

КОП ҚАБАТТЫ ҒИМАРАТТЫҢ АУА ЖАҒДАЙЫН ЕСЕПТЕУ ӘДІСІН ӘЗІРЛЕУ: КОМПЬЮТЕРДІ ЕСЕПТЕУ АЛГОРИТМДЕРІНДЕГІ ӘДІСТІҢ ЖАСАЛУЫ

Абиева Г.С., техника ғылымдарының кандидаты, доцент
guldana1967@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0101-2252>

Ауельбеков С.Ш., техника ғылымдарының кандидаты
auelvekov.sh@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-8266-3582>

Дүйсенбаева А.К., 7М07322 – «Инженерлік жүйелер мен желілер» БББ 2-курс магистранты
aigera949@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8266-3682>

¹*Халықаралық білім корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы), Алматы, Қазақстан*

Андатпа. Мақала соңғы жылдардағы қысқы кезеңдер энергия ресурстарының тапшылығы мәселесін өткір көтерді. Бұл жағдай табиғи энергия көздерін ұтымды пайдалану қажеттігін арттырды. Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігінің Мемлекеттік энергетикалық қадағалау және бақылау комитетінің деректеріне сәйкес, бекітілген салалық энергия үнемдеу бағдарламасы елімізде энергия тиімділігін арттыру бағытында нақты әрі практикалық шаралар қабылдаудың өзектілігін көрсетеді. Бағдарлама халық шаруашылығы мен өндірістегі энергия тұтынуды оңтайландыруға негізделген.

Ғимараттардың энергетикалық тиімділігін арттыру — заманауи құрылыс саласындағы басты міндеттердің бірі. Энергия үнемдеу мәселесі көптеген елдерде ұлттық деңгейде реттеліп, нормативтік-құқықтық құжаттар арқылы бекітілуде. Қазақстанда да жаңа және жаңғыртылатын ғимараттарды жобалау кезінде «Энерготімділік» бөлімі міндетті түрде қамтылып, жылу мен желдетуге жұмсалатын энергия шығыны есептеліп, нормативпен салыстырылады. Бұл тәсіл ғимараттың нақты энергия тұтынуын анықтауға, сонымен қатар жобалаудың сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Есептеу әдістерінің дәлдігі мен қолжетімділігі жобалау тәжірибесінде маңызды рөл атқарады. Мақалада теңдестірілген механикалық және табиғи желдету жүйелері бар ғимараттағы ауа ағынын есептеуге арналған бағдарлама арнайы ұсынылады. Бағдарлама негізінен жел мен ауырлық қысымының әсерін, құрылыс элементтерінің ауа өткізгіштік кедергісін, ішкі бөлмелер арасындағы байланыстарды ескере отырып, дәл есептеу жүргізуге мүмкіндік береді. Бағдарламада графикалық компонент арқылы ауа мен жылу ағынын визуализациялау мүмкіндігі қарастырылған. Бұл шешім желдету сызбасын оңтайлы таңдауға және инфильтрацияланған ауаны жылытуға кеткен жылу шығынын нақты бағалауға мүмкіндік береді. Жүйе бөлмелердің аэродинамикалық және жылу сипаттамаларын есепке ала отырып, модульдік құрылым негізінде бастапқы деректерді нақтылауға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: желдету, ауа алмасу, инфильтрация, механикалық желдету, табиғи желдету, ауа ағыны, жылу шығыны, визуализация, модульдік құрылым, аэродинамикалық сипаттама.

Кіріспе. Әзірленген бағдарлама теңдестірілген механикалық желдету және табиғи желдету бар ғимараттың ауа ағынының жағдайын есептеуге арналған. Бұл бағдарламада жел мен ауырлық қысымының әсерлері, сыртқы құрылыс элементтерінің (терезелер, кіреберіс есіктер) ауа өткізгіштігінің кедергісі және бөлмелер арасындағы ішкі байланыстар ескеріледі. Есептеулермен қатар, бағдарлама бөлмелер ішіндегі ауа ағынының таралуын, сондай-ақ ғимараттың ауа өткізетін элементтері арқылы ауа мен жылу ағындарын жылдам және дәл визуализациялауға мүмкіндік беретін графикалық компонентті қамтиды. Бұл инфильтрацияланған ауаны жылыту үшін жылу шығынын бағалауға ғана емес, сонымен қатар ауа алмасу схемасын таңдау кезінде дұрыс шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар бөлменің графикалық көрінісін оның қоршауларының аэродинамикалық және жылу сипаттамаларымен байланыстыруға және де бөлмелер арасындағы байланыстарды орналастыруға (модульдік құрылымды пайдалану) негізделген бастапқы деректерді нақтылаудың принципті жаңа тұжырымдамасы әзірленді.

