
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК КазНИТУ

VESTNIK KazNRTU

№6 (124)

Узаков Я. М., Таева А. М., Медеубаева Ж.М., Макангали К. К., Сатаева Ж.И., Аситаев А. А. ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ВЕРБЛЮЖАТИНЫ.....	299
Узаков Я. М., Матибаева А. И., Желегуова Ж.С., Даулетханқызы А., Тұзанбай Е.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ БАРАНИНЫ.....	304
Алияров Б.К., Тұрар А.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРО ГЭС С ВЕТРОВЫМ АГРЕГАТОМ.....	309
Абдрахманова Н.Т. ПРИМЕНЕНИЕ ОЛИВИНОВОГО ПЕСКА ДЛЯ ОБЛИЦОВОЧНОЙ СМЕСИ.....	311
Абейстанова А.Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕПРАВИЛЬНЫХ КАЗАХСКИХ СЛОВ И ПОСТРОЕНИЕ СМЫСЛОВЫХ КАТАЛОГОВ ДЛЯ ПЕРЕВЕДЕННЫХ С АНГЛИЙСКОГО НА КАЗАХСКИЙ ЯЗЫК ПРЕДЛОЖЕНИЙ.....	313
Мурадов А.Д., Естанова Ш.Е., Камалова Ф.П., Сарсенбаев А.Б. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПОЛНИТЕЛЯ И ДОЗЫ ГАММА ОБЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПОЛИИМИД- $YBa_2Cu_3O_{6+2}$ ».....	317
Шарипов К.О., Бұлығын К.А., Батырбаева А.А., Мекесова П.А. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ И ВЫЯВЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОЗОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВОЛОС.....	322
Шарипов К.О., Батырбаева А.А., Нармаганбетова Д.Е. МУЛЬТИОМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ДИАГНОСТИКЕ И МОНИТОРИНГЕ ПАЦИЕНТОВ.....	326
Толебекова Л. А. ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СПЛАВА НА КОРОНКАХ ЗУБЬЕВ КОВША ЭКСКАВАТОРА	331
Жумагалиев Е.Е. ЛИТЬЕ ЧУГУННЫЕ МЕЛЮЩИЕ ШАРЫ ДЛЯ ПОМОЛА МАТЕРИАЛОВ.....	334
Каримова А. М. Аманжолов Е. Т. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «САРЫАДЫР» ПРИ НАГРЕВАНИИ.....	337

Физико-математические науки

Калыкова Г.М., Светлакова К.Р., Беляев Е.К. ПОВЫШЕНИЕ ОТРАБОТКИ БЛОКОВ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ КАРТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	340
Башеева А.О. О БАЗИСАХ КВАЗИТОЖДЕСТВ ТОЧЕЧНЫХ АБЕЛЕВЫХ ГРУПП.....	346
Немкаева Р.Р., Гусейнов Н.Р., Мырзабекова М.М., Габдуллин М.Т. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТА И ОБЛУЧЕНИЯ	351
Салаатов Т.И., Пөзәжав И.П., Алибаева К.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНТУРНОГО РАСТЕКАНИЯ ВЫЩЕЛАЧИВАЮЩИХ РАСТВОРОВ ПРИ ДОБЫЧЕ УРАНА С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ.....	357
Исахов А.А., Байтуреев А.Р. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПАССИВНОЙ СКАЛЯРНОЙ ПРИМЕСИ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ.....	362
Аскарова А.С., Болғенова С.А., Оспанова Ш.С., Нұрмұханова А.З., Нұғыманова А.О., Нұстілжан А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПЫЛА, ДИСПЕРСИИ И ГОРЕНИЯ КАПЕЛЬ ЖИДКОГО ТОПЛИВА ПРИ ВЫСОКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ.....	370
Аскарова А.С., Болғенова С.А., Болғенова С.А., Шортанбаева Ж.К., Максимов В.Ю. Оспанова Ш.С., Нұрмұханова А.З. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГОРЕНИЯ И ДИСПЕРСИИ КАПЕЛЬ ЖИДКОГО ТОПЛИВА.....	374
Аскарова А.С., Болғенова С.А., Болғенова С.А., Шортанбаева Ж.К., Максимов В.Ю., Оспанова Ш.С., Нұрмұханова А.З. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ МЕТАНА МЕТОДОМ LES МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ.....	380

