

УДК 536.46:532.517.4

С.И. Исатаев, М.С. Исатаев, Б.К. Зейнегабиден, Н.Б. Есім
 ЭТФФЗИ, аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,
 Алматы қ, Қазақстан;

ТУРБУЛЕНТТІ АҒЫНДАҒЫ АҒЫСТЫҢ САПАЛЫ СУРЕТІ

Аннотация. Бұл мақалада нашар орай ағатын дененің ізіндегі заңдылықтар мен орташаланған турбуленттік қозғалыс, әсіресе денеге жақын аймақтағы ағыс зерттелінген. Сонымен қатар, дененің жіңішке ағын арқылы орай ағылуы мен осі симметриялы есеп қарастырылады.

Маңызды сөздер: ағын жылдамдығы, нашар орай ағылатын дене, турбуленттік қозғалыс, нольдік жылдамдық, кері токтар аймағы.

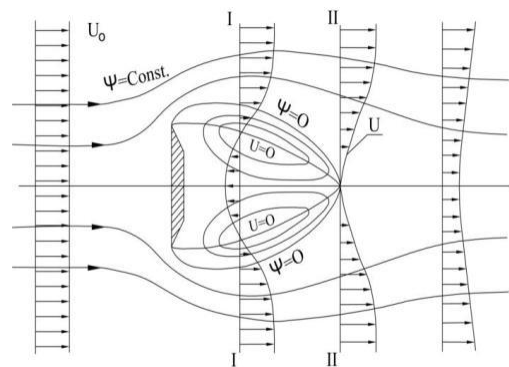
Кіріспе

Шекаралық қабатпен айнала ағатын дене беткі қабатынан жұлыну арқылы жасалған шырмалған жіңішке ағыстағы сұйықтықтың қозғалысы, ережеге сай, турбулентті. Re санының аз мәндері кезінде де қатты дененің артында ламинарлы құйынды қабат болған кезде, сұйықтықтың қозғалысы денеден бірқатар ара қашықтықта ағыс бойымен төмен қарай турбулентті болады. Re санының мәндері 10^4 ретімен және одан астам үлкен жиілікпен жүзеге асатын нашар айнала ағатын дененің беткі қабатынан жеке құйындардың жұлқынуы сұйықтықтың өзекті қозғалысының жүйесіз сипатына әкеледі. Іздің бүкіл аймағында бірінші рет қарағанда айтарлықтай күрделі, ретсіз турбулентті қозғалыс орнайды. Мәлім болғандай, жылдамдықтың инерциясыз әлшеуіші (мысалы, термометр) бұл жағдайда биіктігі бойынша және ағынның кез-келген нүктесінде қозғалыс жылдамдығының бағытымен үздіксіз хаостық өзгерісті көрсетеді.

Нашар айнала ағатын дененің ізіндегі сұйықтықтың турбулентті ортандырылған қозғалысын қиманың екі сипатты аймақтарына бөлуге болады: денеге тікелей жақын жерде және одан алыс қашықтықта (сурет 1).

Әдебиетте ұзақ уақыт бойы құйындық жолдың орныққан суреті сақталмайтын болғандықтан $Re = 10^4$ артық болған кезде санының мәндерінде соңғысына тікелей жақындықтағы нашар айнала ағатын дененің ізіндегі сұйықтықтың қозғалысындағы

қандай да бір заңдылықтың болмайтыны көрсетіліп келді.



Сурет 1. Жиіктері өткір пластинаның артындағы ортандырылған турбулентті қозғалыстың сызбасы

Алайда соңғы 10 жылдағы зерттеу нәтижелері көрсетіп отырғандай және т.б. нашар айнала ағатын денедегі іздің тікелей азықтық аймағын тұйық айналымдық қозғалыстың аймағы орнатылады. Осы тұста ось тұсындағы аймақта сұйықтық дене бағытында, яғни, қатпарлы ағынға қарсы қозғалады. Шектеулі беткі қабаттың жылдамдықтың ұзына бойы компонентасы нәлге тең болғандағы ағысының басқа бөлігінің сыртында сұйықтық салмақты ағын бағытымен қозғалады. Сұйықтықтың тұйықталған айналымдық ағысының аймағы іздің осінде қиылысатын тоқтың $\psi = 0$ нәлдік сызықтарымен шектелген. Ортандырылған қозғалыс тоғы сызығының осы аймағының ішінде іздің осіне қатысты симметриялы орналасқан тұйықталған қисықтарды көрсетеді.

