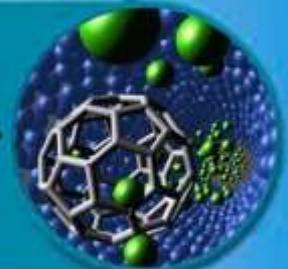


**ФАН ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ТАРАҚҚИЁТИ**
**РАЗВИТИЕ НАУКИ И
ТЕХНОЛОГИЙ**



5
2020

Муассис:

Бухоро муҳандислик-технология институти

Бош муҳаррир:

ДЎСТОВ Ҳ.Б.

кимё фанлари доктори

Таҳририят ҳайъати раиси:

БАРАҚАЕВ Н.Р.

техника фанлари доктори, профессор

Муовини:

ШАРИПОВ М.З.

физика-математика фанлари доктори

Таҳрир ҳайъати:

ПАРПИЕВ Н.А.

ЎзР ФА академиги (ЎЗМУ)

МУҚИМОВ К.М.

ЎзР ФА академиги (ЎЗМУ)

ЖАЛИЛОВ А.Т.

ЎзР ФА академиги (Тошкент кимё-технология ИТИ)

НЕГМАТОВ С.Н.

ЎзР ФА академиги (“Фан ва тараққиёт” ДУК)

РИЗАЕВ А.А.

т.д.ф., профессор (ЎзР ФА Механика ва зилзила-бардошлилик ИТИ)

БАҲОДИРОВ Ғ. А.

т.д.ф., профессор, ЎзР ФА бош илмий котиби

МАЖИДОВ Қ.Х.

техника фанлари доктори, профессор

АСТАНОВ С.Х.

физика-математика фанлари доктори, профессор

РАҲМОНОВ Х.Қ.

техника фанлари доктори, профессор

ВОХИДОВ М.М.

техника фанлари доктори, профессор

ЖЎРАЕВ Х.Ф.

техника фанлари доктори, профессор

САДУЛЛАЕВ Н.Н.

техника фанлари доктори

ФОЗИЛОВ С.Ф.

техника фанлари доктори

ИСАБАЕВ. И.И.

техника фанлари доктори

АБДУРАҲМОНОВ О.Р.

техника фанлари доктори

НИЗОМОВ А.Б.

иқтисод фанлари доктори, профессор

ТЕШАЕВ М.Х.

физика-математика фанлари доктори

ЮНУСОВА Г.С.

фалсафа фанлари доктори

ХАМИДОВ О.Х.

иқтисод фанлари доктори, профессор (БухДУ)

ХОШИМОВ Ф.А.

т.ф.д., профессор (ЎзР ФА Энергетика институти)

АҲМЕТЖАНОВ М.М.

педагогика фанлари номзоди, профессор

Муҳаррир: БОЛТАЕВА Н.Ў.

Мусаҳҳиҳлар:

АЗИМОВА Г.А.

БОЛТАЕВА З.З.

НОРОВА Р.Ф.

ФАН ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР ТАРАҚҚИЁТИ

ИЛМИЙ – ТЕХНИКАВИЙ ЖУРНАЛ

РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

*Журнал Ўзбекистон матбуот ва ахборот агентлиги Бухоро вилояти бошқармасида
2014 йил 22-сентябрда № 05-066-сонли
гувоҳнома билан рўйхатга олинган*

Муассис:

Бухоро муҳандислик-технология институти

*Журнал Ўзбекистон Республикаси Вазирлар
Маҳкамаси ҳузуридаги ОАК Раёсатининг
2017 йил 29-мартдаги №239/5- сонли қарори
билан диссертациялар асосий илмий
натижаларини чоп этиш тавсия этилган
илмий наشرлар рўйхатига киритилган.*

Таҳририят манзили:

*200100, Бухоро шаҳри, Қ. Муртазоев
кўчаси, 15-уй,*

*Бухоро муҳандислик-технология институти
биринчи биноси, 2-қават, 206-хона.*

Тел: 0(365) 223-92-40

Факс: 0(365) 223-78-84

Электрон манзил:

E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

*Ушбу журналда чоп этилган материаллар
таҳририятнинг ёзма рухсатисиз тўлиқ ёки
қисман чоп этилиши мумкин эмас.*

*Таҳририятнинг фикри муаллифлар фикри
билан ҳар доим ҳам мос тушмаслиги мумкин.*

*Журналда ёритилган материалларнинг
ҳаққонийлиги учун мақолаларнинг муаллифлари
ва реклама берувчилар масъулдирлар.*