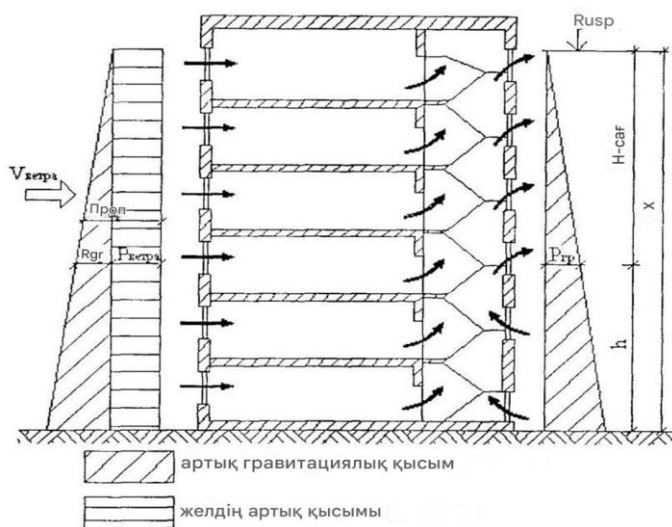
Зерттеу материалдары мен әдістері. *Теңгерімді желдеткіші бар ғимараттың ауа режимінің үлгісі.* Теңдестірілген механикалық желдету жүйесімен жабдықталған қазіргі заманғы көпқабатты ғимараттың ауа режимі күрделі аэродинамикалық желі болып табылады, онда ауа ағындары ғимараттың ғарыштық-жоспарлау шешімімен, тракт элементтерінің ауа өткізгіштігімен және ішкі аэродинамикалық жолдармен сыртқы және ішкі ауа температурасы, сондай-ақ жел бағыты мен жылдамдығы қозғалып, өзгереді. Жер бетінен h биіктікте сыртқы ауаның кез келген нүктесіндегі гравитациялық қысым, $P_{\text{грав}}$ Па мынаған тең:

$$P_{\text{грав}} = P_{\text{атм}} - \rho_{\text{н}} \cdot g \cdot h, \quad (1)$$

мұндағы $P_{\text{атм}}$ атмосфералық қысым, Па; g - ауырлық әсерінен болатын үдеу, м/с^2 . Жел қысымы $P_{\text{ветр}}$, Па, ғимараттың әртүрлі беттеріндегі жел бағытына байланысты өзгереді, ол C аэродинамикалық коэффициенті бойынша есептеулерде ескеріледі, ол динамикалық жел қысымының қандай үлесі желге, бүйірлік және көлденең қасбеттерге статикалық қысым екенін көрсетеді (1-сурет).

$$P_{\text{ветр}} = \rho_{\text{н}} \cdot v^2 \cdot C \cdot k_{\text{дин}} / 2 \quad (2)$$

мұндағы $\rho_{\text{н}}$ сыртқы ауаның тығыздығы, кг/м^3 ; v жел жылдамдығы, м/с ; C – [78] сәйкес қабылданған есептелген қасбеттегі аэродинамикалық коэффициент; $k_{\text{дин}}$ [78] бойынша қабылданған ғимараттың биіктігіне байланысты жел жылдамдығы қысымының өзгеруін есепке алу коэффициенті болып табылады.



