

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



ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ_____

_____ **ВЕСТНИК КазННТУ**

VESTNIK KazNRTU_____

№ 6 (142)

<i>Shugaeva T.Zh., Spivak-Lavrov I.F., Sharipov S.U.</i> TO THE CALCULATION OF ELECTROSTATIC POTENTIALS OF AXIAL SYMMETRIC AND TRANSAXIAL LENSES.....	499
<i>Uvaliyeva I. M., Mutal Zh.A., Baidildina A. T.</i> SOFTWARE IMPLEMENTATION OF KPI MONITORING OF PUBLICATION ACTIVITY OF SCIENTISTS.....	507
<i>Abdulkarimova K.E., Abenov ZH. K., Aubakirov S.S.</i> DEVELOPMENT OF THE AML SYSTEM ARCHITECTURE.....	515
<i>Unaspekov B.A., Irgibayev T.I., Krasnyuk A.M., Lugin I.V., Lech Dzenis, Kuspangaliyev M.</i> INVESTIGATION OF THE TUNNEL VENTILATION SYSTEM WITHOUT THE DEVICE OF DISTILLATION VENTILATION CHAMBERS.....	520
<i>Unaspekov B.A., Irgibayev T.I., Krasnyuk A.M., Lugin I.V., Lech Dzenis, Kuspangaliyev M.</i> ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF PISTON ACTION OF TRAINS ON AIR DISTRIBUTION IN THE METRO TUNNEL.....	525
<i>Pyrkova A., Yeren N.</i> DEVELOPING A SECURITY POLICY FOR THE NETWORKED INFRASTRUCTURE OF A GLOBAL INTERNET COMMUNICATION SYSTEM.....	534
<i>Shmygaleva T., Zheniskhanov D.</i> DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CALCULATING THE SPECTRA OF PRIMARY BEATEN-OUT ATOMS DURING PROTON IRRADIATION.....	541

Physical and mathematical sciences

<i>Tashev A.A., Kassymova D.T., Akhmediyarova A.T.</i> COMPARISON OF STATISTICAL METHODS AND APPLICATION OF GRABBS'S CRITERION FOR DETERMINING AND ELIMINATING A CONTRADICTION.....	547
<i>Koshkinbayeva M.Zh., Saidirassulov S.S., Koshkinbayev S.Zh., Duysenov N.Zh.</i> REMOTE CONTROL OF THE ARDUINO BOARD USING A BLUETOOTH MODULE.....	554
<i>Tukenova L.M.</i> TWO-LAYER ITERATIVE METHOD FOR PROBLEMS WITH A BHARMONIC OPERATOR.....	560
<i>Lakhno V.A., Sauanova K.T., Adilzhanova S.A., Semyatova A.N.</i> APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM IN DYNAMIC CONTROL PROBLEMS OF CYBER SECURITY RESOURCES.....	565
<i>Akanbay E.N., Suleimenova Z.I., Tapeeva S.K.</i> ASYMPTOTIC NORMALITY OF THE SOLUTION OF A PARABOLIC EQUATION WITH RANDOM RAPIDLY OSCILLATING COEFFICIENTS.....	572
<i>Berezovskaya I., Ryspayeva M., Vorobyova O., Tomochakov M.</i> NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN INTERNAL COMBUSTION CHAMBERS BY COMPUTER SIMULATION.....	581
<i>Yerekesh B., Zhakyp A., Kurakbay U.</i> DEVELOPMENT OF PRINCIPAL SCHEME OF PROCESSING AND PROCESSING OF SIGNAL SENSORS.....	585
<i>Yessengaliyeva Zh., Kabatova A.</i> STUDY OF METHODS AND ALGORITHMS FOR VOICE SPEECH RECOGNITION.....	593
<i>Iskakova N.M., Abduraimova B.K., Tukenova L.M.</i> USE OF THE THREE-TIER «CLIENT-SERVER» ARCHITECTURE IN MODERN INFORMATION SYSTEMS.....	600
<i>Tashev A.A., Kazykhan R.K.</i> CONSTRUCTION OF A LINEAR INTERPOLATION POLYNOMA FOR THE THREE-DIMENSIONAL CASE.....	605
<i>Kerimbay E.T., Uskenbayeva R.K., Bektemyssova G.U.</i> DEVELOPMENT OF A MODULE FOR REGISTRATION AND SEARCH OF CITIZENS.....	609
<i>Nurlanbek A., Toigozhinova A., Kaliyev Zh., Doshtaev K., Nauryzbaeva A.</i> ALGORITHMS FOR CONTROLLING TRAIN TRAFFIC ON THE METRO LINE.....	614
<i>Savchenko A., Omirbekova Zh.</i> DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE ALGORITHM USING AN EXPERT MODEL TO ADAPT THE MATERIAL TO THE USER'S KNOWLEDGE.....	619
<i>Orazbayev B., Temir A., Orazbayeva K., Kurmangaziyeva L., Tuleuova R.</i> RESEARCH AND CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODELS OF THE PROCESS OF THERMOCHEMICAL DEWATERING OF OIL EMULSIONS.....	627