• Физико-математические науки

УДК: 532.517.4

А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, Ш.С. Оспанова, А.З. Нурмуханова

А.О. Нұғыманова, А. Нұсіпжан

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби

Алматы, Республика Казахстан)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПЫЛА, ДИСПЕРСИИ И ГОРЕНИЯ КАПЕЛЬ ЖИДКОГО ТОПЛИВА ПРИ ВЫСОКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Аннотация: Представлены результаты компьютерного моделирования процессов распыла, дисперсии и испарения капель октана при высокой турбулентности. Получены профили температуры, распределения капель по радиусам и пары топлива по высоте камеры сгорания.

Ключевые слова: горение, дисперсия, октан, пары топлива.

Методы математического моделирования нашли широкое применение в различных областях науки и техники. Эти методы включают в себя разработку физических и математических моделей, численных методов и программного обеспечения, проведение численного эксперимента с привлечением средств вычислительной техники (его результаты анализируются и используются в практических целях). В науке и технике преимущества метода компьютерного моделирования очевидны: оптимизация проектирования, сокращение затрат на отработку, повышение качества продукции, уменьшение эксплуатационных расходов и т.д. Численное моделирование существенно преобразует также сам характер научных исследований, устанавливая новые формы взаимосвязи между экспериментальными и математическими методами.

Применение математического моделирования в области исследований процессов тепломассопереноса в течениях с горением привело к появлению различных программно-ориентированных пакетов, с помощью которых более или менее успешно решаются как фундаментальные задачи, так и прикладные.

Внедрение новых технологий требует значительных затрат, в связи с чем к методам проектирования и отработки оборудования предъявляются все возрастающие требования. Таким образом, в настоящее время, особое внимание приобретает не только создание эффективных физических и математических моделей, но и разработка новых более совершенных методов численной реализации систем разностных уравнений, описывающих конвективный тепломассоперенос в камерах сгорания. Математическое моделирование горения жидкого топлива является сложной задачей, так как требует учета большого количества сложных взаимосвязанных процессов и явлений: многоступенчатые цепные химические реакции, перенос импульса, тепла и массы путем конвекции, молекулярный перенос, излучение, турбулентность, испарение жидких капель.

Распыл струи жидкости имеет широкое практическое применение во многих системах подачи топлива, а также в камерах сгорания современных авиационных двигателей. Подобный тип радиальной подачи в поперечный поток улучшает характеристики распыления топлива, испарения образующегося впрыска и используется в богатых камерах сгорания, а также в камерах с быстрой подготовкой обедненных смесей или с предварительным смешением и испарением топливно-воздушной смеси. Данная задача широко применяется для изучения процесса распада струи жидкости на капли [1, 2].

Детальное экспериментальное исследование процесса распыливания на реальных форсунках затруднено ввиду широкого диапазона размеров частиц и плотности «засеваивания» потока воздуха частицами жидкости. Наиболее приемлемым является численное моделирование, которое в общем случае включает моделирование распада струй и пленок жидкости на сгустки, вторичного дробления сгустков на капли и дальнейшего переноса капель потоком воздуха. Отработка методики расчета процесса формирования и дробления топливной пленки при распыливании является первоочередной задачей при расчете движения частиц. При этом в прикладных задачах, несмотря на постоянно совершенствующиеся вычислительные ресурсы, основной проблемой при выполнении расчетов распыла является необходимость обеспечения требуемой степени дискретизации расчетных областей ввиду широкого диапазона пространственных масштабов, на которых происходит распыл.

