

Исатаев М.С.,  
Сүйінжанова Ұ.П.,  
Исмаилов А.Х., Сейдулла Ж.Қ.,  
Ильясова Г.О.

### Конустік беттік ағыншаның жылуалмасуы

Конус бойымен таралатын бірігетін және айырылысатын турбуленттік жартылай шектелген ағыншалардағы жылуалмасу коэффициенттерінің конустың ашылу бұрышына, көлденең қисық параметріне және Рейнольдс санына тигізетін әсерін эксперименталдық түрде зерттеу. Жұмыстың нәтижесінде жергілікті жылу беру коэффициентін зерттеу эксперименттері конустың ашылым  $\omega = 15,0^\circ$ ;  $90,0^\circ$  бұрыштарында өткізілді. Ұзару параметрі  $\lambda = 2,04$ ;  $4,77$  және  $9,85$  құраған тік бұрышты шыға беріс кесіндісі бар соплодан ағатын ауаның малынған ағыншалары зерттелді. Эксперименттер барысында қабырғаға жақын жергілікті жылу беру коэффициентінің көлденең қисықтың параметріне, конустың ашылу бұрышына, ағынның ағу бағытына, бастапқы және соңғы Рейнольдс санына әсері байқалды. Графиктерді салыстыра келе жергілікті жылу беру коэффициенті айырылысатын конуста биіктігі  $\omega = 15,0^\circ$  калибрі  $10-14$  аралығында алдымен өсіп, кейіннен соплодан бөлектеп, бірқалыпты кемітіні байқалды.

**Түйін сөздер:** ағын, ламинар ағыс, турбуленттік ағыс, жылуалмасуы, Рейнольдс саны,  $Sh$  Струхаль саны,  $Nu$  Нуссельт саны.

Isatayev M.S.,  
Cuinzhanova U.P.,  
Ismailov A.H., Sejdulla Zh.K.,  
Ilyasova G.O.

### Heat transfer conewall jet

The purpose of this work to investigate experimentally the effect of the Reynolds number, the parameter of the transverse curvature of the cone and the opening angle on local heat transfer coefficients in the divergent and convergent turbulent semi-infinite jet, spreading over the surface of the cone. Experimental study of heat transfer coefficient were carried out at the local angles of the cone opening  $\omega = 15,00$ ;  $90,00$ . Studied jet parameters resulting from the nozzle with a protruding rectangular segment with the parameters elongation  $\lambda = 2,04$ ;  $4,77$  and  $9,85$ . During the experiments were considered the influence of the local heat transfer coefficient near the wall on the setting of the transverse curvature in the direction of the jet on the initial and final number of Reynolds. The results showed that in the diverging jet ( $\omega = 15,00$ ) at a height between  $10-14$  caliber growth is observed in the beginning, and then a uniform decrease local heat transfer coefficient.

**Key words:** stream, laminar current, turbulent flow, heat exchange, Reynolds's number or Reynolds's criterion of  $Re$ , Strukhal's number of  $Sh$ , Nusselt's number of  $Nu$ .

Исатаев М.С.,  
Сүйінжанова Ұ.П.,  
Исмаилов А.Х., Сейдулла Ж.Қ.,  
Ильясова Г.

### Теплообмен конической пристенной струи

Цель данной работы экспериментально исследовать влияния числа Рейнольдса, параметра поперечной кривизны и угла раскрытия конуса на местные коэффициенты теплообмена в расходящейся и сходящейся турбулентной полуограниченной струе, распространяющейся по поверхности конуса. Экспериментальные исследования коэффициента местной теплоотдачи проводились при углах раскрытия конуса  $\omega = 15,0^\circ$ ;  $90,0^\circ$ . Исследованы параметры струи вытекающей из сопла с выступающим прямоугольным отрезком при параметрах удлинения  $\lambda = 2,04$ ;  $4,77$  и  $9,85$ . Во время экспериментов были рассмотрены влияния местного коэффициента теплообмена вблизи стенки на параметр поперечной кривизны, на направление струи, на начальное и конечное число Рейнольдса. Результаты показали, что в расходящейся струе ( $\omega = 15,0^\circ$ ) на высоте между  $10-14$  калибрами наблюдается в начале рост, а затем равномерное уменьшение коэффициента местной теплоотдачи.