МУНДАРИЖА

ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ ВА ЖИҲОЗЛАР	
Ҳакимов З.Т. ОТУТ илмий-ўлчов комплексининг ишлаш принципи ва спектрал характеристикалари тадқиқоти	7
Saidova M.X., Dubroves L.V., Isamov R.N. Rezba qirqishda texnologik xatoliklarni kompensatsiyalash	12
Ахмедов Ю.Х., Асадов Ш. Қобик сиртларнинг юк кўтара олиш қобилиятини ҳисоблашда гиперсиртларни плиздрлар билан автоматик тарзда аппроксимациялаш	17
Росабаев А.Т., Шойимова С.П. Шоли уруғини диэлектрик қурилмада саралаш технологик жараёнининг назарий тадқиқи	22
КИМЁ ВА КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	
Эшқурбонов Ф.Б., Тураев Х.Х., Ғаффорова Ш.В., Бердиёров Ў.М., Уралов Н. Б., Бакиров Ж.А. Хўжайкон ош тузи иккиламчи захираларини тозалашнинг физик-кимёвий усуллари	29
Amonova N.D., To'raev X.X., Eshqurbonov F.B. Gamma spektrometr yordamida oltingugurtli beton tarkibini fizik-kimyoviy tahlil qilish	34
Tursunov M.A., Umarov B.B., Sherov S.A., Savriyeva N.Q., Amonov M.M. Tautomerism in the row of acylhydrazones ethyl ether 5,5-dimethyl-2,4-docoheaoic acids	39
Niyazov L.N., Brel A.K., Bahromov H.Q. Salitsil kislota amidi tuzining aminobutan kislota bilan sintezi	44
Жумаев Қ.Қ., Яхяев Н.Ш., Шомуродов А.Ю. Акустик ва ЮЧ-электромагнит майдонларининг нефть шламига таъсирини тадқиқ қилиш	47
Boboyev A.X., Usmanov I.I., Mirzakulov X.Ch. Ammoniy sulfat va flotatsion kaliy xlorididan kaliy sulfat olish jarayonining tadqiqoti	52
Yuldashev T.R., Sulstonov N.N., Djurayev X.F., Rahmatov X.B. Fizik-kimyoviy va mikrobiologik ta'sir orqali qatlamning neftberaoluvchanligini oshirish	58
МАШИНАСОЗЛИК ВА ЭНЕРГЕТИКА	
Сафаров И.И., Ишмаматов М.Р., Кульмуратов Н.Р., Йулдошев Ш.С. Маҳкамланмаган цилиндрик туннелдаги ҳаракатланувчи юкламанинг зўрикқан-деформацияланган ҳолатини аниқлаш	64
Мирзоев Н.Н., Нуров Ҳ.И. Саноат корхоналарида электр моторларини модернизациялашнинг тадқиқи	73
Нуров Ҳ.И., Тураев С. Д. Саноат корхоналарида энергетик аудит ўтказиш орқали электр энергиясидан оқилона фойдаланиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқиш	78
Мажидов Ж.А. Чиқиндиларни қайта ишлаш тизимининг энергия сарф-харажатларини метанни бижғитиш йўли билан таҳлил қилиш	83
O'rinov N.F., Nejmetdinov R.A., Abdullaeva D.X., Axmedov B.I. Tokarlik dastgohlarining elektroavtomatikasini boshqarishni amalga oshirish (revolver kallakni funksional boshqarish bloki misolida)	90
Муродов К.Ж. Механикавий сиқилиш натижасида пайдо бўлган энергияни экологик тоза электр энергияга айлантиришнинг самарали усуллари яратиш	96
ИНФОРМАТИКА ВА АХБОРОТ – КОММУНИКАЦИОН ТИЗИМЛАР	
Ойматов Р.Қ., Исломов Ў.П., Рахматова М.У. Доимий ишловчи сунъий йўлдош тармоқларини яратишнинг аҳамияти	101
Rahmatov S.S., Mustafoyev M.Z. DELPHI dasturida elektron qo'llanma yaratish texnologiyasi	106
Abduraxmonov O.R., Xayitov S.S. Ko'p korpusli bug'latish jarayonini avtomatlashtirish ..	114
Boeva O.X. Ko'p kirishli chiziqli tizimlarda modal boshqarishning to'g'ri algoritmlarni ishlab chiqish	120

Xojiev S., Yuldoshev Sh.S., Savriev Sh.Sh., Atoev F.S. Sezuvchan gazlarning uch o'lovli turbulent oqimini raqamli modellashtirish	130
ОЗИҚ-ОВҚАТ САНОАТИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ	
Ражабов А.Н., Ҳамроқулов Ф., Баракаев Н.Р., Абдуллаев А.Ш. Буғдой дони катталигининг ун маҳсулотларини пишириш хусусиятларига таъсири	139
Davlyatova M.B., Sagdullayev Sh.Sh., Majidov K.X., Amonova Z.M. Shirmoy konditer mahsulotlarini ishlab chiqarishda sabzavot ekstraktlaridan foydalanish	144
Ўктамов Ш.Б., Сатторов К.К., Маждов К.Х. Сирдарё вилояти “Ховос дон маҳсулотлари” АЖ да буғдой донлари кўрсаткичларининг таҳлили	149
Тоиров З., Ахмедов А.А., Мирхонов У.К. Мева ва узумларнинг гигроскопик ва реологик характеристикалари	153
Астанов С.Х., Косимова Г.К., Ахророва М.И., Жўраева Л.И., Якубов М.Э., Шоймардонов Б.Б. Табиий шарбатларнинг фазали ўтишига асосланган озиқ-овқат бўёғи	158
Davlyatova M.B., Sagdullaev Sh.Sh., Majidov K.X., Yuldasheva N.K. O'simlik ekstrakti bilan boyitilgan bug'doy unidan “obi-non” milliy yassi nonining retseptini ishlab chiqish	163
ТЎКИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ	
Қўшимов А.А., Муродов Р.М., Салимов А.М. Пневмотранспортлар ва уларда пахтани стационар узатиш конструкциясининг таҳлили	170
Ташпулатов С.Ш., Муминова У.Т., Черунова И.В., Шарипова С.И., Мухиддинова У.Ф., Курбанова Д.Ф. Кийимда трансформацияланган конструкциянинг эволюцияси	175
Аббазов И.З., Ходжиев М.Т., Алимов О.Н., Бердалиев А.О. Чанг ҳавони тозалаш усулларининг таҳлили асосида янги такомиллаштирилган усулни ишлаб чиқиш	182
Raʼimberdiyeva D.X., Rizametova M.A., Ergasheva R.A. Ayollar mavsumiy zamonaviy paltosini ishlab chiqarishda iste'molchilar talablarini o'rganish va ishlab chiqarishga tadbiq etish	189
Мелибоев У.Х., Парпиев Д.Х. Қўшиб ўраш жараёнида жуфтланган иплар таранглигининг амалий тадқиқи	195
АНИҚ ВА ИЖТИМОЙ-ИҚТИСОДИЙ ФАНЛАР	
Бадриддинов С.Н. Бухоро шаҳри мисолида муҳандислик таҳлил масалалари учун ер рельефининг морфометрик кўрсаткичлари	203
Хасанова Г. Дж., Очилова З. Ш. Таълим тизимида ходимлар билан муносабатларни самарали ташкил этишда бошқарув санъати услублари	207
Садуллаева Д. А. Муҳандис-педагогнинг педагогик маҳоратини шакллантиришнинг илмий-методик асослари	216
Закирова Д. А. Ҳаракат машиналарида ўзгарувчан кесимли қувурлардаги сочилувчан жисмлар технологик жараёнини ҳисоблаш тенгламаси	222
Ахтамов Р.А., Нематов Л. А. Пардали (шторали) гелиоиссиқхона қурилмаси ва унинг конструктив элементларининг геометрик параметрларини аниқлаш	226
Rahmatullayeva F.M., Alimova D.D. Mintaqalarning turistik resurslaridan foydalanish imkoniyatlarini baholashning ahamiyati	232
Makhmudov M.I., Kuziev Z.E., Nurov S.S., Sidikov S.S. Optimal parameters of the concentration of activated sludge in aeration tank-sump systems and methods for their measurement	238
Yamaletdinova A.A., Bakieva Sh. K. The use of modern information and communication technologies in the educational process of the university	244
Сафаров И.И., Рахмонов Б.Р., Тешаев М.Х., Болгаев З.И. Ерости портлаш пайтида бир жинсли тупроқ эркин юзаси ҳаракатининг масаласини ечиш	248
Tillaeva Sh.M. Significance of connotation in literature	254
Мирханова М. А. Абу Наср Форобий асарларида “Илм ал-ҳандаса” хақида маълумотлар	257

