

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛМ ЖӘНЕ ФЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК КАЗНИТУ

VESTNIK KazNRTU

№6 (124)

АЛМАТЫ

2017

НОЯБРЬ

<i>Абейстанова А.Н.</i> АҒЫЛШЫН ТІЛІНЕН ҚАЗАҚ ТІЛІНЕ АУДАРЫЛҒАН ҚАЗАҚША ҚАТЕ СӨЗДЕРДІ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ БАЛАМАЛАР КАТАЛОГЫН ҚҰРУ	313
<i>Мұрадов А.Д., Естанова Ш.Е., Камалова Ф.П., Сарсенбаев А.Б.</i> «ПОЛИМИД-УВа ₂ Cu ₃ O _{6+κ} » ЖҮЙЕСІНІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІН ТОЛТЫРҒЫШТЫҢ КОНЦЕНТРАЦИЯСЫ МЕН ГАММА СӨУЛЕЛЕНДІРУТЕ ТӨУЕЛДІЛІГІ	317
<i>Шарипов К.О., Бұлғасин К.А., Батырбаева А.А., Мекесова П.А.</i> ШАШТАҢЫҢ ЭЛЕМЕНТТИК ҚҰРАМЫ НЕГІЗІНДЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОЗДАРДЫ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУПСІЗДІГІН БАҒАЛАУ	322
<i>Шарипов К.О., Батырбаева А.А., Нармаганбетова Д.Е.</i> МУЛЬТИОМДЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ АУРУДЫ ДИАГНОСТИКАЛАУ МЕН МОНИТОРИНГТЕДЕ ҚОЛДАНЫЛУЫ	326
<i>Толеубекова Л.А.</i> ЭКСКАВАТОРДЫҢ ШЕЛЕКТЕГІ ТІСТІН ТАҒАНДАРЫНА ҚОРЫТПАНЫҢ ТОЗУФА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ	331
<i>Жұмагалиев Е.Е</i> ТАСЫМАЛДАУҒА АРНАЛҒАН ТЕМІР ШОЙЫН ШАРЛАРЫ	334
<i>Каримова А. М., Аманжолов Е. Т.</i> «САРЫАДЫР» КЕН ОРЫНЫ КӨМІРІН ҚЫЗДЫРУ КЕЗІНДЕГІ ТЕРМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ	337