Пластинаның айнала ағуы сызба түрінде кәрсетілген 4 суретінде іздің әр түрлі қималарындағы жылдамдық профилдері кәрсетілген. Тұйық айналымдық ағынның аймағы қиылысатын 1 – 1 қимасында,

нәлдік $U = 0$ жылдамдықтың сызықтарымен шектелген аймағында сұйықтықтың жылдамдықтары қатпарлы ағын қозғалысына қарсы бағытталған. Ағыс бойымен төмен қарай денеден жұлынумен кері ағыс аймағы біртіндеп тарылады және нәлдік жылдамдық сызығының денесінен кейбір ара қашықтықта, сонымен қатар тоқтың нәлдік сызықтары, іздің осінде қабысады. Бұл қимадағы остегі ағынның орталандырылған қозғалысының жылдамдығы нәлге тең (I – II қима), ал басқа барлық нүктелерде ол ағыс бойымен төмен қарай бағытталған. Айналымдық қозғалыс аймағының сыртқы шекарасы бойынша қозғалыс саны мен салмағының үздіксіз турбулентті алмасуы жүзеге асатынын атап айту қажет. Осылайша, құрамында сұйықтықтың бірқалыпты салмағы ғана бар жабық, ағыстың қалған аймағынан оқшауланған ағын туралы кәрініс тек қана орталандырылған қозғалысқа жатады.

Денеден әрі қарай алынған кезде із осіндегі жылдамдықтың мәні қатпарлы салмақты ағын жылдамдығына жақындай келе артады. Турбулентті іздің ені де денеден алшақтаған сайын кеңейе түседі. Кәптеген эксперименталды және теориялық зерттеулердің нәтижелері кәрсетіп отырғандай, денеден алшақ 100 калибр және одан да астам қашықтықтағы ізде жүзеге асырылатын процесстер тұрақталған заңды сипатқа ие болады. Іздің осы аймағындағы сұйықтықтың қозғалысы «автомодельді» болады, яғни, геометриялыққа ұқсас денелер үшін іздің әлшемсіз енінің салыстырмалы жылдамдығының таралуы дененің абсолютті әлшемдері мен қатпарланған ағын жылдамдығына тәуелді емес.

Л.А.Вулис Re саны мен 10^4 реті және одан да кәп мәндерінде орталанған турбулентті қозғалыс тек қана денеден алыста болғанда ғана емес, сонымен қатар денеге тікелей жақындықта да тұрақталған заңды сипатқа ие болады. Дамыған турбулентті қозғалыстың басқа жағдайларындағыдай, нашар айнала ағатын

дене жанындағы және іздегі ағыстың бейнесі «автомодельді» болады. Геометриялыққа ұқсас денелер үшін ағынның сәйкес нүктелеріндегі жылдамдық векторының бағыты, жылдамдықтардың салыстырмалы профилдері Re санының мәндерінен тәуелсіз бола бастайды.

Осы сұрақты құйындардың олқылығының жиілігі туралы белгілі ақпараттарға сүйене отырып, толығырақ қарастырайық.

Белгілі болғандай, нашар айнала ағатын дененің ізіндегі қозғалыс жылдамдығының пульсациясы Герц тәртібінің жиілігімен жүзеге асырылатын қарапайым ұсақ масштабты турбулентті пульсациялардан және нашар айнала ағатын дененің қабырғаларынан құйындардың олқылығымен шартталған ірі масштабтағы пульсациялардан тұрады. Ірі масштабтағы жылдамдық пульсациялардың тербелісінің амплитудалары қатпарлы салмақты ағын қозғалысының орталандырылған жылдамдығының биіктігінен 70–80 пайыздық мәніне жете алатын жағдайда болған кезде, ұсақ масштабтағы пульсациялардың тербелісінің амплитудалары 4 – 5 пайыздан аспайды. Ірі масштабты пульсациялардың жиілігі, яғни, құйындардың денеден жұлыну жиілігі, дене әлшемі мен қатпарлы ағын жылдамдығына байланысты айтарлықтай мәндерде (шамамен, 10^{-1} Гц-тен 10^5 Гц-ке дейін) өзгере алады. Расында да, Re санының мәні аймағында, шамамен 10^3 -тен 10^5 -ке дейін цилиндр денелер үшін (кәлденең айнала ағатын пластина типтес жиектері әткір денелер үшін 10^3 -тен 10^6 -ға дейін Re мәндері болғанда) Струхальге тән $S = \frac{ND}{U^0}$