При распыливании жидкого топлива пневматической форсункой газотурбинного двигателя размер капель может достигать нескольких микронов, в то время как размеры топливных каналов превышают их на несколько порядков. Использование равномерных сеток при описании распада жидкой пленки на множество капель различного размера требует корректного разрешения сеточной моделью границ раздела фаз, а это приводит к непомерно высоким вычислительным затратам. Применение локального измельчения сеток помогает приблизиться к решению проблемы, поскольку позволяет обойтись менее детальными сетками. Но в этом случае встает вопрос влияния на результаты моделирования динамического изменения сеточной модели, связанного с характеристиками воздушно-капельного потока.

При моделировании турбулентных течений по осредненным параметрам широко распространена гипотеза Буссинеска, которая проводит аналогию между молекулярной и турбулентной диффузией. Вязкость зависит от времени и масштабов турбулентности, которые вычисляются из решения дополнительных транспортных уравнений, например, из уравнений для кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации.

Применяя операцию осреднения, можно получить осредненные уравнения сохранения массы, импульса и энергии. В этом случае из основных уравнений сохранения получаем осредненные уравнения Навье – Стокса [3-5]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = \bar{S}_{mass}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = \rho g - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{\sigma}_y}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_y}{\partial x_j} + \bar{S}_{mom}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho \bar{E}}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{E} \bar{u}_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{p} \bar{u}_j}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{u}_j \bar{\sigma}_y}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j \tau_y}{\partial x_j} + \bar{S}_{energy}. \quad (3)$$

В приведенных выше уравнениях \bar{S}_{mass} , \bar{S}_{mom} и \bar{S}_{energy} , соответственно, источниковые члены массы, импульса и энергии дисперсной фазы. ρ - плотность несущей фазы, p - давление и g - сила тяжести.

k – ε модель турбулентности

Более универсальными моделями в инженерных расчетах турбулентных потоков являются модели с двумя дифференциальными уравнениями. Наиболее часто в технических течениях используется модель с двумя дифференциальными уравнениями. Это *k – ε* модель, когда решаются два уравнения для кинетической энергии турбулентности *k* и скорости ее диссипации *ε*:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \frac{\partial \bar{u}_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + G - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon, \quad (4)$$

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \frac{\partial \bar{u}_j \varepsilon}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] = c_{\varepsilon_1} \frac{\varepsilon}{k} G - \left[\left(\frac{2}{3} c_{\varepsilon_2} - c_{\varepsilon_3} \right) \rho \varepsilon \delta_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] - c_{\varepsilon_2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}. \quad (5)$$

В данной работе была использована модель камеры сгорания в форме цилиндра, высота которой 15 см, диаметр 4 см. Общий вид камеры сгорания представлен на рисунке 1. Расчетная область состоит из 650 ячеек. С помощью сопла, которое располагается в центре нижней части камеры сгорания, впрыскивается жидкое топливо. Площадь форсунки равна $2 \cdot 10^{-4}$ см². Температура стенок камеры сгорания 353 К. Начальная температура газа в камере сгорания 900 К, топливо впрыскивается при 300 К. Начальный радиус впрыскиваемых капель 25 мкм. Угол, при котором

• Физико-математические науки

впрыскиваются капли, равен 10^0 . Давление в камере сгорания составляет 80 бар, скорость впрыска жидкого топлива равна 250 м/с.

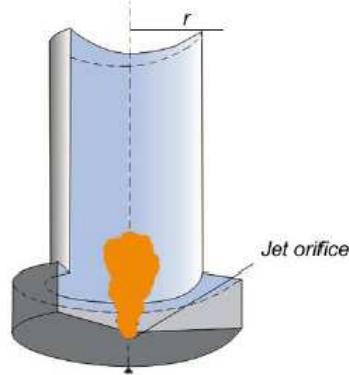


Рис. 1. Общий вид камеры сгорания

На рисунке 2 показаны результаты численного моделирования горения октана в камере сгорания. На рисунке 2 представлено распределение капель октана по размерам по высоте камеры сгорания в моменты времени $t=1$ мс, 1.5 мс, 2.5 мс. В начальной стадии процесса горения в момент времени $t=1$ мс капли октана достигли высоты равной 0,59 см. В последующие моменты времени $t=1.5$ мс и 2.5 мс капли октана поднялись на высоту камеры равной 0,62 см и 0,72 см, соответственно.