**Ключевые слова:** поток, ламинарное течение, турбулентное течение, теплообмен, число Рейнольдса или критерий Рейнольдса  $Re$ , число Струхала  $Sh$ , число Нуссельта  $Nu$ .

## **КОНУСТИК БЕТТІК АҒЫНШАНЫҢ ЖЫЛУАЛМАСУЫ**

### **Кіріспе**

Әдетте қабырға маңындағы ағыншаларды теориялық есептеу кезінде ағыншаның сыртқы шекара қабатында және қабырға маңында жылдамдық профилдері беріледі. Өрістердің орташа жылдамдықта өлшенген нәтижелері мен жартылай шектелген және радиалдық ағыншалардың бастапқы, өтпелі және негізгі бөліктегі ағыстарының пульсациялық түрде, ағынша ағысының бағытын, конус бұрышын, Рейнольдс санын және ағыншаның жылуалмасуын көрсетеді. Құрылғылар, осындай типті ағыншалардың динамикалық, жылулық және пульсациялық сипаттарын өлшеу ерекшеліктеріне қарай отырып, жиналды. Құрылғылар заманауи аэродинамикалық эксперименттің барлық талаптарына жауап береді және келесі сипаттарға ие балады:

- 1) соплодан шыға берісте ағынша жылдамдығының 3-тен 40м/с дейінгі және ағынша температурасының бөлме температурасынан 60°C дейінгі ақырын өзгеру мүмкіндігі.
- 2) арнайы қабылданған шараларға байланысты вибротұрақтылығы.
- 3) турбуленттілік және ламинарлы деңгейі мен сопло кесіндісіндегі тік бұрыш профиліне жақын жылдамдық пен температура деңгейінің төмендігі.

### **Эксперименттік нәтижелер**

Қысым мен жылдамдықтың орташа мәндерін өлшеу-еркін ағыншадағы статикалық қысым қоршаған орта қысымынан ерекшеленбейтіні белгілі. Ағыншадағы статикалық қысым қоршаған орта қысымынан жақын орналасқан шеттік пластиналар арасына жалпақ ағыншаның таралуы кезінде айқын ерекшеленуі мүмкін.

Сондықтан шеттік пластиналар арасындағы үлкен арақашықтық кезіндегі еркін үш өлшемді және жазық ағыншадағы өлшеулер кезінде жылдамдық өлшемдері, кіре беріс тесігінің диаметрі 0,5мм және сыртқы диаметрі 0,8 мм дөңгелек кесіндінің толық қарқыны бар, Пито түтікшесі арқылы жүргізілді. Соплоның шыға беріс кесіндісіне жақын және шеттік қабырғаларға

жақын шекті қабаттардағы өлшемдер үшін, тот баспайтын темірлі жұқа қабатты түтікшеден жасалған тар мұрыншасы бар, Пито микро-түтікшесі қолданылды. Микро-түтікше қабырғасының қалыңдығы 0,05 мм-ге тең. Түтікше мұрыншасының ішкі өлшемдері 0,20 мм.  $\times$  1,10 мм. Өлшеу кезінде аэродинамикалық және жылу физикалық эксперименттерде қолданылатын инструменттер, приборлар, аппаратуралар және өлшеу әдістері қолданылғандықтан біз тек біздің қондырғының ерекшеліктерімен ғана байланысты қателік нәтижелерін келтіру меншектелеміз.

Берілген есепке аналитикалық болжам жасай отырып, мынадай нәтиже аламыз: көлденең қисық параметріне бірдей әсер ете отыра, конустың бұрышы мен ағыншаның ағысының бағытының заңдылықтары аэродинамика мен жылуалмасуда толығымен зерттелмеген. Бұл жұмыстарда ағыншаның жазық пластинада, цилиндрде және айырылысатын конуста ағуы, бәріне ортақ шешім болатын заңдылықты талап етеді.