Физика-математикағы ғылымдары

<i>Калыкова Г.М., Светлакова К.Р., Белев Е.К.</i> КАРТАГА ТҮСІРУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ УРАН КЕН ОРНЫ БЛОКТАРЫН ӨНДІРУДІ АРТТАРЫ	340
<i>Башеева А.О.</i> НУКТЕЛІ АБЕЛЬДІК ГРУППАЛАРДЫҢ ТӨУЕЛСІЗ БАЗИСТЕРІ ТУРАЛЫ	346
<i>Немқаева Р.Р., Гусейнов Н.Р., Мырзабекова М.М., Габдуллин М.Т.</i> УЛЬТРАКУЛГІН ЖӘНЕ СӨУЛЕЛЕНУ ӘСЕРІНЕН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРІЛГЕН ГРАФЕН ОКСИДІНІҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ	351
<i>Салаевтөев Т.І., Пөзжәаев И.П., Алибаева К.А.</i> ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ҚӨМЕГІМЕН УРАНДЫ ӨНДІРУ КЕЗІНДЕ ШАЙМАЛАУШЫ ЕРІТІНДІЛЕРДІҢ КОНТУР СЫРТЫНА ЖАЙЫЛЫГЫН ЗЕРТТЕУ	357
<i>Исахов А.А., Байтуреева А.Р.</i> АУАДАҒЫ ПАССИВТІ СКАЛЯР ҚОСПАСЫН ТАРАТЫЛУЫН САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ	362
<i>Асқарова Э.С., Бөлекенова С.Ә., Оспанова Ш.С., Нұрмұханова А.З., Нұсінжан А.</i> ЖОГАРЫ ТУРБУЛЕНТТІЛІКТЕГІ СҮЙЫҚ ОТЫН ТАМШЫЛАРЫНЫҢ БҮРКУ, ДИСПЕРСИЯ ЖӘНЕ ЖАНУ ПРОЦЕСТЕРІН МОДЕЛЬДЕУ	370
<i>Асқарова Э.С., Бөлекенова С.Ә., Бөлекенова С.Ә., Шортанбаева Ж.К., Максимов В.Ю., Оспанова Ш.С., Нұрмұханова А.З.</i> СҮЙЫҚ ОТЫН ТАМШЫЛАРЫНЫҢ ЖАНУ ДИНАМИКАСЫ МЕН ДИСПЕРСИЯСЫН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ	374
<i>Асқарова Э.С., Бөлекенова С.Ә., Бөлекенова С.Ә., Шортанбаева Ж.К., Максимов В.Ю., Оспанова Ш.С., Нұрмұханова А.З.</i> LES ТУРБУЛЕНТТІЛІКТІ МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСІМЕН МЕТАН ГАЗЫНЫң ЖАНУЫН САНДЫҚ ЗЕРТТЕУ	380
<i>Қашаганова Г.Б., Калижанова А.У.</i> MATLAB ЖҮЙЕСІНДЕ ТАЛШЫҚТЫ БРӘГТ ТОРЛАРЫНЫң МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ЖУЗЕГЕ АСЫРУ	384
<i>Есалина А.М., Сүгендібек С.Б., Мұрадов А.Д.</i> НАНОДИСПЕРСТІ ШУНГІТ ТОЛТЫРҒЫШЫНЫң ПОЛИМЕРЛІ КОМПОЗИТТИК МАТЕРИАЛДЫҢ ЭЛЕКТРЛІК ЖӘНЕ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ	391
<i>Коданова С.К., Исанова М.К., Слямова Э.С.</i> ТЫҒЫЗ ПЛАЗМАДАҒЫ ИОНДАРДЫҢ ТЕЖЕЛУІН 2D ЖӘНЕ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ БОЙЫНША ҚҰРАЛ ОРТАСЫН ӘЗІРЛЕУ	396
<i>Коданова С.К., Исанова М.К., Слямова Э.С.</i> ТЫҒЫЗ ПЛАЗМАДАҒЫ ИОНДАРДЫҢ ТЕЖЕЛУІН ЕСЕПТЕУ ҮШІН БАГДАРЛАМАЛЫҚ МОДУЛЬ ҚҰРУ	402

• Физико-математические науки

Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Шортанбаева Ж.К., Максимов В.Ю.
Оспанова Ш.С., Нурмуханова А.З.

Компьютерное моделирование динамики горения и дисперсию капель жидкого топлива

Резюме: Данная работа посвящена компьютерному моделированию воспламенения и процессов горения жидкого топлива в камере сгорания. В работе исследованы основные свойства горения жидких топлив, распределения капель по высоте камеры сгорания.

Ключевые слова: горение, моделирование, жидкое топливо, численное моделирование.

Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Shortanbayeva Zh.K.
Maximov V.Yu., Ospanova Sh.S., Nurmuhanova A.Z.

Computer modeling of combustion dynamics and dispersion of liquid fuel droplets

Summary: This paper is devoted to computer simulation of ignition and combustion processes of liquid fuel in the combustion chamber. The main properties of the combustion of liquid fuels, the distribution of droplets along the height of the combustion chamber are investigated.

Key words: combustion, modeling, liquid fuel, numerical simulation.