1-сурет – Теңдестірілген механикалық желдету бар көп қабатты ғимаратта ауа ағындарының қалыптасуы

Ғимараттағы жалпы сыртқы ауа қысымын табу үшін оларды біріктіреді: $P_{\text{нар}}$

$$P_{\text{нар}} = P_{\text{грав}} + P_{\text{ветр}} = P_{\text{атм}} - \rho_{\text{н}} \cdot g \cdot h + \rho_{\text{н}} \cdot v^2 \cdot C \cdot k_{\text{дин}} / 2. \quad (3)$$

Кәдімгі нөлдік қысым $P_{\text{үсл}}$, Па үшін әдетте ауа қозғалысы мүмкін болатын жер бетінен ең алыс құрылыс элементі деңгейіндегі ғимараттың тік жағындағы абсолютті қысым (төбелік қасбеттің үстіңгі терезесі) алынады [2, 3].

$$P_{\text{үсл}} = P_{\text{атм}} - \rho_{\text{н}} \cdot g \cdot H + \rho_{\text{н}} \cdot v^2 \cdot C_3 \cdot k_{\text{дин}} / 2 \quad (4)$$

мұндағы C_3 ғимараттың еңіс жағына сәйкес келетін аэродинамикалық коэффициент; H - ғимараттың биіктігі немесе ауа қозғалысы мүмкін болатын үстіңгі элементтің жер бетінен биіктігі, м.

ғимараттың h биіктігіндегі нүктеде сыртқы ауада пайда болатын жалпы артық қысым, P_a мына формуламен анықталады: P_H

$$P_H = P_{нар} - P_{усл} = \rho_H \cdot g(H - h) + \rho_H \cdot v^2(C - C_3)k_{дин}/2 \quad (5)$$

h биіктіктегі әрбір ауа өткізгіш элементтің ортасында, P_a және гравитациялық қысым k , $P_{Грав}$, тұратын жалпы артық ішкі қысым анықталады: P_B ,

$$P_{Грав, k} = \rho_B \cdot g(H - h) \quad (6)$$

Оны минус белгісімен сыртқы қысыммен байланыстыру әдеттегідей.

$$\begin{aligned} P_H &= \rho_H \cdot g(H - h) + \rho_H \cdot v^2(C - C_3)k_{дин}/2 - \rho_H \cdot g(H - h) = \\ &= g(H - h)(\rho_H - \rho_H) + \rho_H \cdot v^2(C - C_3)k_{дин}/2 \end{aligned} \quad (7)$$

Бұл ғимараттан тыс ғимараттың жалпы қысымының ауыспалы гравитациялық құрамдас бөлігін алады, сондықтан әрбір бөлмедегі жалпы қысым кез келген биіктікте тұрақты болады. Содан кейін кез келген бөлменің үлгісі жалпы артық қысыммен сипатталатын нүкте болуы мүмкін P_B , оған ауа кіреді және одан шығады. Ауа өткізетін құрылыс элементтері (терезелер, есіктер) ғимараттың барлық кеңістіктерін және сыртқы ауаны бір жүйеге қосады. Бұл элементтердің орналасуы және олардың ауа өткізгіштік сипаттамалары ғимараттағы ағындардың таралуының сапалық және сандық бейнесіне айтарлықтай әсер етеді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау. *Ғимараттың ауа режимінің математикалық моделі.* Ғимараттың ауа режимінің математикалық моделінің негізі әрбір бөлмедегі ауаның материалдық балансының теңдеулері болып табылады (Кирхгофтың бірінші заңы), олар $G_{i,k}$ бөлмедегі әрбір ауа өткізгіш k элементі арқылы ауа ағынын, оның ішінде желдету жүйесінің қоректендіру немесе шығару торы арқылы:

$$\sum G_{i,k} = 0, i = 1, 2, \dots, k = 1, 2, \dots, k \quad (8)$$

және энергияның сақталуы (Бернулли теңдеуі):

$$P_{нач} - P_{кон} = Z_{шк} \cdot \text{sign}(G_{шк}) \quad (9)$$

мұндағы $P_{нач}$, $P_{кон}$ ауа өткізгіш элементтің алдындағы және артындағы жалпы артық қысымдар, P_a ; мысалы, терезе үшін жалпы сыртқы қысым $P_{нар}$ және бөлменің жалпы ішкі артық қысымы P_B ; ішкі есік үшін іргелес бөлмелердің жалпы артық ішкі қысымы; $G_{шк}$ ауа өткізгіш элемент арқылы өтетін ауа ағынының жылдамдығы, кг/сағ; $Z_{шк}$ ауа өткізгіш элемент арқылы ауа қозғалысы кезіндегі жалпы қысымның жоғалуы, P_a .