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.Д.Вентцель. Курс теории случайных процессов – М.: Наука. Физматлит, 1996. - 400 стр.
- [2] A.N.Borodin, “Brownian local time”, *Russian Math. Surveys*, 44:2 (1989), 1–51.
- [3] В.Ф.Гапошкин. Критерии усиленного закона больших чисел для классов стационарных в широком смысле процессов и однородных случайных полей. – Теория вероятн. И ее примен., 1977, т.22, №2, с. 295-319.
- [4] В.В.Юринский. О распространении волн в одномерной случайной среде.- МИ СО АН СССР, препринт № 9. – Новосибирск, 1982.
- [5] Е.Б.Дынкин. Марковские процессы. – М.: Физматлит, 1963. – 860 стр.
- [6] H.Cramer M.R.Leadbetter. Stationary and Related Stochastic Processes – John Wiley, 1967.
- [7] A.N.Borodin. On the character of convergence tu Brownian Local time.1// Th. Rel.Fields. – 1986. – V.72, №2. – P. 231-250.
- [7] Аканбай (Аканбаев) Н. Об оценке остаточного члена в теореме осреднения для случайных параболических уравнений – Изв. АН Каз ССР, сер. Физ.-мат., 1985, №5. – с. 11 – 15.
- [8] S.M.Kozlov, “Averaging of random operators”, *Math. USSR-Sb.*, **37**:2 (1980), 167–180
- [9] A.N.Borodin, “Hyperbolic Ornstein–Uhlenbeck process”, *J. Math. Sci. (N. Y.)*, **219**:5 (2016), 631–638
- [10] A.N.Borodin, “Distributions of functionals of switching diffusions”, *J. Math. Sci. (N. Y.)*, **229**:6 (2018), 632–650
- [11] A.N.Borodin, “On distributions of integral functionals of diffusions stopped at inverse range time”, *J. Math. Sci. (N. Y.)*, **229**:6 (2018), 626–631
- [12] A.N.Borodin, “Distributions of functionals of diffusions with jumps stopped at random moments”, *J. Math. Sci. (N. Y.)*, **206**:2 (2015), 115–126
- [13] M.Grabchak, S.A.Molchanov, “Limit theorems for random exponentials: the bounded support case”, *Theory Probab. Appl.*, **63**:4 (2019), 634–647
- [14] Dan Han, Yulia Makarova, Stanislav Molchanov, Elena Yarovaya, “Branching random walks with immigration”, *Lecture Notes in Comput. Sci.*, **10684** (2017), 401–408

Е.Н. Аканбай., З.И. Сулейменова., С.К. Тапеева

Асимптотическая нормальность решения параболического уравнения со случайными быстро осциллирующими коэффициентами

Резюме. Берілген жұмыста кездейсоқ біртекті жылдам осцилляцияланатын коэффициентті кездейсоқ параболалық тендеу үшін Коши есебі шешімінің ықтималдықтық асимптотикалық беталысы зерттелген. Уақытты кездейсоқ ауыстыру әдісін және локал броундық уақыт қасиеттерін пайдалана отырып қажетті түрде нормаландырылған шешімнің (математикалық күтімі нөлге тең және дисперсиясы ақырлы болатын) асимптотикалық нормал шешім болатыны туралы негізгі нәтиже дәлелденген. Шектік ақырлы дисперсияның тендеу шешімімен байланысты броундық локал уақыт терминінде жазылған айқын түрі алынған.

Кілт сөздер: Кездейсоқ оператор, жылдам осцилляцияланатын коэффициентті кездейсоқ тендеу, орталандырылған оператор, орталандырылған тендеу, уақытты кездейсоқ ауыстыру, броундық локал уақыт, асимптотикалық нормалдылық.