Muradova F. R. Virtual laboratories as a perspective information technology in the educational process	262
Ибрагимов И.А., Иномов Д.И. Амударёнинг қуйи оқимида меандрасимон ўзанининг гидроморфологик боғланишлари	267
Қурбонов Х.А., Камолов Л.А. Рақамли технологиялар ва инновацион усуллар ёрдамида аҳолини фавқулодда вазиятларда ҳаракат қилишга тайёрлаш тартибини такомиллаштириш	271
Barakatova D. A. Shukur Holmirzayev hikoyalarida tabiat va inson munosabatlari	275

УДК.591.6

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЙ РЕАГИРУЮЩИХ ГАЗОВ

¹Ходжиев С., ²Йулдошев Ш.С., ²Савриев Ш.Ш., ²Атоев Ф.С.

¹Бухарский государственный университет,

²Бухарский инженерно-технологический институт

Аннотация. В данной работе приводится метод, и эффективный алгоритм расчета исследования истечения трехмерной турбулентной струи реагирующих газов из сопла прямоугольной формы и распространяющейся в спутном (затопленном) потоке воздуха. Для описания течения используются трехмерные параболизированные системы уравнений Навье-Стокса для многокомпонентных химически реагирующих газовых смесей. Для вычисления турбулентной вязкости, предложена модифицированная модель первых моментов турбулентности, учитывающая молекулярный перенос, трехмерность и температурную неоднородность струи, а также используется двухпараметрическая модель турбулентности "k-ε". На основе разработанного метода, исследовано влияние соотношения температуры горючей струи и окислителя, а также градиента давления на конфигурацию диффузионного факела.

Ключевые слова: численное, струи, спутном, турбулент, вязкость, разность.

SEZUVCHAN GAZLARNING UCH O'LCHOVLI TURBULENT OQIMINI RAQAMLI MODELLASHTIRISH

¹Xojiev S., ²Yuldoshev Sh.S., ²Savriev Sh.Sh., ²Atoev F.S.

¹Buxoro davlat universiteti, ²Buxoro muhandislik-texnologiya instituti

Annotatsiya. Ushbu maqolada biz to'rtburchaklar ko'krakdan uchadigan va sun'iy yo'ldosh (suv bosgan) havo oqimida tarqaladigan uch o'lchovli turbulent reaktiv gazning oqishini o'rganish uchun samarali usul va hisoblash algoritmini taqdim etamiz. Oqimni tasvirlash uchun ko'p komponentli kimyoviy reaksiyali gaz aralashmalari uchun Navier-Stokes tenglamalarining uch o'lchovli parabolizlangan tizimlaridan foydalaniladi. Turbulent viskozitani hisoblash uchun reaktivning molekulyar transporti, uch o'lchovliligi va harorat bir-biriga bog'liq emasligini hisobga olgan holda turbulentlikning birinchi lahzalarining modifikatsiyalangan modeli va turbulentlikning ikki parametrliligi "k-ε" modeli qo'llaniladi. Ishlab chiqilgan usul asosida yonuvchan reaktiv va oksidlovchi modda harorati, shuningdek, bosim gradyanining diffuzion olov konfiguratsiyasiga ta'siri o'rganildi.

Tayanch iboralar: sonli, quvur, ochiq muhit, turbulent, qovushqoqlik, chekli ayirma.

NUMERICAL SIMULATION OF THREE-DIMENSIONAL TURBULENT JETS OF REACTING GASES

¹Khodzhev S., ²Yuldoshev Sh.S., ²Savriev Sh.Sh., ²Atoev F.S.

¹Bukhara State University, ²Bukhara Engineering Technological Institute

Annotation. In this paper, a method and an effective algorithm for calculating the study of the outflow of a three-dimensional turbulent jet of reacting gases from a rectangular nozzle and propagating in a cocurrent (flooded) air flow are presented. To describe the flow, three-dimensional parabolized systems of Navier-Stokes equations for multicomponent chemically reacting gas mixtures are used. To calculate the turbulent viscosity, a modified model of the first moments of turbulence is proposed, taking into account molecular transfer, three-dimensionality and temperature inhomogeneity of the jet, and a two-parameter "k-ε" turbulence model is used. On the basis of the developed method, the influence of the ratio of the temperature of the combustible jet and the oxidizer, as well as the pressure gradient on the configuration of the diffusion flame was investigated.

Key words: numerical, jet, satellite, turbulence, viscosity, difference.

Введение. Основным инструментом исследования газодинамики, тепломассообмена турбулентных струйных течений многокомпонентных газовых смесей является математическое моделирование, которое в отличие от физического эксперимента нередко экономически эффективнее и часто является единственно возможным методом исследований. В общем случае моделирование турбулентных струйных течений реагирующих газовых смесей основано на общепринятой системе связанных уравнений в частных производных, выражающих законы сохранения массы, импульса, энергии и вещества [1÷4].

В работах [5÷12] приведены в основном результаты экспериментальных и теоретика - численных расчетов, посвященных исследованиям истечения воздуха, вытекающего из сопла прямоугольной формы.

В тоже время, проблема математического моделирования трехмерных струйных течений реагирующих газовых смесей до настоящего времени остается в механике одной из самых сложных. Сложность рассматриваемой проблемы связана с одной стороны с незавершенностью теории турбулентности, а с другой - специфическими особенностями турбулентных течений при наличии химических реакций.