Ғимараттың ауа режиміне қолданылғанда Бернулли теңдеуі келесі түрге ие болады:

- i және j бөлмелерін біріктіретін элемент үшін

$$P_{B,i} - P_{B,j} = Z_{i,j} \cdot \text{sign}(G_{i,j}) \quad (10)$$

- j нүктесіндегі сыртқы ауаны бөлмемен i байланыстыратын элемент үшін:

$$P_{n,j} - P_{B,i} = Z_{i,j} \cdot \text{sign}(G_{i,j}) \quad (11)$$

мұндағы $P_{n,j}$ нүктесіндегі жалпы артық сыртқы қысым, P_a , i бөлменің терезесінен тыс; $P_{B,i}$ бөлменің ішкі қысымы, P_a ; $Z_{i,j}$ және j нүктелері арасындағы ауа өткізгіш элемент арқылы ауа қозғалысы кезіндегі жалпы қысымның жоғалуы, P_a ; $G_{i,j}$ және j нүктелері арасындағы ауа өткізгіш элемент арқылы өтетін ауа ағынының жылдамдығы, кг/сағ. Терезенің ортасы h биіктікте орналасқан бөлме үшін тәуелділіктерді (1 және 2) ескере отырып, (8) өрнек келесі пішінді алады:

$$P_{n,j} - P_{B,i} = (\rho_H - \rho_{B,i}) \cdot g \cdot (H - h_j) + \\ + (C - C_3) k_{\text{дин}} \cdot \rho_H \cdot v^2 / 2 - P_{B,i} = Z_{i,j} \cdot \text{sign}(G_{i,j}) \quad (12)$$

Қысқаша айтқанда, болашақта жалпы артық сыртқы және ішкі қысымдар сәйкесінше сыртқы және ішкі қысымдар деп аталады. Демек, теңдестірілген механикалық желдету жүйесі бар көпқабатты ғимараттың ауа ағынының моделін $P_{B,i}$ ауа қозғалатын ішкі және сыртқы қысыммен сипатталатын өзара байланысты нүктелер жиынтығы ретінде ұсынуға болады, яғни $P_{H,j}$ ауа қозғалысы кезінде қысымның жалпы жоғалуы әдетте $Z_{i,j}$ функция ретінде ауа өткізгіштік кедергісінің сипаттамасы арқылы көрсетіледі $S_{i,j}$

$$Z_{i,j} = S_{i,j} (G_{i,j})^{m_{i,j}} \text{sign}(G_{i,j}) \quad (13)$$

мұндағы $S_{i,j}$ және j нүктелері арасындағы ауа өткізгіш элементтің кедергі сипаттамасы, Па/м-(кг/с·ғ) 2 . Көрсеткіш ағын режиміне байланысты және терезелер үшін $m_{i,j}$, ал есіктер үшін 2-ге тең деп алынады $3/2$. Ғимарат конвертінің барлық ауа өткізетін элементтері - терезелер, есіктер және ашық саңылаулар - тұрақты гидравликалық параметрлері бар элементтер ретінде шамамен жіктелуі мүмкін. Бұл қарсылық тобының мәндері $S_{i,j}$ ағын жылдамдығына тәуелсіз $G_{i,j}$. Терезелер үшін $S_{i,j}$ бұл мән формула бойынша анықталады:

$$S_{\text{ок},i,j} = 10 \cdot (R_{u,i,j} / A_{\text{ок},i,j})^{3/2}, \quad m_{i,j} = 3/2 \quad (14)$$

есіктер үшін

$$S_{\text{дв},i,j} = 10 \cdot (R_{u,i,j} / A_{\text{дв},i,j})^2, \quad m_{i,j} = 2 \quad (15)$$

мұндағы $S_{\text{ок},i,j}$, $S_{\text{дв},i,j}$ және j нүктелері арасындағы ауа өткізгіш элементтің кедергісінің сипаттамалары; $R_{u,i,j}$ қысым айырмашылығы кезінде $\Delta P = 10 \text{ Па}$ терезенің немесе есіктің ауа өткізгіштігінің кедергісі, тиісінше, кг $\text{м}^2 \text{ч} / \text{с}^2$; $A_{\text{ок},i,j}$, $A_{\text{дв},i,j}$ тиісінше қарастырылатын терезе немесе есік ауданы болып табылады м^2 . Осылайша, ғимараттың ауа режимі мәселесін шешу ауа балансының теңдеулер жүйесін (32) шешуге дейін төмендейді, мұнда әрбір жағдайда қосынды бөлменің барлық ауа өткізетін элементтеріне алынады. Сан теңдеулер ғимараттағы бөлмелер санына тең. Әрбір ауа өткізгіш элемент арқылы өтетін ауа ағыны (3), (4), (5) бойынша анықталады:

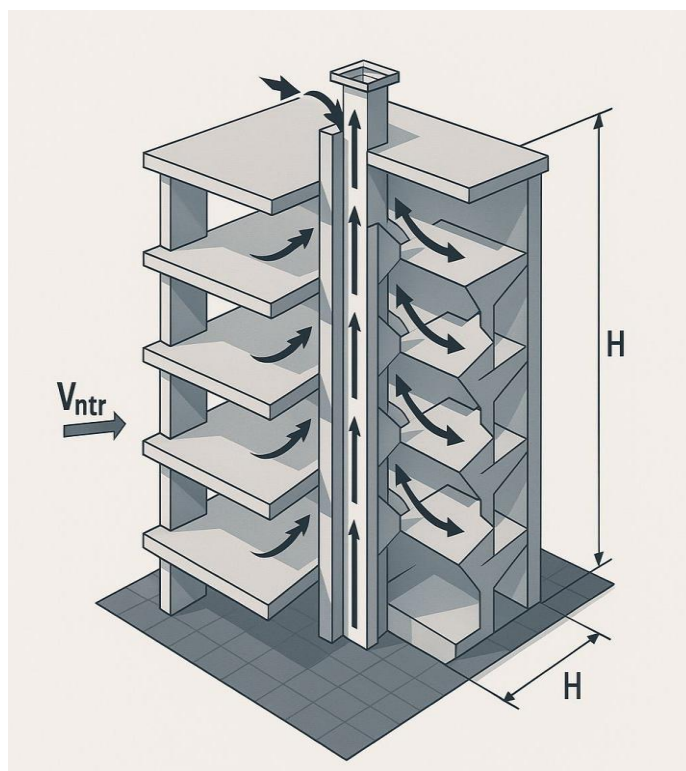
- бөлмелер арасындағы элементтер үшін

$$G_{i,j} = \left(\frac{|P_{n,i} - P_{n,j}|}{S_{i,j}} \right)^{1/m_{i,j}} \cdot \text{sign}(P_{n,i} - P_{n,j}) \quad (16)$$

- сыртқы ауа мен бөлме арасындағы элементтер үшін

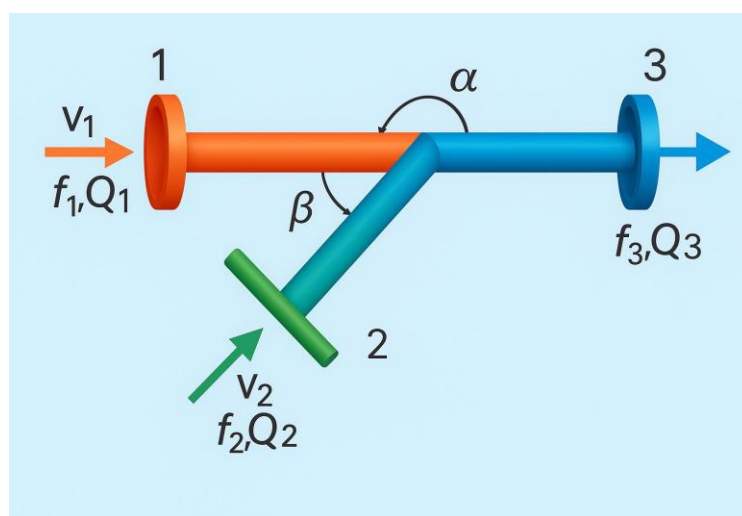
$$G_{i,j} = \left(\frac{|P_{n,j} - P_{n,i}|}{S_{i,j}} \right)^{1/m_{i,j}} \cdot \text{sign}(P_{n,j} - P_{n,i}) \quad (17)$$

Бұл теңдеулер жүйесіндегі белгісіздер ғимараттың барлық ауа өткізетін элементтері арқылы өтетін ағынның жылдамдығы $G_{i,j}$ және әрбір бөлмедегі қысымдар болып табылады $P_{B,i}$. Теңдеулер жүйесін шешу бүкіл ғимарат бойынша қажетті ағынды бөлуді береді және оның үлкен өлшемділігі мен сызықты еместігіне байланысты компьютерді қолдану арқылы тек сандық әдістерді қолдану мүмкін болады. 2-ші суретте табиғи желдетуі бар ғимараттың ауа ағынының үлгісі жасалды.