УДК: 532.517.4

Ә.С. Аскарова, С.Ә. Болегенова, С.Ә. Болегенова, Ж.Қ. Шортанбаева
В.Ю. Максимов, Ш.С. Оспанова, А.З. Нурмуханова
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби
Алматы, Республика Казахстан)

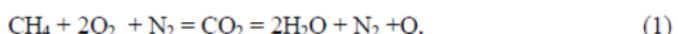
LES ТУРБУЛЕНТТІЛІКТІ МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСІМЕН МЕТАН ГАЗЫНЫҢ ЖАНУЫН САНДЫҚ ЗЕРТТЕУ

Аннотация: Берілген жұмыста жану камерасындағы метан газының турбулентті жану процесі LES әдісімен зерттелінді. Жану нәтижесінде метан бөлшектерінің аэродинамикасы мен жылдамдықтың профильдеріне кол жеткізілді.

Түйін сөздер: метан, жану, аэродинамика, модельдеу, турбуленттілік.

Метан – табиғи газдың негізгі құраушысы. Оны моторлы отын ретінде сығылған күйде жиі колданады. Метанды дәстүрлі мұнай өнімдері, бензин мен дизель отынына қарағандағы колданудың басты артықшылығы – оның тиімді бағасы. Мысалы, Ресей табиғи газ коры бойынша әлемде көшбасшы болып саналады. Метанды өндсө үшін зауыттар мен құны қымбат құрылғылардың қажеті жок. Өндірілген газды компроессорда сыйып, құрылғыға енгізу қажет. Метанның құны сонымен катар зан тұрғысынан қадағаланып, А-80 бензинін 50%-нан аспауы тиіс. Дәстүрлі отын түрлері табиғи газдан 2-3 есе қымбат тұрады және құны ұдайы өсуде.

Метан газының жануының жалпыланған реакциясын келесі түрде жазуға болады:



мұндағы метан (CH_4) – отын, оттегі (O_2) – тотықтырғыш, көміркышыл газы (CO_2) және су (H_2O) – реакция өнімдері, азот (N_2) – инертті арапастырғыш. Әзгермелі қоспадағы инертті арапастырғыштың барын ескеру қажет. Сонда метан газының жануы кезінде әзгермелі қоспа бескомпонентті болады деп болжанады.

Алғынған жорамал мен болжамдарды ескерсе отырып, берілген есеп математикалық түрде мына тендеулер бойынша сипатталады. Берілген жұмыста турбулентті метан ағыншаларының диффузиялы жануы туралы мәселе карастырылып отыр. Білктігі h теріс тесіктен бастапқы жылдамдығы u_{01} , бастапқы температурасы T_{01} және отынның бастапқы концентрациясы c_{01} болатын метанның турбуленттік ағыншасы ағып жатыр. Тотықтырғыштың серіктік ағыны мынандай бастапқы параметрлерге ие: u_{02} , T_{02} , c_{02} . Метан ағыншалары және тотықтырғыш ағыны арапасатын аймакта диффузиялық алау тудыра отырып жалын фронты пайда болады.

Сонымен катар келесі жуықтаулар мен болжаулар колданылады.

1. Есеп екі өлшемді стационарлық шекаралық қабат жуықтауында карастырылады.

2. Қоспаның барлық компоненттерінің меншікті жылусыйымдылықтары тен және температураға байланысты емес.

3. Шағылуға аз әсер ететін жылу шығынын елемеу. Ағыс турбуленттік болғандықтан, өрлеуші күш әсері, сондай-ақ Сорэ және Дюфор эффектілері өте аз болып табылады.

4. Барлық компоненттердің диффузия коэффициенттері өзара тен және температура өткізгіштік коэффициенті тен $Le=1$.