В данной работе приводятся модифицированные модели для вычисления турбулентной эффективной вязкости, метод расчета и некоторые численные результаты исследования трехмерных турбулентных струй реагирующих газов, истекающих из сопла прямоугольной формы и распространяющихся в затопленном (спутном) потоке воздуха при диффузионном горении.

Постановка задачи. Рассмотрим реагирующую струю, вытекающую из сопла прямоугольной формы и распространяющуюся в спутном (затопленном) потоке воздуха. В качестве начала координат декартовой системы выберем центр начального сечения струи: ось OX , направлен вдоль струи, а оси OY и OZ параллельны сторонам сопла, размером $2a$ и $2b$ соответственно. Предположим, что течение симметрично относительно оси OX и плоскостей YOX , ZOX , которые образуют границу области интегрирования и позволяют рассматривать только одну четверть прямоугольной струи.

Такое течение описывается следующей параболизированной системой уравнений [1,3,4,11,12]:

$$\frac{\partial pu}{\partial x} + \frac{\partial pv}{L\partial y} + \frac{\partial pw}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{L\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{L^2\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right), \quad (2)$$

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{L\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{L\partial y} + \frac{4}{3L^2} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{2}{3L} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{L\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial y} \right), \quad (3)$$

$$\rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{L\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{4}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{L^2\partial y} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{L\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{2\partial}{3L\partial z} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$$\rho u \frac{\partial H}{\partial x} + \rho v \frac{\partial H}{L\partial y} + \rho w \frac{\partial H}{\partial z} = \frac{1}{L^2 Pr_T} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{1}{Pr_T} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial H}{\partial z} \right) + \left(1 - \frac{1}{Pr_T} \right) \left[\frac{\partial}{L^2\partial y} \left(\mu u \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu u \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{L^2\partial y} \left(\mu w \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \left(\frac{4}{3} - \frac{1}{Pr_T} \right) \left[\frac{\partial}{L^2\partial y} \left(\mu v \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu w \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] - \frac{\partial}{L\partial y} \left(\frac{2}{3} \mu v \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{L\partial z} \left(\mu v \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{L\partial y} \left(\mu w \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{L\partial z} \left(\frac{2}{3} \mu w \frac{\partial v}{\partial y} \right), \quad (5)$$

$$\rho u \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \bar{c}}{L\partial y} + \rho w \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \frac{\partial}{L^2 Sc_T \partial y} \left(\mu \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{Sc_T \partial z} \left(\mu \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right), \quad (6)$$

$$H = c_p T + \frac{u^2 + v^2 + w^2}{2} + \sum_{i=1}^N c_i h_i \quad (7)$$

$$P = \rho T \sum_{i=1}^N \frac{c_i}{M_i} \quad (8)$$

Для вычисления эффективной турбулентной вязкости используем модифицированную алгебраическую модель, учитывающую молекулярный перенос, трехмерность и температурную неоднородность струи в виде

$$\mu = \mu_t + a e \rho l^2 \sqrt{\left(\frac{\partial u}{L \partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{L \partial y}\right)^2} \left(\frac{T}{T_2}\right)^\alpha \quad (9)$$

а также подключением уравнения кинетической и диссипации кинетической энергии турбулентности для вычисления турбулентной вязкости ("k-ε" модель), имеющий следующий вид:

$$\rho u \frac{\partial k}{\partial x} + \rho v \frac{\partial k}{L \partial y} + \rho w \frac{\partial k}{\partial z} = \frac{\partial}{L^2 \partial y} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + G - \rho \varepsilon, \quad (10)$$

$$\rho u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \varepsilon}{L \partial y} + \rho w \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial}{L^2 \partial y} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + (C_1 G - C_2 \rho \varepsilon) \frac{\varepsilon}{k}, \quad (11)$$

$$\text{где } G = \mu_T \left[\left(\frac{\partial u}{L \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right], \quad \mu_T = C_\mu \rho k^2 / \varepsilon \quad (12)$$

В уравнениях (1÷12) u, v, w -составляющие скорости по осям x, y, z ; k, ε -кинетической энергии турбулентности и ее диссипации; ρ, P, T -плотность, давление и температура смеси, R -универсальная газовая постоянная; Pr_T, Sc_T -турбулентное число Прандтля и Шмидта; μ -коэффициент динамической эффективной турбулентной вязкости; c_p -теплоемкость смеси при постоянном давлении; c_i, h_i^* -концентрация и теплота образования i -той компоненты; N -число компонентов смеси; $a e$ -эмпирическая постоянная Кармана; α -показатель учитывающий температурную неоднородность струи; $\mu_t = \text{const} \cdot T^{0.64}$ (const-определяется с учетом диаметра столкновения, характеристической температуры, параметра потенциальной функции межмолекулярного взаимодействия, а также интеграла соударений для переноса импульса [13]); l -длина пути перемешивания определяется как $\sqrt{b^2(Ly) + b^2(z)}$; $C_1, C_2, C_\mu, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ -эмпирические константы "k-ε" модели турбулентности. Системы уравнений (1÷12) приведены в безразмерном виде, выбрав в качестве масштаба длин величину $-b$, для скоростей- u_2 (здесь и далее, индекс 2 относится к исходным значениям горючей струи), плотности- ρ_2 , давление- $p_2 u_2^2$, полная энтальпия и теплота образования i -й компоненты- u_2^2 , эффективной турбулентной вязкости- $b \rho_2 u_2^2$, теплоемкости при постоянном давлении- (R/M_1) , температуры- $u_2^2/(R/M_1)$, молекулярных весов- M_1 (M_1 -молекулярный вес окислителя), кинетической энергии турбулентности и ее диссипации соответственно- u_2^2 и u_2^3/b , а также обезразмеренное входное сечение сопла в квадратную область с помощью формулы $y = \bar{y}/L$ ($L = a/b$, \bar{y} -безразмерная координата).

Уравнение концентрации (6) написано в форме консервативной функции Шваба-Зельдовича относительно массовой концентрации i -тых компонентов, позволяющее свести число уравнений с источниками членами до одного, для четырех компонентной смеси [14]. Предполагается, что реакция протекает в зоне соприкосновения горючего с окислителем, т.е. рассматривается диффузионное горение.