Практикада бірігетін жартылай шектелген ағыншалардың аэродинамикасы мен жылуалмасуын зерттеуге материалдар жоқ. Ағатын жазықтық геометриясының әсері ағыншаның ағысының турбуленттік бағыты мен құйындық құрылымда өте нашар зерттелген. Бұдан мынадай нәтижелер туады:

1. Көлденең қисықтың параметрін, конус бұрышын және ағынша ағысы бағытының динамикалық сипаттамасын түбегейлі зерттейтін, әрі жылуалмасудың бастапқы, өтпелі және негізгі бөліктерінің жартылай шектелген ағыншасын конустық, радиалдық жазықтық бойымен таралуын үлкен диапазонда аты өзгеретін параметрлер мен бастапқы Рейнольдс санын зерттейтін эксперименттік қондырғы жасау керек.

2. Ағыншаның бастапқы қалыңдығына әсерін, бұрыштық ашылым мен ағынша бағытының шекаралық шартта қалыптасуына, жылдамдық пульсациясына, жиілігіне және бастапқы, өтпелі және негізгі бөліктеріне айырылысатын және бірігетін ағыншалардың интенсивті дискретті құйындарда пайда болуы жайлы толық сапалық және сандық нәтижелер алу.

3. Акустикалық өріске әсер ете отыра, турбуленттіктің пайда болу мүмкіндігін зерттеу.

4. Көлденең қисықтың параметрін, конус бұрышын және ағынша ағыс бағытын конустық және радиалдық ағыншада үлкен диапазонда параметр қисығы  $SR=b/R$ , Рейнольдс санын және конус бұрышын жылуалмасу заңдылықтарына сүйене отырып зерттеу.

5. Берілген эксперименталдық нәтижелерге байланысты жартылай эмпирикалық формулалар есептеулерін қолдана отырып, аэродинамика мен жылуалмасудың сипаттамаларын, көлденең қисыққа әсерін, ашылу бұрышын және ағынша ағысының бағытын практикада қолдана білу.

Сонымен қатар, барлық қабырғаға жуық ағыншаның алдыңғы зерттеулерінен жазық ағыншалы жылу алмасу қарқыны қима бойынша қисық сызықты беттегі қабырғаға жуық ағыншаның максималды жылдамдығының мәнімен анықталатындығы көрсетілді. Жылу берілу-дің ұлғаюы немесе азаюы туралы  $Re_{mx}$  санының бірдей мән қабылдаған кезде ғана қарастыруға болады.

Тегіс конустың бірқалыпты қызатындығынан туатын техникалық қиыншылықтар, ағыншалардың барлық конус бойымен орналасқан жылулық өлшеуді сипаттайтын тәжірибелерін ең аз беттікте жасатқызды. Биіктік бұрышы  $\omega=15^\circ$  жұмыстық конус, жылу өткізгіштік коэффициенті төмен ағаштан жасалынады. Конусты қыздыру үшін, оның негіз орамдарын диаметрі 0,3 мм болатын лакталған мыс сымымен периметр бойымен бойлай орады. Бұлардан абсолюттік қабаттардың биіктігі 0,05 мм қамтиды. Конустың бетін бойлай константалы мыс термопараларын, қыздырғыш орам қабаттарының астында қалатындай орналастырған. Термопара бекітілімдері мен қыздырғыштың аралығына екеуінің арасында ешқандай байланыс болмайтындай жіңішке конденсаторланған қағаз орналастырылған. Термопаралардың орналасу жиілігі ағыншаның бастапқы және өтпелі бөлігінде 5 мм болса, ал негізгі бөлігінде 10 мм қамтиды.