УДК 532.517.4

I.Berezovskaya, M. Ryspayeva, O.Vorobyova, M. Tomochakov
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: Yryna.Berezovskaya@kaznu.kz)

**NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES
IN INTERNAL COMBUSTION CHAMBERS BY COMPUTER SIMULATION**

Summary. This work presents the results of a numerical investigation on the combustion of 6 mg tetradecane (C₁₄H₃₀) in a model cylindrical internal combustion chamber. The research was carried out by the method of computer simulation with the OpenFOAM software package. The calculation was carried out at different grid values (25x25x80 and 40x40x100) to determine the effect of the grid size on the distribution of parameters and results. The work presents the diagram of pressure, diagrams of the maximum concentrations of carbon dioxide and water vapor. According to the research results, the maximum value of the concentration of carbon dioxide at the outlet did not exceed 0.19 g / g along the height of the chamber.

Key words: computer modeling, liquid fuel combustion, tetradecane, OpenFOAM, turbulent heat and mass transfer.

И.Э. Березовская, М.Ж. Рыспаева, О.Д. Воробьева, М.М. Томочаков
(Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан)

E-mail: Yryna.Berezovskaya@kaznu.kz)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В КАМЕРАХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В работе представлены результаты численного исследования горения 6 мг тетрадекана ($C_{14}H_{30}$) в модельной цилиндрической камере внутреннего сгорания. Исследование проводилось методом компьютерного моделирования в программном пакете OpenFOAM. Расчет произведен при различных значениях сетки (25x25x80 и 40x40x100), чтобы определить влияние размера сетки на распределение параметров и результатов. В работе представлены графики давления, максимальных концентраций углекислого газа и водяного пара. По результатам исследования максимальное значение концентрации образования углекислого газа на выходе не превышало 0,19 г/г по высоте камеры.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, сжигание жидкого топлива, тетрадекан, OpenFOAM, турбулентный теплообмен.

ВВЕДЕНИЕ

Исходя из последних сведений [1], активный экономический рост многих стран обуславливает повышение спроса на энергетические ресурсы и, как следствие, приводит к истощению запасов традиционных видов топлива. Поэтому перед многими странами стоит задача о нахождении возможного экономичного применения и экологичного сжигания топлива.

Из-за сложности нахождения аналитического решения для физических процессов динамики сплошных сред, применяют методы CFD (Computational Fluid Dynamic). Другое преимущество, как показали авторы [2-3], данного моделирования заключается в том, что оно позволяет исследовать концептуальные установки и режимы сгорания задолго до создания прототипов. Моделирование также может быть полезно для исследования параметров, где они обеспечивают более дешевую альтернативу, чем крупномасштабные.

Относительно недавно для исследований и анализа газодинамики и теплофизических процессов стали эффективны методы численного моделирования с использованием разнообразных физических моделей. К примеру, в работах [4-8], модели с хорошей сходимостью предсказывают любые режимы теплопереноса, реагирующие ламинарные и турбулентные течения, химические реакции и другие явления. И все это благодаря гибкому построению и наложению сетки на геометрию модели, включая движущиеся части. Как было отмечено [9], от качества построения сетки зависят качество и сходимость решения, точность и скорость получения конечных результатов расчета [9].

Горение жидких, газообразных и твердых топлив сопровождается сложными взаимосвязанными процессами и явлениями. К ним относятся конвективные переносы тепла, массы и импульса, цепные химические реакции, многофазность, излучение, турбулентность, молекулярный перенос, воспламенение и испарение. Учет всех сопутствующих процессов усложняет задачу и требует детально изучить сам процесс горения. Особо важен процесс турбулентности, рассмотренный авторами [10-12], так как приближен к реальному процессу теплопереноса.

В работе [13], при моделировании наибольшую проблему представляет наложение расчетной сетки на вычислительные контрольные объемы среды, в которых производится симуляция реальных процессов теплопереноса. Необходимо учитывать взаимную конфигурацию узлов сетки на криволинейных участках моделей сложной формы, а также шаг между ними. Размер сетки влияет на ее чувствительность к флуктуациям параметров горения. Поэтому сетка может стать источником шумов и повлиять на конечные результаты исследования [13].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

В данной работе вычислительный эксперимент заключался в исследовании процесса горения топлива в модельной цилиндрической камере сгорания высотой 0,15 м и радиусом основания 0,02 м, имитирующей двигатель внутреннего сгорания.