саны тұрақты болып қалатыны тәжірибеден белгілі. Осы тұста U құйындардың жұлқыну жиілігі U_0 қатпарлы ағысының жылдамдығына тура пропорционал және D ағатын денеге тән әлшемге кері пропорционал (цилиндр диаметріне, немесе, сәйкесінше, пластина еніне) өзгереді. Осыдан келіп әр түрлі денелер үшін Re санының мәні тұрақты болғанда құйындардың жұлқыну жиілігі әр түрлі бола алады. Осыны мысалмен түсіндірейік.

Көз алдымызға $D = 2$ см болатын, $U_0 = 75$ м/сек болатын ауа ағынымен айнала ағатын дөңгелек цилиндрді елестетейік. Re мәнінің аймағындағы S Струхаль критерийі $10^3 - 3 \cdot 10^5$ ретімен тұрақты және цилиндр үшін 0.2 тең. Құйындар қарастырылып отырған цилиндр қабырғаларынан $N = 750$ Гц жиілігімен жұлқынып аынады. Алайда, $D = 100$ см және $U_0 = 1.5$ м/сек болған кезде құйынмен цилиндрден жұлқыну жиілігі $N = 0.3$ Гц болады. Екі жағдайда да $Re = 100000$

Ағын жылдамдығын қарапайым пьезометрикалық Пито құбырымен әлшеген кезде, немесе Прандтль құбырымен әлшегенде, монометр бірінші мысалда ағыстың орташа жылдамдығына сәйкес келетін қысымды көрсетеді. Екінші жағдайда монометр көрсеткіші құйындармен жұлқыну жиілігіне тең, жиі болып тұратын аралықта тербеліп тұрады. Сондықтан дененің артындағы орталықтандырылған қозғалысты құйындарды он есеге дейін арттыратын уақыт мерзімі аралығынның

артындағы: $\tau = N^{-1}$ сек ізде орталандыру керек. Орталандырылған қозғалыс

жылдамдығын $\tau_{ин}$ тұрақты инерциясы:

$$\tau_{ин} = 50 \frac{D}{U_0} \quad \text{шартын}$$

қанағаттандыратын аспаппен әлшеген жән.

Осы жұмыста орталандырылған қозғалыс ретінде нашар айнала ағатын дененің қабырғаларынан құйындардың жұлқыну мерзімімен салыстырғанда айтарлықтай үлкен уақыт аралығына орталандырылған қозғалыс мензеліп отыр. Денеден алынумен жұлынатын құйындар ағыс бойымен төмен қарай таралатынын және шамамен калибр және одан ірі масштабтағы ара қашықтықта пульсациялар ұсақ масштабты турбулентті пульсацияларға айнала келе ғайып болатынын атап айту керек.

Әр түрлі әлшемдік әдісінен нашар айнала ағатын дененің артындағы (1 суретті қараңыз) кері ағыс аймағының L ұзындығын: $L \sim U_0 \tau$ түрінде жазыла алады, мұндағы U_0 - сұйықтықтың қатпарлы

ағысының жылдамдығы, τ - дененің артындағы іздегі сұйықтық қозғалысымен байланысты сипатқа тән уақыты. Нашар ағатын денелер үшін осындай уақыт болып олардың беткі қабаттарынан құйындардың жұлқыну уақыты бола алады: $\tau = N^{-1}$. Бірақ көрсетіліп қойғандай, $10^3 - 10^5$ ретіндегі Re санының мәні аймағында Струхаль саны

$Sh = Const$ және $N \sim \frac{U_0}{D}$. Осыдан келе, $L = D$ яғни, кері ағыстардың аймағының салыстырмалы ұзындығы $10^3 - 10^5$ ретіндегі Re санының мәні аймағында, мұндағы $Sh = Const$ болған кезде тұрақты. Бұл есептеулер нашар айнала ағатын дененің артындағы турбулентті ізде және дамыған турбулентті қозғалыс кезінде денеге тікелей жақындықта орталандырылған ағыстың суретінің автоматодельділігін растайды. Бір қалыпты қоршаулары бар нашар айнала ағатын дененің ізіндегі қозғалыстың автоматодельділігі айнала әтудің нағыз дағдарысы басталғанға дейін сақталады.