Радиалдық жартылай шектелген ағыншаның жылуалмасуын зерттеу үшін жұмыстық дене ретінде қағаз уындыларынан кесілген плиткалы диаметрі 620 мм және қалыңдығы 20 мм болатын дөңгелек диск қолданылды. Жұмыс зонасындағы температура диск бетінде орналасқан, көбіне бастапқы және өтпелі бөліктерінде, ал кейде негізгі бөлікте, радиалдық бағытта мыс-константалы термопаралармен өлшенді. Қыздырғыш элементі ретінде өлшемі 0,1x200x570 мм болатын нихромдық таспа жолағы диск бетіне тығыз бекітіліп, конденсаторланған қағаз арқылы термопаралар бөліктерінің үстіне қойылды.

Жергілікті жылу беру коэффициентін зерттеу эксперименттері конустың ашылым  $\omega=15,00$ ;

90,00 бұрыштарында өткізілді. Бұл жағдайда ағын конустың негізгі бөлігінен төбесіне қарай, сол сияқты төбесінен негізгі бөлігіне тараған. Эксперименттер барысында қабырғаға жақын жергілікті жылу беру коэффициентінің көлденең қисықтың параметріне, конустың ашылу бұрышына, ағынның ағу бағытына, бастапқы және соңғы Рейнольдс санына әсері байқалды.

Жазық қабырғаға жақын ағыншалардың ең алғашқы зерттеулерінде,  $U_0$  жылдамдықпен пластинаның турбуленттік біртекті ағысындағы жылу алмасуға ұқсас, ол үшін мына формула алынды.

$$Nu_x = 0,306 Re_x^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (1)$$

Жазық ауа ағыншаларына жылу алмасы нәтижелері мынандай тәуелділікке жалпыланады.

$$Nu_x = 0,038 Re_{mx}^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (2)$$

мұнда:

$$Re_{mx} = \frac{U_m \cdot x}{\vartheta}, \quad Nu_x = \frac{a \cdot x}{\lambda}, \quad Re_x = \frac{U_0 \cdot x}{\vartheta} \quad (3)$$

$U_m$  – соплодан  $x$  арақашықтықтағы ағыншаның максималды жылдамдығы;  $\vartheta = \frac{\mu}{\rho}$  – кинетикалық тұтқырлық;  $\lambda$  – ағыстың жылу өт-

кізгіштігі;  $a$  – пластинадан жылу берілу коэффициенті.

(1) және (2) формулалардан қабырға жақын ағыншалардағы жылу берілу қарқыны  $U_m = U_0$ -ға тең болғандағы біртекті ағыстағы жылу берілу қарқынынан 23% -ке артық. Ол қабырғаға жақын шекаралық қабаттарындағы біртекті ағыспен салыстырғандағы ағыншалы ағысқа турбуленттік жоғары деңгейінің әсерімен көрсетілген.

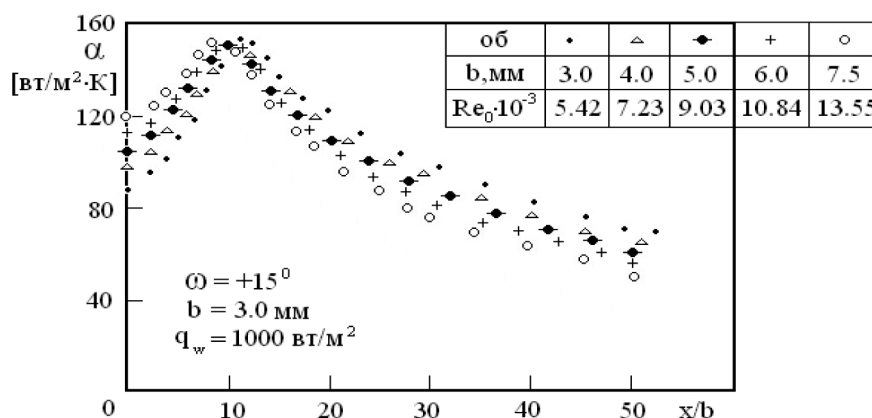
[1] жұмысында біртекті ағыспен ағуы кезіндегі пластина жылу алмасуына сыртқы ағыстың турбуленттілігінің әсерін ескеру үшін (3) формуланың оң жақ бөлігіндегі көбейткіш түріндегі түзетулер келтірілген:

$$1 + 0.41 \cdot th(0.2Tu) \quad (4)$$

Жылдамдық максимумы сызығының бойында  $Tu \approx 20\%$  турбуленттік деңгейінің мәнін ескеріп отырғандағы, жазық қабырғаға жақын ағыншаның жылу алмасуын мына формула жақсы бейнелейді:

$$Nu_x = 0,038 Re_{mx}^{0,8} \cdot Pr^{0,4} [1 + 0.41 \cdot th(0.2 \cdot Tu)] \quad (5)$$

Жергілікті жылуалмасу коэффициентінің өлшеу нәтижелері 1-суретте көрсетілген.



1-сурет – Айырылысатын конустық ағыншадағы жергілікті жылуалмасу коэффициенті

Ағынның басталуында қыздырылу аймағының болмағандығынан, динамикалық және жылулық шекаралық қабаттар  $SR$  және  $\omega$  параметрлеріне қарамастан бірдей қалыптаса бастады.

Графикте көрсетілгендей  $x$  координатасы соплоның бөлігінен конусты айнала, оның пайда болуына дейін өседі. Жергілікті жылу

берілу коэффициенті келесі формула бойынша өрнектеледі:

$$\alpha = \frac{\vartheta_w}{T_w - T_f} = \frac{J \cdot U}{S(T_w - T_f)} [BT / m^2 \cdot K], \quad (6)$$

мұндағы  $\vartheta_w$  – бірлік уақыт ішінде қыздырылған беттен бөлінетін жылу мөлшері,  $J$  – ток күші,  $U$  –

нихромды лента шеттеріндегі кернеу,  $S$  – жылу жүретін бет ауданы.

Алынған нәтижелердің басқа авторлардың мәліметтерімен салыстыру мақсатында және оларға жалпылық сипатын беру үшін эксперименттік мәліметтер келесі критерийлермен өңделді:  $Nu_x = \frac{\alpha * x}{\lambda}$  – Нуссельт саны, (мұндағы  $x$  – бойлық координатасы,  $\lambda$  – ауаның жылу өт-кізгіштігі,)  $Re_{mx} = \frac{U_m * x}{\vartheta}$  – Рейнольдс саны: ( $U_m$  – ағыншаның максималды жылдамдығы,  $x$ -бойлық координатасы,  $\vartheta$  – тұтқырлықтың кинематикалық коэффициенті).

### Қорытынды

Жергілікті жылу беру коэффициенті айырылысатын конуста биіктігі  $\omega=15,00$  калибрі

10-14 аралығында алдымен өсіп, кейіннен соплодан бөлектеп, бірқалыпты кемиді. жергілікті жылу беру коэффициентін зерттеу эксперименттері конустың ашылым  $\omega=15,00$ ;  $90,00$  бұ-рыштарында өткізіледі. Бұл жағдайда ағын конустың негізгі бөлігінен төбесіне қарай, сол сияқты төбесінен негізгі бөлігіне таралады. Эксперименттер барысында қабырғаға жақын жергілікті жылу беру коэффициентінің көлденең қисықтың параметріне, конустың ашылу бұрышына, ағынның ағу бағытына, бастапқы және соңғы Рейнольдс санына әсері байқалады. Графиктерді салыстыра келе жергілікті жылу беру коэффициенті айырылысатын конуста биіктігі  $\omega=15,00$  калибрі 10-14 аралығында алдымен өсіп, кейіннен соплодан бөлек-теп, бірқалыпты кемитіні байқалады.

### Әдебиеттер

- 1 Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. – М.: Наука, 1982. – 472 с.

### References

- 1 Zhukauskas A.A. Konvektivnyj perenos v teploobmennikah. – М.: Nauka, 1982. – 472 (in russ).