Температура в камере сгорания составляет 800 К, начальное давление в камере 5 МПа. В центре нижнего основания камеры расположено сопло инжектора, размером 0,19 мм, через которое за 1,25 миллисекунды в камеру поступает топливо массой 6 мг. Вид исследуемого топлива – тетрадекан ($C_{14}H_{30}$), его температура на момент впрыска равна 320 К.

Тетрадекан — ациклический углеводород (алкан) линейного строения, содержащий только одиночные связи, $T_{пл}=278,95$ К, $T_{кип}=526,67$ К, $T_{всп}=376,15$ К, плотность в жидком состоянии $0,762$ г/см³ (при 293,15 К, относительно воды при 277,15 К). Может использоваться как самостоятельное топливо или выступать как компонент для дизельного топлива [14-15].

Проводя исследование для двух значений сетки $25 \times 25 \times 80$ и $40 \times 40 \times 100$, мы ставили цель узнать, как повлияет размер сетки на характеристики процессов турбулентного теплопереноса. Так как моделирование распыления более чувствительно к сетке, чем другие модели CFD, то увеличение количества ячеек может изменить качество моделирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рис. 1 изображено давление по высоте камеры с течением 1,5 миллисекунды. В начальный период времени 0,5 мс (рис. 1а) максимумы давления находятся в нижней части камеры на высоте 0,01 м, т.к. произошел впрыск топлива. Далее происходит превращение топлива в газовую фазу и его воспламенение, а также последующее сгорание, поэтому пики образуются на высоте цилиндра 0,12 м в момент $t = 2$ мс (рис. 1б).

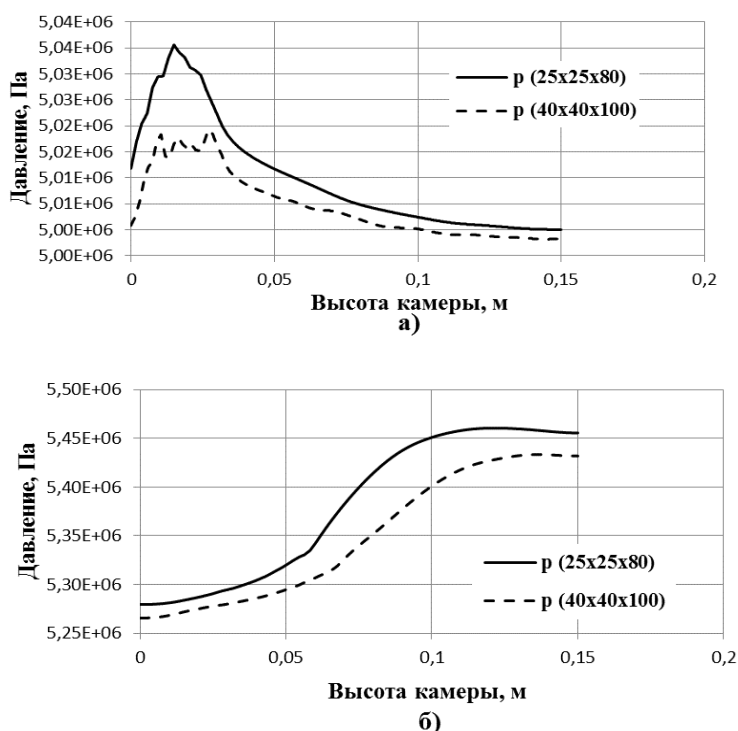


Рис. 1. Давление по высоте камеры:
а) за время $t = 0,5$ мс, б) за время $t = 2$ мс

Как было показано, численные значения полученных данных для сеток $40 \times 40 \times 100$ и $25 \times 25 \times 80$ очень близки, а затраченное время сильно различается. С увеличением числа узлов в сетке растет и компьютерное время обработки данных в каждой контрольной ячейке модели. Однако, с другой стороны, дальнейшее увеличение количества ячеек сетки приведет к наложению данных соседних узлов, что может выдавать большую погрешность результатов. Поэтому можно сделать следующий вывод, что размер сетки практически не влияет на качество получаемой информации. Следовательно дальнейшие результаты представлены для сетки $25 \times 25 \times 80$.

При моделировании сжигания жидкого топлива очень важно знать какие продукты реакции образуются и соответствуют ли они нормам. В момент активного горения топлива ($t = 2$ мс) происходит окисление топлива и интенсификация образования углекислого газа до $0,19$ г/г и паров воды до $0,08$ г/г (рис. 2).