Айнала ағу дағдарысы басталған кезде Струхаль саны Re санының әрі қарайғы артуымен күрт артады. Бұл нашар айнала ағатын денелердің артындағы кері тоқтар аймағының салыстырмалы әлшемдерінің айтарлықтай азаюына әкеледі. Жиектері өткір нашар айнала ағатын денелерде Re саны шекаралық қабаттың жұлқыну орнының жағдайына әсер етпейді. Осылайша, осындай денелердің артынан орталанған турбулентті ағыс ағыстың жуық дыбыстық жылдамдықтарына дейін әрдайым автоматодельді.

Әдебиет тізімі

1 Абрамович Г.Н. Турбулентные струи в потоке жидкости./Труды совещания по прикладной газовой динамике // Изд. АН КазССР.- Алма-Ата.-1959. стр.25-31.

2 Вулис Л.А. О турбулентном следе за телом./Ученные записки казахского государственного университета им. С.М. Кирова. (Серии физико – математическая). //Т.23, ммп.4. Алма – Ата .- стр.17-33.

5 Исатаев С.И – О турбулентном следе за плохо обтекаемым телом./Труды

совещания по прикладной газовой динамике. //Изд. АН КазССР.- Алма – Ата.- 1959.-стр.19-32.

6 Озибаева А.К., Ильясова Г.О., Сейдулла Ж. Исследование обтекания тел

струйным потоком//Международная конференция студентов и молодых ученых «Фараби әлемі».-Алматы.-2014.–С.91

С.И. Исатаев, М.С. Исатаев, Б.К. Зейнегабиден, Н.Б. Есім
Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби
Казахстан, г. Алматы
baioka777@mail.ru

КАЧЕСТВЕННАЯ КАРТИНА ТЕЧЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ

Аннотация: В представленной статье исследованы движение жидкости в следе за плохо обтекаемым телом и изучение закономерностей осредненного турбулентного движения в следе за плохо обтекаемым телом в непосредственной близости к телу. В том числе рассматривается струйное обтекание плохо обтекаемых тел и осе симметричная задача.

Ключевые слова: скорость потока, плохо обтекаемое тело, турбулентное движение, нулевая скорость, нулевая линия тока.

С.И. Исатаев, М.С. Исатаев, Б.К. Зейнегабиден, Н.Б. Есім аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ, Қазақстан;
baioka777@mail.ru

ТУРБУЛЕНТТІ АҒЫНДАҒЫ АҒЫСТЫҢ САПАЛЫ СУРЕТІ

Аннотация: Бұл мақалада нашар орай ағатын дененің ізіндегі заңдылықтар мен орташаланған турбуленттік қозғалыс, әсіресе денеге жақын аймақтағы ағыс зерттелінген. Сонымен қатар, дененің жіңішке ағын арқылы орай ағылуы мен осі симметриялы есеп қарастырылады.

Маңызды сөздер: ағын жылдамдығы, нашар орай ағылатын дене, турбуленттік қозғалыс, нольдік жылдамдық, кері тоқтар аймағы.

S.I. Isatayev, M.S. Isatayev, B.K. Zeinegabiden, N.B. Esim
Kazakh National University after named Al-Farabi, Kazakhstan, Almaty
baioka777@mail.ru

QUALITATIVE PICTURE OF THE FLOW IN A TURBULENT FLOW

Abstract. In this article we have investigated the motion of the fluid in the wake behind a bluff body and the study of patterns averaged turbulent flow in the wake behind a bluff body in close proximity to the body. It includes the jet flow poorly streamlined bodies and axially symmetrical task.

Keywords: flow rate, poorly streamlined body, turbulent motion, zero speed, zero line current.