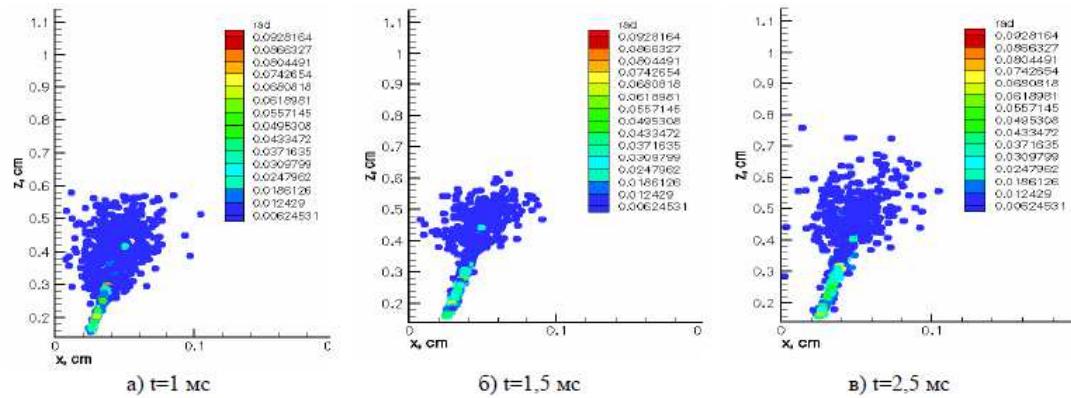


Рис. 2. Распределение капель октана по радиусам по высоте камеры сгорания в различные моменты времени

На рисунке 3 показаны поля температуры в камере сгорания при горении октана в различные моменты времени. Эти графики свидетельствует о том, что при горении октана большая часть камеры прогревается до 987,192 К. В момент времени $t=2.5$ мс в ядре температурного факела при горении октана температура достигает значения 2687,32 К.

На следующем рисунке 4 представлены поля концентрации топлива в различные моменты времени горения. Как видно из рисунков, пары октана в момент времени $t=1.5$ мс имеют минимальную концентрацию. Так, для октана значение концентрации составило 0,0947587 г/г. Пары октана в различные моменты времени поднимаются на различные высоты. К примеру, в момент времени $t=2.5$ мс пары октана поднимаются на высоту камеры 2,3 мс, а в момент времени $t=1$ мс они все еще находятся внизу камеры сгорания.

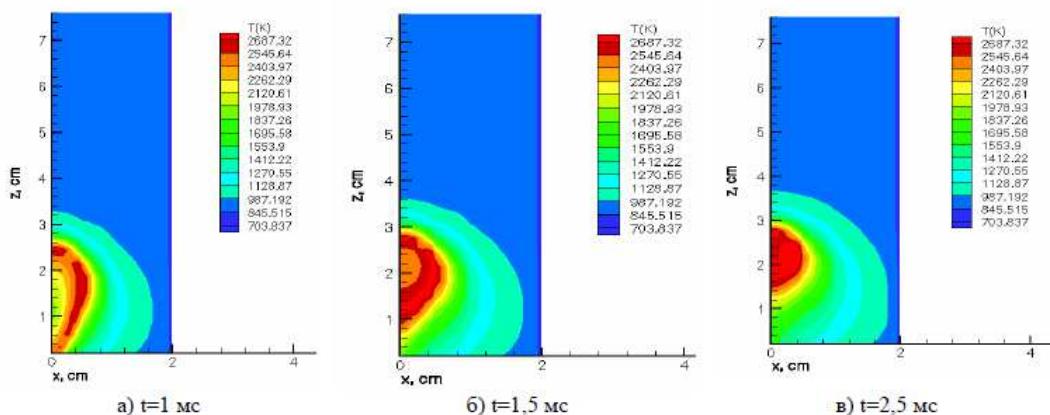


Рис. 3. Профиль температуры в камере сгорания при горении октана в различные моменты времени