Үзіліссіздік тендеуі:

$$\frac{\partial(r\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(r\rho v)}{\partial r} = 0. \quad (5)$$

Козғалыс тендеуі:

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial r} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + (\rho - \rho^*) g_x. \quad (6)$$

Энергия тендеуі:

$$\rho u c_p \frac{\partial T}{\partial x} + \rho v c_p \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_{eff} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q w_1. \quad (7)$$

Коспа компоненттері концентрациясын орын аудыстыру тендеуі:

$$\rho u \frac{\partial c_i}{\partial x} + \rho v \frac{\partial c_i}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r D_{eff} \frac{\partial c_i}{\partial r} \right) \pm w_i, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (8)$$

Мұндағы Q – отынның бірлік массасына анықталған, реакцияның жылудық эффективтікі; i – коспа компонентінің номері, w_i – химиялық реакцияның жылдамдығы, μ_{eff} , λ_{eff} , D_{eff} – сәйкесінше тұтқырлықтың жылу өткізгіштікін және диффузияның эффективтік коэффициенттері.

Ірі құйындарды модельдеу әдісінде кенистік бойынша фильтрленген Навье-Стокс тендеулері мен тек ірі құйындардың қозғалысы ғана шешіледі [1-3]. Бұл әдіс екі тұжырымға негізделген. Біріншісі – жылдамдық өрісін ірі және ұсақ құйындардың қозғалысына жіктеуге болады, сонымен қатар ірі құйындардың қозғалысын жеке өз алдына есептеу мүмкіндігі бар, бұл ұсақ масштабты турбулентті қозғалыстың изотроптылығына және универсалдылығына байланысты. Екінші тұжырым – ірі және ұсақ құйындардың арасындағы бейсізық өзара әсерлесуді ұсақ торлы масштабта аппроксимациялау мүмкіндігі қарастырылған.

Ірі масштабты құйындарды ұсақтарынан ажырату үшін фильтрлеу операциясы қолданылады:

$$\bar{f}(\vec{x}) = \int f(\vec{\xi}) G(\vec{x}, \vec{\xi}, \Delta) d\xi d\eta d\zeta, \quad (19)$$

Мұндағы G – фильтрлеу функциясы, Δ – турбуленттіліктің ен ұсақ масштабын анықтайтын фильтрдің ені. Сығылмайтын сұйық ағысы үшін фильтрленген Навье-Стокс тендеулері мынадай болады:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_i}{\partial x_i} &= 0, \\ \frac{\partial v_i}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{v}_i v_j)}{\partial x_j} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}^*}{\partial x_j} + v \frac{\partial^2 \bar{v}_i}{\partial x_j^2}. \end{aligned} \quad (20)$$

Мұндағы ұсақ масштабты құрылымдардың сұйықтың қозғалысына әсері тұтқыр кернеу тензорымен сипатталады:

$$\tau_{ij}^* = \overline{v_i v_j} - \overline{v_i} \overline{v_j}. \quad (21)$$

Берілген тұтқыр кернеу тензорын үшке жіктеп қарастыруға болады.

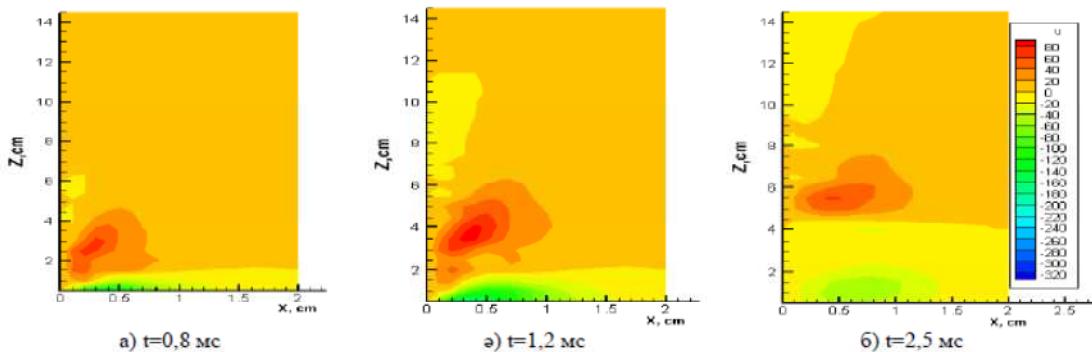
$$\tau_{ij} = L_{ij} + C_{ij} + R_{ij}, \quad (22)$$

мұндағы $L_{ij} = \overline{\overline{u_i u_j}} - \overline{u_i} \overline{u_j}$ - Леонард кернеулері (ірі құйындардың өзара әсерлесуі), $C_{ij} = \overline{\overline{u_i' u_j'}} + \overline{\overline{u_i' u_j}}$ - аралас кернеулер (ұсак және ірі құйындардың әсерлесуі), $R = \overline{\overline{u_i' u_j'}}$ - Рейнольдс кернеулері (ұсак құйындар арасындағы өзара әсерлесуі).