Функция \bar{c} на срезе сопла горючего значения равна 1, а в зоне воздуха 0.

Для данной постановки, системы уравнений (1÷9) или (1÷8, 10÷12) можно решать с помощью следующих безразмерных краевых условий:

I. $x = 0$:

$$1) 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1: u=l, v=0, w=0, H=H_2, P=P_2, \bar{c} = 1, (k=k_2, E=E_2)$$

$$2) 1 < y < y_{+\infty}, 1 < z < z_{+\infty}: u=u_1, v=0, w=0, H=H_1, P=P_1, \bar{c} = 0, (k=k_1, E=E_1)$$

II: $x > 0$:

- 1) $z=0, 0 \leq y < y_{+\infty} : w=0, \frac{\partial f}{\partial z} = 0 \quad (f=u, v, H, \bar{c}, k, E) \quad (13)$
- 2) $y=0, 0 \leq z < z_{+\infty} : v=0, \frac{\partial f}{\partial y} = 0 \quad (f=u, v, H, \bar{c}, k, E).$
- 3) $z \rightarrow z_{+\infty}, y \rightarrow y_{+\infty} : u=u_1, v=0, w=0, H=H_1, P=P_1, \bar{c} = 0, k=k_1, E=E_1$

Здесь нижними индексами “1”, “2” и “+∞” отмечены соответственно безразмерные величины окислителя и горючей струи, а также их значения на бесконечности.

Система уравнений (1÷9) частично параболизировано, поэтому их эллиптические эффекты проявляются через поле давления и их эллиптические свойства, связанные с полем движения сохраняются [2÷3]. При истечении дозвуковой свободной струи через сопло прямоугольного сечения в среду, градиентом давления в продольном направлении и малыми изменениями его в поперечной плоскости можно пренебречь, что иногда даёт возможность проведения расчетов заданным давлением [1÷3]

Метод решения. Для численного интегрирования системы уравнений (1÷9) [или (1÷8, 10÷12)] с краевыми условиями (13) используем пространственную двухслойную десятиточечную конечно-разностную схему переменных направлений [8] с точностью до порядка $O(\Delta x, \Delta y^2, \Delta z^2)$.

Большинство решений трехмерных параболизированных уравнений, получено согласно методу с сегрегированные, предложенной в процедуре SIMPLE [2] и несколько отличной формулировкой, которая также приводит к уравнению Пуассона для обновления давления [1].

В данной работе приводится эффективный метод, подобный SIMPLE, прямым методом решается уравнение Пуассона для определения поправки к скоростям. Якобы лишнее уравнение неразрывности используется для расчета дисбаланса массы. В отличие от работы [2,3] поправки приводятся по трем составляющим скоростям; найденные решения u, v, w в новой итерации выражаются как расчетные (u_p, v_p, w_p) и плюс поправочные (u_c, v_c, w_c) в виде

$$u = u_p + u_c, v = v_p + v_c, w = w_p + w_c. \quad (14).$$

Поправочные скорости определяются из уравнения неразрывности введением потенциала Q ,

$$\rho u_c = \frac{\partial Q}{\partial x}, \rho v_c = \frac{\partial Q}{L \partial y}, \rho w_c = \frac{\partial Q}{\partial z}, \quad (15)$$

который является решением уравнения Пуассона:

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{L \partial y^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial z^2} = Q_p \quad (16)$$

где Q_p -источниковый член.

Разностное уравнение (16) можно записать для потенциала Q в каждой точке сетки поперек потока в плоскости по i (нумерация i -сечений по оси Ox , j -по Oy , k -по Oz) и использовать трехдиагональную систему уравнений при следующих обоснованных допущениях:

1) $Q_{i-1,j,k}=0, Q_{i,j,k-1}=0$ -означает, что поправки к скорости в плоскости ($i-1$) и в сечении ($k-1$), в котором сохранение массы уже обеспечено.

2) $Q_{i+1,j,k}=0, Q_{i,j,k+1}=0$ - означает, что поправки к скорости будут равны нулю, как и в плоскости ($i+1$) и в сечении ($k+1$) достигается их сходимость, в этой плоскости и в сечении соответственно.

Коротко опишем алгоритм решения поставленной задачи:

1. Задание первого приближения искомых неизвестных.
2. Решение уравнения (2), для вычисления u_p .
3. Решение уравнения (3), для вычисления v_p с использованием значения u_p .

4. Решение уравнения (4), для вычисления w_p с использованием значений u_p и v_p
5. Решение уравнения (16) для вычисления Q , с учетом допущений 1) и 2)
6. Вычисляются u_c, v_c, w_c из уравнения (15).
7. Расчет u, v, w по формулы (14).
8. Скорректированными значениями скоростей решаются уравнения энергии (5) и уравнения концентрации относительно избыточных концентраций (6) для вычислений H и \bar{c} соответственно и вычисляются из уравнений (10,11) кинетической энергии и диссипации кинетической энергии турбулентности (10÷11) если используется "к-ε" модель турбулентности, а далее вычисляются отдельные компоненты концентрации.
9. Вычисляется температура из соотношения (7) и плотность из 8).
10. Вычисляется вязкость по формуле (9), если используется "к-ε" модель то по формуле (12).

Наращивание расчетной области (расширение границы струи) по оси Oz и Oy проводилось по условию:

$$\max_{i,j,k} |F_{ijk} - F_{BH}| > \delta, \text{ где } F = \{u, H\}, F_{BH} = \{u_1, H_1\} \text{ а } \delta - \text{малое число.}$$

Если это условие выполняется, то количество расчетных точек увеличивается на одну точку.

При в неизобарическом случае, кроме соотношения (14) предположим, что истинное давление выражается как расчетное и плюс поправочное, т.е. в виде

$$P = P_p + \beta P_c \quad (17)$$

где β -коэффициент релаксации.