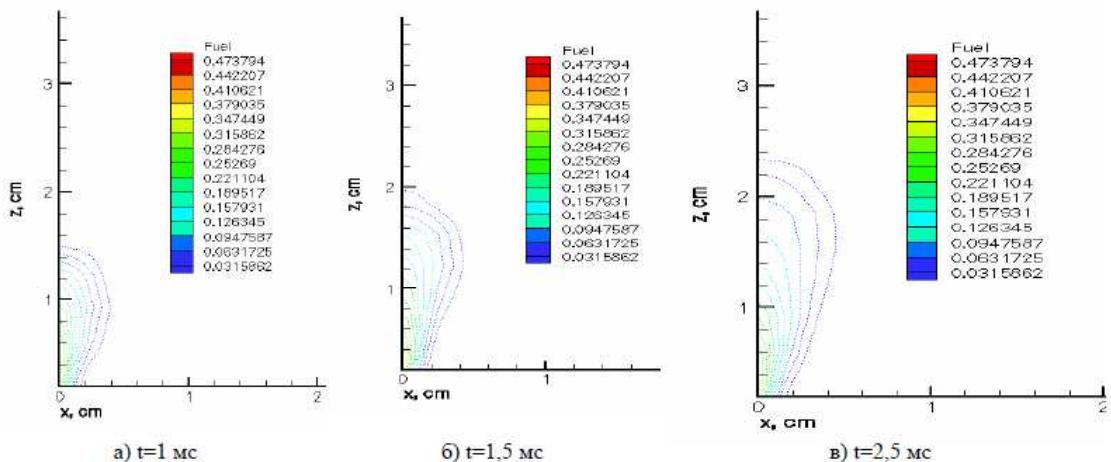


Рис. 4. Распределение паров октана по высоте камеры сгорания в различные моменты времени

Таким образом, по полученным результатам по горению жидкого топлива можно сделать заключение:

- капли октана поднимаются на различные высоты, но имеют почти одинаковые размеры;
- при горении октана температура в камере сгорания достигает максимальных значений и в большей части камеры сгорания сохраняется маленькая температура;
- концентрации паров топлива в начальные моменты времени имеют почти одинаковые значения, но с течением времени достигают максимальных значений по всему объему камеры.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gorokhovski M., Herrmann M. Modeling primary atomization // Annual Review of Fluid Mechanics. – 2008. - Vol. 40. – P. 343–366.
- [2] Apte S.V., Gorokhovski M., Moin P. LES of atomizing spray with stochastic modeling of secondary breakup // International Journal of Multiphase Flow. – 2003. – Vol. 29, №9. – P. 1503-1522.
- [3] A. Askarova, S. Bolegenova, Bolegenova Symbat, I. Berezovskaya, Zh., Ospanova Sh., Shortanbayeva, A. Maksutkhanova, G. Mukasheva and A. Ergalieva Numerical Simulation of the Oxidant's Temperature and Influence on the Liquid Fuel Combustion Processes at High Pressures // Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2015. - Vol. 10, №4. - P. 90-95.

• Физико-математические науки

[4] Farago Z., Chigier N.A. Morphological classification of disintegration of round liquid jets in a coaxial air stream // Atomization and Sprays. – 1992. – Vol.2. – P. 137–153.

[5] Habchi C., Verhoeven D., Huynh Huu C., Lambert L. et al. Modeling atomization and break-up in high pressure diesel sprays // SAE Technical Paper. – 1997. – P. 1250-1260.

Аскарова Э.С., Болегенова С.Э., Оспанова Ш.С., Нұрмұханова А.З., Нұсіпжан А.