Атапған әдіс Рейнольдс санының жоғары мәндеріндегі күрделі турбулентті ағыстарды есептеу үшін кеңінен колданылады. Өйткені, DNS әдісімен салыстырылғанда есептеу шығынын аз талап етеді.

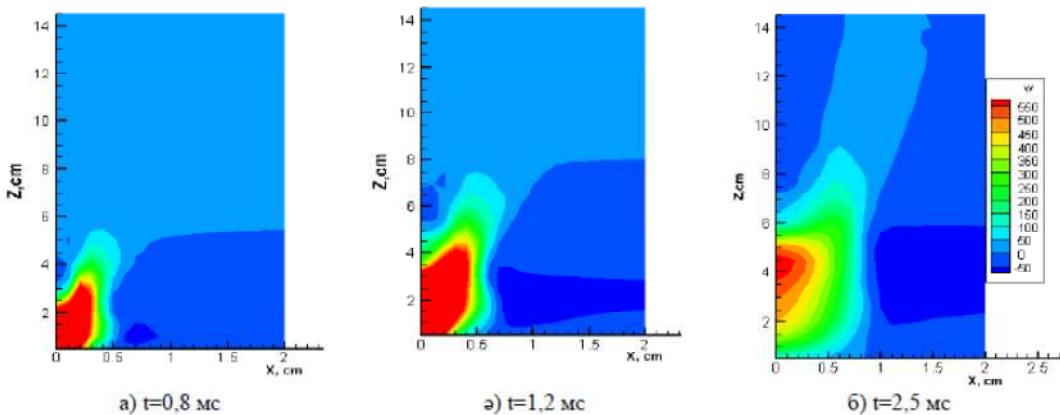
Жұмыста метан газының жану тиімді режиміндегі процестерінің компьютерлік тәжірибелері келтірілген. Төменде 125 микрон Саутерлік орташа радиус мәніндегі метанның физика-химиялық қасиеттерін сипаттайтын графикир кескінделген.

1 суретте әр түрлі уақыт мезеттеріндегі жану камерасындағы жылдамдықтың көлденен құраушысының таралуы үшін көп бөлігіндегі метанның жану жылдамдығы 20 м/с құраса, камераның өсінде $t=2.5$ мс оның мәні 80 м/с максимум мәніне жетеді [4-6].



1 сурет. Әр түрлі уақыт мезеттеріндегі 125 микрон мәніндегі жылдамдықтың көлденен құраушысының таралуы

Келесі 2 суретте жану камерасының ішіндегі жылдамдықтың бойлық құраушысының таралуы бейнеленген. Камераның өсінде жылдамдық өзінің максимум 550 м/с мәніне жетеді. Ал калған уақытта камераның басқа аймағында жылдамдықтың мәні 50 м/с тен болды.