Далее предлагаемый метод имеет в своей основе, подобно как и в оригинальном подходе Патанкара и Сполдинга [2,3], что поправки к скорости определяются поправками к давлению в соответствии с очень приближенными уравнением движения, но мы используем по всем уравнениям движения, в которых продольные конвективные члены уравновешены членами с давлением. Дискретизируя левые части этих уравнений с учетом предположения, что в плоскости ($i-1$) поправки к скорости равны 0, получим

$$u_c = -\frac{\Delta x \partial P_c}{\rho u \partial x}, \quad v_c = -\frac{\Delta x \partial P_c}{L \rho u \partial x}, \quad w_c = -\frac{\Delta x \partial P_c}{\rho u \partial z}, \quad (18)$$

Учитывая, что поправленные скорости (18) должны удовлетворять уравнению неразрывности, получим уравнение Пуассона относительно P_c , и его можно легко решать в каждом сечении. Если ввести некоторые обоснованные предположения подобные как 1) и 2) и в этом случае алгоритм расчета подобен вышеописанном, лишь с той разницей что после нахождения P_c вычисляются истинное значение давления и поправочные скорости по формулам (14).

Численные результаты. Для проверки работоспособности и достоверности приведенного численного расчета, рассмотрим свободную воздушную струю, истекающую из сопла прямоугольной формы и экспериментально исследованную в работе [6].

Расчёты проводились с переменным шагом по продольной координате и при этом на начальном участке шаг не превышал значения 0,02. Сравнение результатов (Рис 1) с экспериментальными результатами [6] по распределению плотности потока в поперечных сечениях $x=80$ мм (эксперименты отмечены точками) и $x=300$ мм (— -по оси OZ) показывают, что удовлетворительно согласуются. Далее, рассмотрено горение смеси пропано-бутана в воздухе с исходными значениями взаимодействованные из работ [14] соответственно как:

Зона окислителя

$$u_1=0; T_1=300\text{K}; (k=k_1, \varepsilon = \varepsilon_1)$$

$$u_2=61\text{м/с}; T_2=1200\text{ K}; (k=k_1, \varepsilon = \varepsilon_1)$$

$$(C_1)_1=0,232; (C_2)_1=0$$

$$(C_3)_1=0; (C_4)_1=0,768$$

Зона горючего

$$(C_1)_2=0; (C_2)_2=0,12$$

$$(C_3)_2=0; (C_4)_2=0,88$$

$$P_1=P_2=1\text{ атм}; Pr=0.7; Sc=0.7; a:\nu=1:1$$

Здесь внутренние индексы показывают компоненты смеси (1-окислитель, 2-горючее, 3-продукт реакции, 4-инертный газ). Данный процесс при одних и тех же исходных данных струи и окислителя, был численно исследован в разных модификациях алгебраической модели (9) для вычисления эффективной вязкости.

На рис. 1 приводятся сравнения формы диффузионного факела при $\mu_\tau \neq 0$, $\alpha=0,65$ (форма 1); $\mu_\tau=0$, $\alpha=0,65$ (форма 2); $\mu_\tau=0$, $\alpha=0$ (форма 3); $\mu_\tau=0$, $\alpha=0$ с учетом давления (форма 4). Из сравнения формы факелов вытекает, что с учетом переменности и постоянства давления, показывает, что длина факела в первом варианте выше, но на конфигурацию факела существенным образом не влияет. В этих вариантах длина факела $L_\phi/2b$ находится в интервале (24, 25). Необходимо отметить, что длина факела, полученная в рамках эквивалентной задачи теории теплопроводности, приблизительно составляет $L_\phi/2b = 27$.

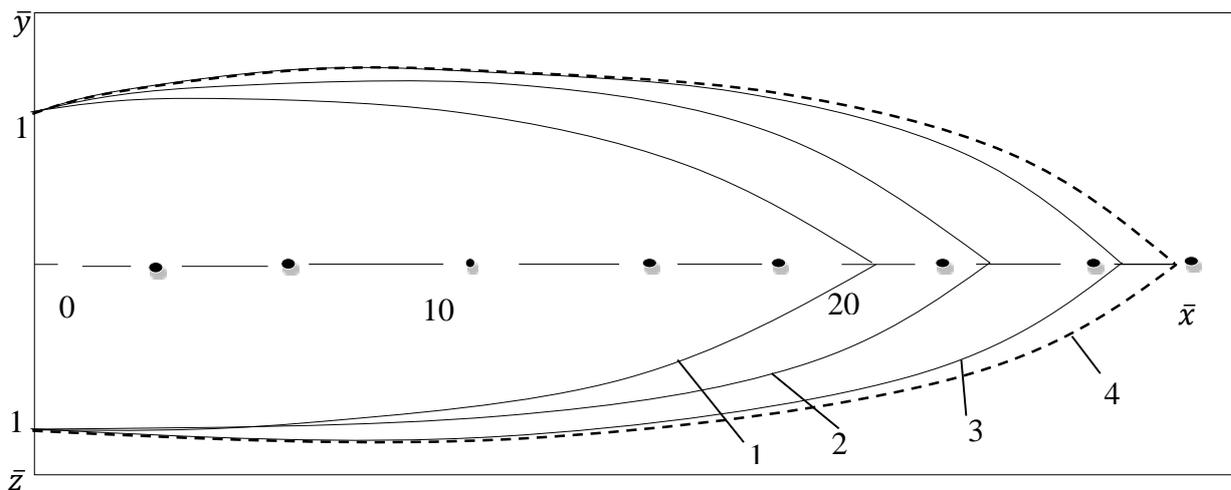


Рис.1. Формы диффузионного факела: 1 – $\mu_\tau=0$, $\alpha=0.65$; $\beta=0$.