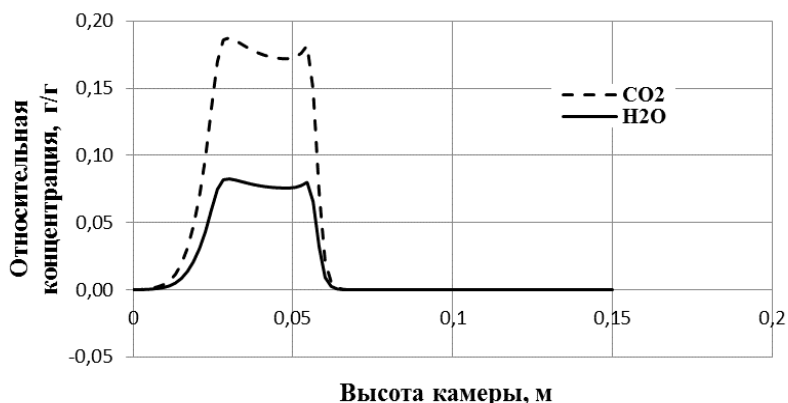


Рис. 2. Относительная концентрация продуктов сгорания по высоте камеры за время $t = 2$ мс

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постоянное стремление к созданию все более эффективных двигателей внутреннего сгорания с низким уровнем выбросов привело к значительным исследованиям в области процесса сгорания жидкого и газообразного топлива.

Так активное перемешивание топлива с воздухом приводит к более однородной смеси и полному сгоранию топлива с максимальным тепловыделением и минимальным уровнем выбросов. Кроме того, движение жидкости внутри цилиндра является турбулентным, неустойчивым как в пространстве, так и во времени.

После проведенного исследования процесса тепломассопереноса при горении тетрадекана с использованием программного комплекса OpenFOAM, при различных значениях сетки (25x25x80 и 40x40x100), можно подвести итоги:

1) Большая сетка (40x40x100) чуть точнее представляет флуктуации параметров, но на полное решение затрачивается больше компьютерного времени. Дальнейшее увеличение сетки может стать источником погрешности. Поэтому для качественного анализа достаточно взять сетку меньшего размера. Либо оптимизировать решатель для химического механизма, чтобы сократить вычислительное время без потери точности.

2) Получены графики давлений по высоте камеры для двух значений сеток в момент впрыска и воспламенения топлива, графики концентраций продуктов сгорания (углекислого газа и паров воды) относительно параметров камеры.

3) В процессе исследования в момент сгорания большей части топлива ($t = 2$ мс) выделились максимальные концентрации углекислого газа 0.19 г/г и воды 0.082 г/г.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] International Energy Outlook 2019 key takeaway. P.114-122
- [2] Пахомов М.А., Терехов В.И. Структура течения и турбулентный тепломассоперенос в лобовой точке импактной импульсной газочапельной струи // ТВТ, 2014, том 52, выпуск 4, 588–596
- [3] Maximov, V. S., et al. 3D modeling of heat and mass transfer during combustion of solid fuel in BKZ-420-140-7с combustion chamber of Kazakhstan, Journal of Applied Fluid Mechanics, 9 (2016), 2, pp. 699-709
- [4] Аскарова А. С., Болегенова С. А., Болегенова Сымбат А., Максимов В. Ю., Бекетаева М. Т., Моделирование тепломассопереноса в высокотемпературных реагирующих потоках при наличии горения // ТВТ, 2018, том 56, выпуск 5, 768– 774
- [5] Veeranjanyulu K., Venkateswar Rao T. A review on diesel injectors modeling, spray and cavitation // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN (P): 2249-6890; ISSN (E): 2249-8001 Vol. 8, Issue 3. – Jun 2018. – p. 707-716
- [6] Helge von Helldorff, Gerald J Micklow Gaseous and Liquid Jet Direct Injection Simulations Using KIVA-3V // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST) ISSN: 2458-9403 Vol. 6 Issue 1,– Jan 2019. – p. 9424-9432
- [7] Qiong L., Gomez F., Perez J.M. Instability and sensitivity analysis of flows using OpenFOAM // Chinese Journal of Aeronautics, – 2016. – p. 316-325
- [8] Nygren A. Modeling of Spray Formation and Development in OpenFOAM with Application to Diesel and Alcohol Fuels // Department of Mechanics and Maritime Sciences Chalmers university of technology, Göteborg, Sweden – 2018. – p. 32

