of Industrial Relations*, 16(1), 21-37, (2006).
- 9 M. Sako, *Human Resource Management Journal*, 8(2), 5-13, (1998).
- 10 J. Olivier, G. Janssens-Maenhout, J. Peters, Trends in global CO2 emissions, (Netherlands: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2012, 40 p.)
- 11 Z.E. Dadach, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2(4), 1-9, (2013).
- 12 A.A. Amsden, P.J. O'Rourke, T.D. Butler, KIVA-II: A computer program for chemically reactive flows with sprays, (Los Alamos, 1989, 160 p.)
- 13 D.C. Amsden, A.A. Amsden, *IEEE Transactions on Professional Communication Journal*, 36(4), 190-195, (1993).
- 14 A. Askarova, S. Bolegenova, I. Berezovskaya, Sh. Ospanova, etc., *Materials of the I International scientific conference «Global science and Innovation*, Chicago, USA, 2013, 380-385.
- 15 S.Bolegenova, M. Beketayeva, Sh. Ospanova, V. Maximov, et al., *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 9(2), 699-709, (2016).
- 16 M. Beketayeva, S.A. Bolegenova, S. Bolegenova, A. Bekmukhamet, V. Maximov, et al., *International Journal of Mechanics*, 3(7), 343-352, (2013).
- 17 Sh. Ospanova, S. Bolegenova, M. Beketayeva, V. Maximov, et al., *International Journal of Mechanics*, 8, 112-122, (2014).