$$2 - \mu_\tau = 0, \alpha = 0.65; \beta = 0;$$

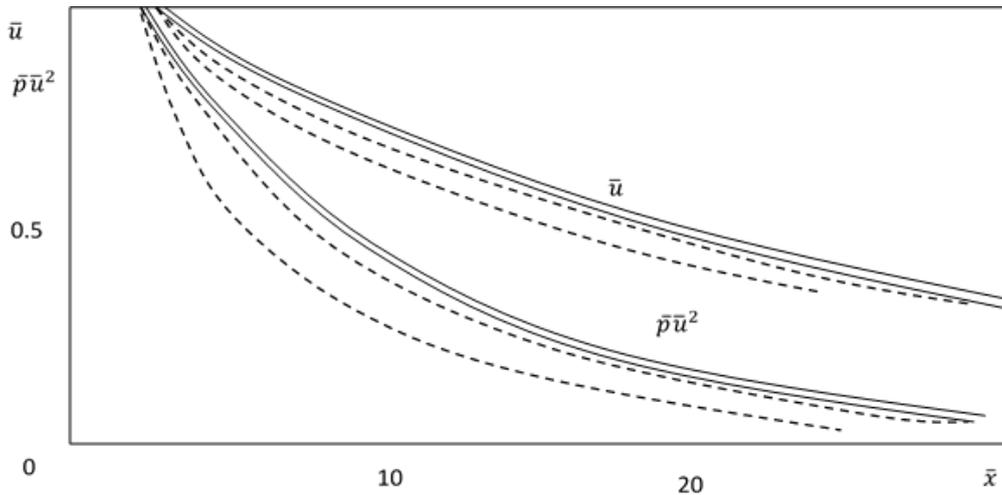
$$3 - \mu_\tau = 0, \alpha = 0, \beta = 0;$$

$$4 - \mu_\tau = 0, \alpha = 0, \beta = 0.4$$

На рис.2 изображены осевое изменение продольной скорости и потока импульса вдоль оси затопленного диффузионного факела при разных исходных значениях температуры горючей струи и окислителя. Судя по осевому изменению этих параметров можно сказать, что их поведение правильно отражает физику явления, т.е. увеличение исходного значения температуры приводит к медленному убыванию осевой скорости потока импульса. При небольших температурах горючей струи ($T_2 < 900\text{ K}$) на фронте пламени температура не превышает 1750 K .

Из профилей кинематического коэффициента турбулентной вязкости, приведенных в разных сечениях струи по осям OY и OZ (рис.3) видно, что максимальное его значение наблюдается во фронте пламени, где температура имеет максимум, и это в свою очередь, приводит к его возрастанию. В вариантах

$\mu_\tau = 0$ и $a = 0$, где существует ядро струи, значение кинематического коэффициента вязкости равно нулю, а с удалением от среза сопла максимальное значение ее



перемещается к оси струи и изменение вдоль осей OY и OZ постепенно сглаживается.

Рис.2. Осевое изменение продольной скорости и потока импульса.

----- $T_2=700$ К; ----- $T_2=900$ К; ----- $T_2=1200$ К; ----- $T_2=500$ К, $T_2=1200$ К.

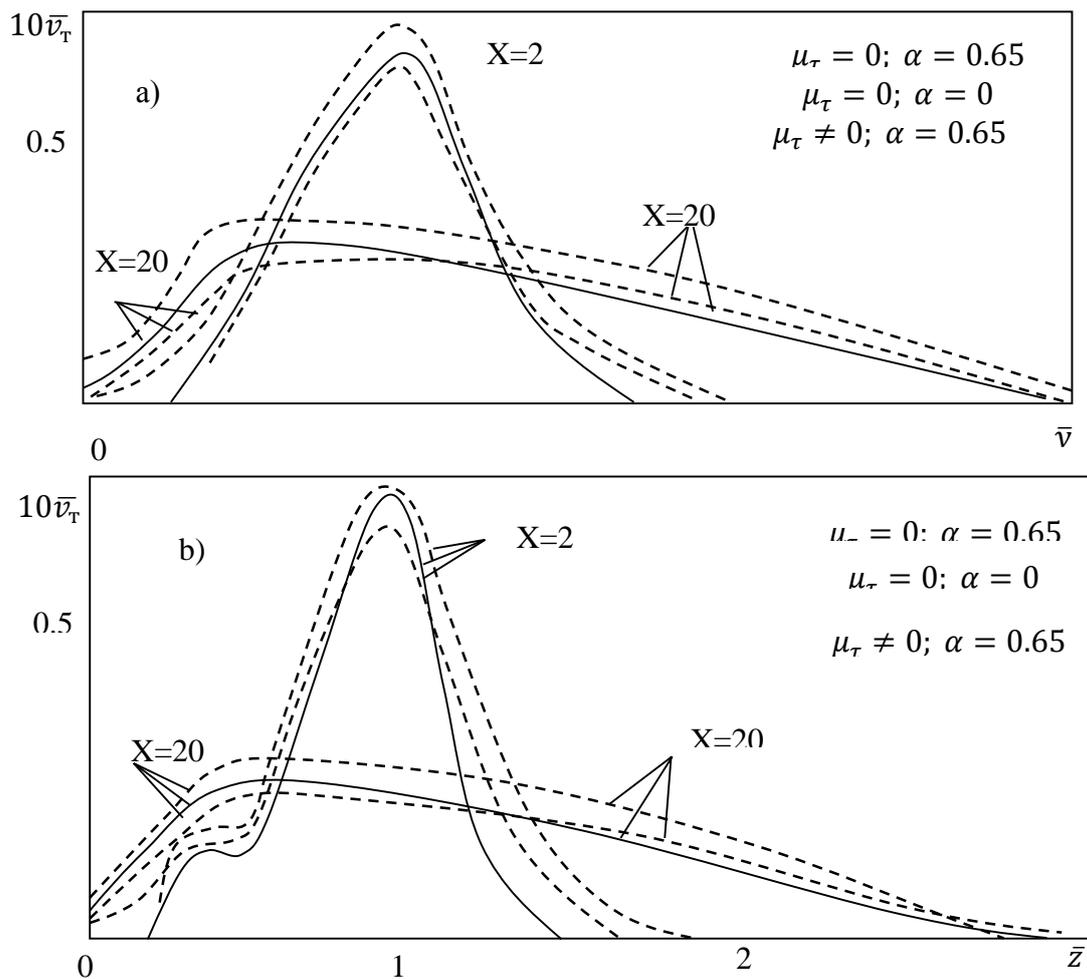


Рис.3. Изменение кинематической вязкости при разных алгебраических моделях коэффициента турбулентности: а) -по оси y ; б) -по оси z .

На развитие турбулентного факела, не только скорости, плотности, концентрации топлива и окислителя, существенную роль играет и их температура.