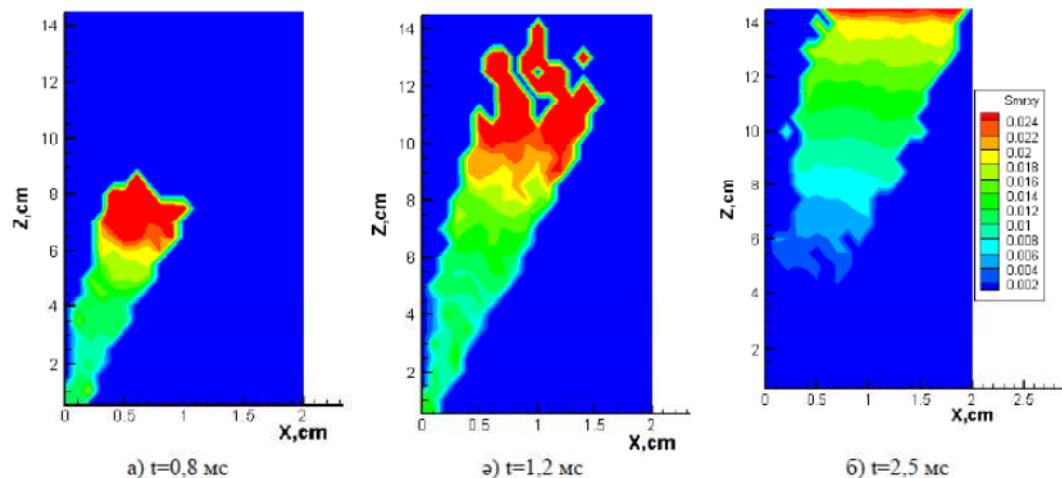


2 сурет. Әр түрлі уақыт мезеттеріндегі 125 микрон мәніндегі жылдамдықтың бойлық құраушысының таралуы

3 суретте жану камерасындағы метан бөлшектерінің камера биіктігі бойымен таралуы бейнеленген. Суреттен көрініп тұрғанындағы бараптакы уақытта өлшемдері максимал метан бөлшектері камераның тәменгі бөлігінде шоғырланса, уақыт өткен сайын олар камераның биіктігі бойымен жоғары қарай көтеріледі.

Гомогенді алауда реагенттердің ығысу процесі алаудың көлемінен тыс іске асырылады, ендеше жану зонасына алдын-ала дайындалған коспа түседі. Ығысу процесі ереже бойынша, диффузиялық карағанда өте қыска және басымырақ болыш табылады. Жану ол жерде практика жүзінде ағыстың бараптакы аумак шегінде, яғни алғашкы үш-бес колибр аралығында толығымен аяқталады. Арадаспаған газдардың жануы кезінде ығысу процесстері және компоненттердің жануы бір мезгілде тікелей реакция зонасында ағып өтеді. Бұл жағдайда алауда асабойлаған болады. Онын ұзындығы ондаған және тіпті жүздеген калибрді құрайды.

Ағысты қозғалыстың типі бойынша газдық жалындар үлкен екі топка бөлініп мүмкін. Алғашкысына шектелмеген ортада таралатын еркін алаулар, скіншісіне – шектелген кеңістіктік дамитын және катты беттермен өзара әрекеттесетін алаулар жатады. Арадағы орынды ағыспайда болған катты кабырғаны жағалай қозғалатын жартылай шектелген алауда алыш түрады. Ол жерде жартылай шектелген ағыстағы сияқты екі шекаралық қабат – еркін және кабыргалық сәйкес келеді.



3 сурет. Әр түрлі уақыт мезеттеріндегі 125 микрон мәніндегі метан бөлшектерінің таралуы

Әр түрлі Саутерлік радиус мәндеріндегі жану камерасындағы метанның жануы нәтижесіндегі көлденен жылдамдық құраушысының таралуы бейнеленді. Бараптакы 25 микрон мәнінде жылдамдық максимал мәнге не болады, 200 м/с. Бөлшектердің радиусы арткан сайын жылдамдық камера биіктігі бойымен кемі түсті. Соңғы 100 және 125 микрон мәндерінде жылдамдық минимумға ұмтылды, 80 м/с.