Жоғары түрбуленттіліктегі сұйық отын тамшыларының бұрку, дисперсия және процестерін модельдеу

Түйіндеме: Берілген жұмыста жоғары түрбуленттіліктегі октан тамшыларының бұрку, дисперсия және булану процестерін компьютерлік модельдеу нәтижелері көлтірілген. Температуралық профильдері, тамшылардың радиустары бойынша тараптуы мен отын буының камера биіктігі бойымен тараптуы альниды.

Түйін сөздер: Түйін сөздер: жану, дисперсия, октан, отын буы.

Askarova A.S., Bolegenova S.A., Ospanova Sh.S., Nurmukhanova A.Z., Nugymanova A., Nusipzhan A.

Modeling of the atomization, dispersion and combustion processes of liquid fuel droplets at high turbulence

Summary: This paper presents the results of computer simulation of the spray process, vaporization and dispersion of octane droplets at high turbulence. The temperature profiles, the droplet distributions along the radii and the fuel vapors along the height of the combustion chamber are obtained.

Key words: combustion, dispersion, octane, fuel vapor.

УДК: 532.517.4

Ә.С. Аскарова, С.Ә. Болегенова, С.Ә. Болегенова, Ж.Қ. Шортанбаева

В.Ю. Максимов, Ш.С. Оспанова, А.З. Нұрмұханова

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби

Алматы, Республика Казахстан)

СҰЙЫҚ ОТЫН ТАМШЫЛАРЫНЫҢ ЖАНУ ДИНАМИКАСЫ МЕН ДИСПЕРСИЯСЫН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

Аннотация: Берілген жұмыс жану камерасындағы сұйық отынның тұтандыруы мен жану процестерін компьютерлік модельдеуте арналған. Жұмыста бұркілген сұйық отындардың жануының негізгі ерекшеліктері, олардың жану камерасы биіктігі бойымен тараптуы сандық зерттелінген.

Түйін сөздер: жану, модельдеу, сұйық отын, сандық зерттеу.

Математикалық модельдеу әдістері ғылым мен техниканың сан алуан облыстарында кеңінен колданыс тапты. Осы әдістердің құрамына физикалық және математикалық модельдерді, сандық әдістер мен бағдарламалық камтуды жасау, есептеуіш техника құралдарын жұмылдыра отырып, сандық тәжірибе жүргізу (оның нәтижелері талданып, колданбалы мақсаттарда іске асырылады) енеді. Ғылым мен техникада компьютерлік модельдеу әдісінің артықшылықтары ілгеріден белгілі: жобалауды жетілдіру, өндеге жұмсалатын шығын санын азайту, енім сапасын арттыру, колданбалы шығындардың азаны және т.б. Сандық модельдеу тәжірибелік және математикалық модельдер арасындағы байланыстың жаңа нұсқаларын тағайындаі отырып, ғылыми зерттеулердің өз сипатын да өзгеріске ұшыратады.

Жануы бар ағыстардағы жылу және масса тасымалы процестерін зерттеу облысында математикалық модельдеуді колдану іргелі, сонымен катар колданбалы мәселелердің шешіміне табысты турде кол жеткізуге мүмкіндіктерді ашатын түрлі бағдарламалық-бағытталған пакеттердің калькітасуына алып келді.

Жаңа технологияларды бейімдеу айтартылтай шығындың жақет етеді, осыған байланысты құрылғыларды жобалау және жасау әдістеріне койылатын талаптар да катая түсіде. Осылайша қазіргі уақытта тиімді физикалық және математикалық модельдерді жасауға ғана көңіл бөлініп қоймай, сонымен катар жану камераларындағы конвективті жылу және масса тасымалын сипаттайтын айрымды тендеулер жүйесін сандық жүзеге асырудын жетілген жаңа әдістерін калькітастыруға да ерекше көңіл бөлініп отыр. Сұйық отындардың жануын математикалық модельдеу күрделі мәселе болып табылады, өйткени; көпсатылы тізбекті химиялық реакциялар, конвекция арқылы импульс, жылу және масса тасымалы, молекулалық тасымал, сөулелену, түрбуленттілік, сұйық тамшылардың