[9] Воробьева О.Д. Исследование процессов турбулентного теплопереноса методом 3d-моделирования. // Матер. Международной научной конференции студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ЭЛЕМИ». 2019. С. 109

[10] Аскарова А.С., Болегенова С.А., Березовская И.Э., Воробьева О.Д., Жанжиенов А.Е. Численное исследование влияния давления в камере сгорания на воспламенение и горение жидкого топлива // Вестник КазНУ № 1(131). – 2019. С. 521-529

[11] Askarova A.S., Bolegenova S.A., Berezovskaya I.E., Laptev V., Vorobieva O.D., Zhanzhienov A.E., Karymsakova L.I., Iliyeva M.M. Investigation of turbulent heat and mass transfer in combustion of the liquid fuel // Recent Contribution to Physics № 2(69). – 2019. P. 125-133

[12] Аскарова А.С., Болегенова С.А., Максимов В.Ю. Численное моделирование теплопереноса при наличии физико-химических процессов // Проблемы современной науки №7-3, Центр научного знания "Логос" (Ставрополь), - 2013. С. 11-18

[13] Лукачев С. В., Бирюк В. В., Горшкалев А. А. Использование AnsysFluent для исследования газодинамических и тепловых процессов в малоразмерном двухтактном ДВС // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. № 12, 2014. С. 128–136

[14] Справочник химика т.2 / Под ред. Никольского Б.П., Рабиновича В.А., Л.-М.: Химия, 1964 стр. 968-969.

[15] Askarova A., Bolegenova S., Gorokhovskii M., Ospanova Sh. Numerical study of the influence of the spray velocity on the tetradecane's combustion // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, physico-mathematical series – №3 (295). - 2014. С. 32-37

И.Э. Березовская, М.Ж. Рыспаева, О.Д. Воробьева, М.М. Томочаков

Компьютерлік модельдеу әдісімен ішкі жану камераларында жылу және масса тасымалы процесстерін сандық зерттеу

Түйіндеме. Модельді цилиндрлік ішкі жану камерасында 6 мг тетрадеканның ($C_{14}H_{30}$) жануын сандық зерттеуі нәтижелері осы жұмыста ұсынылған. OpenFOAM бағдарламалық жасақтама көмегімен компьютерлік модельдеу әдісімен зерттеуі жасалған. Параметрлердің таратуға тордың мөлшерін әсері анықтау үшін әртүрлі тордың мәндеріне (25x25x80 және 40x40x100) есеп жасалған. Жұмыста қысымның графигі, көмірқышқыл газы мен су буының максималды концентрациясының графигтері келтірілген. Зерттеу нәтижелері бойынша көміртегі диоксиді концентрациясының максималды мәні камераның биіктігі бойынша 0,19 г / г аспады.

Түйін сөздер: компьютерлік модельдеу, сұйық отынның жануы, тетрадекан, OpenFOAM, турбулентті жылу және масса тасымалы.

B. Yerekesh, A. Zhakyp, U. Kurakbay

(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: erekeshova2@bk.ru)

DEVELOPMENT OF PRINCIPAL SCHEME OF PROCESSING AND PROCESSING OF SIGNAL SENSORS

Abstract. This article is devoted to the development of a schematic model of the board for receiving and processing sensor signals, practical error checking. Nowadays, the development of schematic models of sensor signal reception and processing boards is fast and efficient for the development of sensor types and their research.

Key words: gas sensors, nanostructures, porous silicon, sensor, Arduino Nano Platinum, LabVIEW environment, NiElvisII platform

Б.А. Ерекеш, А.Т. Жақып, Ұ.С. Құрақбай

(әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: erekeshova2@bk.ru)

СЕНСОР СИГНАЛДАРЫН ҚАБЫЛДАУ ЖӘНЕ ӨНДЕУ ПЛАТАСЫНЫҢ СХЕМОТЕХНИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ЖАСАУ

Аңдатпа. Бұл мақала сенсор сигналдарын қабылдау және өңдеу платасының схемотехникалық моделін жасауға, тәжірибелік тұрғыда қателікке тексеруге арналған. Қазіргі таңда сенсор сигналдарын қабылдау және өңдеу платаларының схемотехникалық моделін жасау сенсор түрлерін жасап шығаруға, зерттеу жұмыстарын жасауға жылдам әрі тиімді болып табылады.

Кілт сөздер: газ сенсорлары, нанокұрылым, кеуекті кремний, датчик, Arduino Nano платасы, LabVIEW ортасы, NiElvisII платформасы.