Возрастание температуры топлива от 700 K до 1200 K приводит кувеличению длины диффузионного факела от $L_\phi/2b=24$ да $26,5$, при температуре окислителя 300 K , и более нагретом окислителе ($T_1=500\text{ K}$, $T_2=1200\text{ K}$) безразмерная длина факела доходит до $27,5$.

На рис.4 приведены сравнения профилей продольной скорости по оси OY в разных сечениях в продольной направлении; в рамках алгебраической и "k-ε" модели турбулентности. Незначительно отличающиеся результаты были получены при начальных значениях кинетической энергии турбулентности составляющей 1% от исходной скорости модифицированных эмпирических константах "k-ε" модели турбулентности $C_1=1,3$, $C_2=1,5$ вместо $C_1=1,4$, $C_2=1,92$.

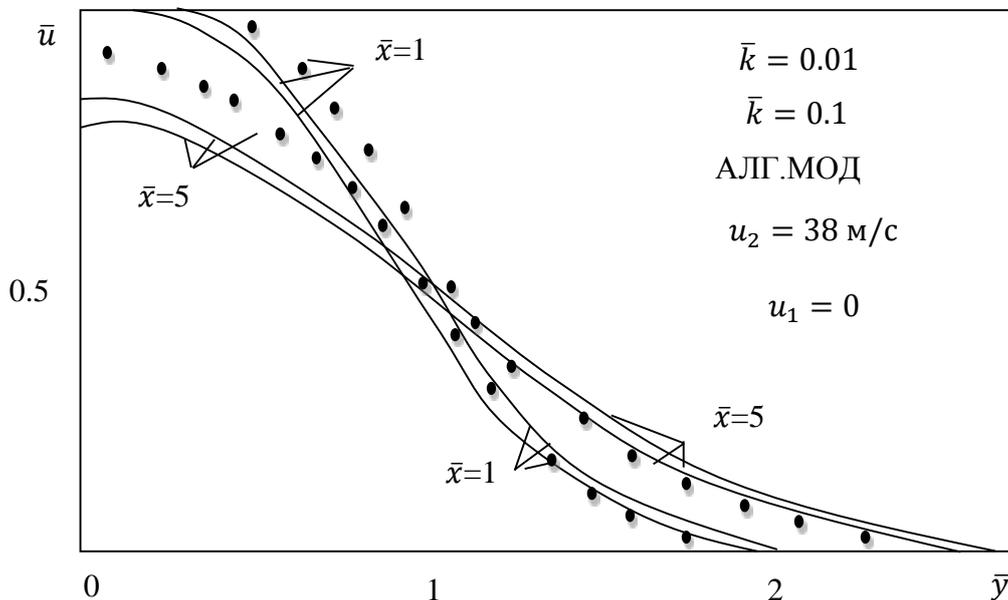


Рис.4. Сравнение результатов в рамках алгебраической и "k-ε" модели турбулентности

Переменность давления заметно влияет на профили скорости и температуры в начальных участках струи, а при удалении от среза сопла влияние давления можно считать незначительным, так полученные результаты утверждают, что в свободных струях роль градиента давления на параметры струи и факела незначительна. Нарастание границы смещения в плоскостях XOY и XOZ в начальных участках во всех расчетах различны, а с удалением от среза на 4-5 калибров форма струи и факела становится круглой для сопла с квадратным сечением.

Литература

1. Оран Э., Борис Дж. Численное моделирование реагирующих потоков: Пер.с англ.- М.: Мир, 1990. -660 с.
2. Patankar S.V., Spolding D.B. Heat and mass transfer in boundary layers.-London: Morgan-Grampion, 1967//перевод: Патанкар С., Сполдинг Д. Тепло-и массообмен в пограничных слоях.-М.: Энергия. 1971, 127 с.

3. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В. 2-х Т.-М; Мир, 1990. Т-2. 792-384 с.
4. Ходжиев С. Исследование трехмерных турбулентных струи реагирующего газом, истекающего в спутном (затопленном) потоке в воздухе при диффузном горении// Узб. Журнал. Проблемы механики. Тошкент, Фан, №2,1993, с. 28-33.
5. Туркус В.А. Структура воздушного приточного факела, выходящего из прямоугольного отверстия. Отопление и вентиляции. 1933. №5 (in Russian).
6. Палатник И. Б., Темирбаев Д. Ж. О распространении свободных турбулентных струй, вытекающих из насадки прямоугольной формы// Проблемы теплоэнергетики и теплофизики. Изд.Каз ССР. Алма-Ата, 1964, вып. 1, с. 18-28.
7. Сфорца, Стейгер, Трентакосте. Исследование трехмерных вязких струй// Ракетная техника и космонавтика. 1966, №5, с. 42-50.
8. Ларюшкин М.А. Некоторые закономерности влияния начального уровня турбулентности на развитие прямоугольной струи. Тр. Московского энергетического института, 1981, №524, с. 26-30.
9. Кузов К. Аэродинамика струй, истекающих из прямоугольных сопел// Промышленная теплотехника, том 12, №4, 1990, с. 38-44.
10. Nikjoo M., Karki K.C., Mongia H.C. Calculation of turbulent three-dimensional jet-induced flow in rectangular enclosures//AIAA pap-1990, n 0684-pl-10. РФЖ 1991, №1,-Б.144
11. Дж. Мак-Гирк, В. Роди. Расчёт трёхмерных турбулентных свободных струй // Турбулентные сдвиговые течения. -М; Машиностроение, 1982. Т.1, С. 72- 88.
12. Агулыков А., Джаугаштин К.Е., Ярин Л. Исследование структуры трехмерных турбулентных струй// Изд.АН СССР, МЖГ, 1975, №6, с. 13-21.
13. Лапин Ю.В., Стрелец М.Х. Внутреннее течение газовых смесей. -М.: Наука, 1989, - 368 с.
14. Шваб А.В. Связь между температурными и скоростными моделями газового факела// Сб. Исследование процессов горения натурального топлива под ред.Г.Ф. Кнорре, Госэнергоиздат, 1948.
15. Вулис Л. А., Ярин Л. П. Аэродинамика факела.-Л: Энергия, 1978.-216 с.