Әр түрлі уақыт мезеттеріндегі жану камерасындағы жылдамдықтың көлденен құраушысының таралуы бейнеленді. Бараптакы 0,8 мс уақыт мезетінде жану камерасының көп бөлігіндегі метанның жану жылдамдығы 20 м/с құраса, камераның өсінде $t=2,5$ мс оның мәні 80 м/с максимум мәніне жетті. Жану камерасының ішіндегі жылдамдықтың бойлық құраушысының таралуы бейнеленді. Камераның өсінде жылдамдық өзінін максимум 550 м/с мәніне жетеді. Ал қалған уақытта камераның басқа аймағында жылдамдықтың мәні 50 м/с тен болды.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Goldfeld M.A., Starov A.V., Vinogradov V.A. Experimental Study of Scramjet Module // J. Propulsion and Power. - 2001. - Vol.5. - P.100-110.
- [2] Goldfeld M.A., Nestoulia R.V., Starov A.V., et al. Investigation of Base Pressure behind the Injector Section in a Supersonic Combustion Chamber // XV International Symposium on Air Breathing Engines. - Bangalore. - 2001. - P.21-24.

• Физико-математические науки

[3] Mishunin A.A., Nestoulia R.V., Starov A.V. Fuel Supply Systems for Investigation of Combustion Process in Hot-Shot Wind Tunnels // International Conference on the Methods of Aerophysical Research. - Novosibirsk. - 2000. - Vol.2. - P.144-148.

[4] Аскарова А.С., Болегенова С.А., Бекмұхамет А., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т., Оспанова Ш.С. Численное исследование процесса горения для различных концентраций топлива // 18-ая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых. – Красноярск, 2012. – С.709-710.

[5] Askarova A., Bolegenova S., Maximov V., Bekmuhamed A., Ospanova Sh., Beketaeva M. Investigation of formation of burning harmful emissions at methane // Proceedings of the 3rd International conference on Mathematical models for engineering science. – Paris, 2012. – P. 276-279.

[6] Аскарова А.С., Болегенова С.А., Бекмұхамет А., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т., Оспанова Ш.С. Численное исследование процесса горения турбулентной струи для различных концентраций топлива // 18-ая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых. – Красноярск, 2012. – С.710-711.

Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Шортанбайева Ж.К.
Максимов В.Ю., Оспанова Ш.С., Нурмұханова А.З.

Численное исследование горения метана методом les моделирования турбулентности

Резюме: В данной работе методом LES был исследован процесс турбулентного горения метана. Были получены аэродинамика и профили скорости частиц метана.

Ключевые слова: метан, горение, аэродинамика, моделирование, турбулентность.

Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Shortanbayeva Zh.K.
Maximov V.Yu., Ospanova Sh.S., Nurmukhanova A.Z.

Numerical study of the combustion of methane by les method of simulation of turbulence

Summary: In this work, the LES method was used to investigate the process of turbulent combustion of methane. Aerodynamics and velocity profiles of methane particles were obtained.

Key words: methane, combustion, aerodynamics, modeling, turbulence.

УДК 681.7.068

¹Г.Б. Кашаганова, ^{2,3}А.У. Калижанова

(¹Казахско-Американский университет

²Алматинский университет энергетики и связи

³Институт информационных и вычислительных технологий АН МОН РК

Алматы, Республика Казахстан, guljan_k70@mail.ru)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЛОКОННОЙ РЕШЕТКИ БРЭГГА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ MATLAB

Аннотация. Дан анализ математических моделей, позволяющих проводить расчет параметров волоконных решеток Брэгга.

Ключевые слова: волоконная оптика, волоконные решетки Брэгга, теория связанных мод, метод эффективного показателя, метод матрицы рассеяния, метод Руарда.

Волоконная оптика является одной из интенсивно развивающихся областей современной науки, её достижения в настоящий момент востребованы как во многих научных исследованиях, так и в практических приложениях [1]. Одним из наиболее ярких достижений волоконной оптики является создание волоконных датчиков, лазеров, имеющих широкий круг различных применений, таких как волоконно-оптические линии связи, медицина, метрология, спектроскопия, промышленная обработка материалов и т.д.