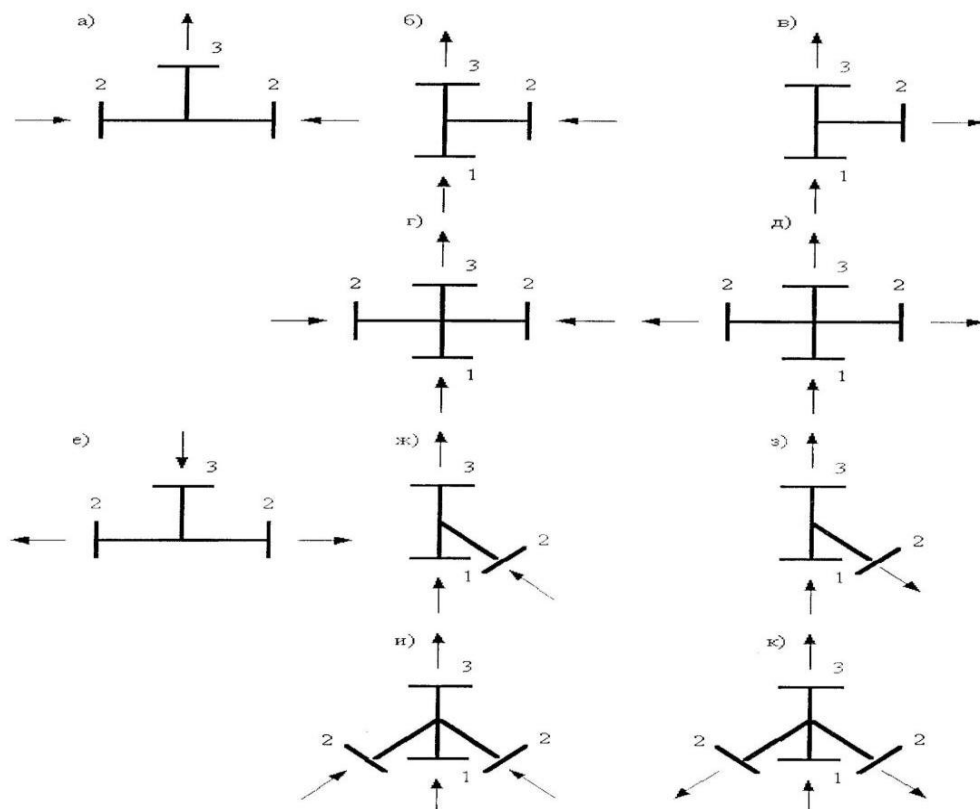
2-сурет – Табиғи желдеткіші бар көп қабатты ғимаратта ауа ағындарының қалыптасуы

Жергілікті қарсылық коэффициенттерін аналитикалық есептеу үшін формулаларды таңдау. Есептеу әдістемесін әзірлеу кезінде желдету желісінің элементтері үшін жергілікті кедергі коэффициенттерін аналитикалық есептеу үшін формулаларды таңдау мәселесі анықталды. Дөңгелек және тікбұрышты құбырлар қималары үшін 90,45 градус тармақ бұрышы бар иілулер, тростар және кресттердегі жергілікті қарсылық коэффициенттерін есептеуге арналған кестелік және шамамен формулаларды беретін көптеген әдебиеттер бар. Талдау негізінде П.Н. Каменев пен И.Е. Идельчик таңдалды, өйткені олар автоматтандырылған есептеулердің талаптарына сәйкес келеді, сонымен қатар жеткілікті дәлдікті береді. 3-суретте үш тармақты құбыр жүйесі негізгі параметрлері мен ондағы ауа ағындарының белгіленуі бар үш тармақты құбыр жүйесі есептеу диаграммасы, ал 3-суретте есептеуде табылған үш тармақты құбыр жүйесі және кресттердің диаграммалары көрсетілген.



3-сурет – Үш тармақты құбыр жүйесінің есептеу схемасы

Үш тармақты құбыр жүйесі элементтерінің нөмірлері сәйкес келеді: 1 - өту, 2 - тармақ, 3 - магистраль; сәйкес мәндер үшін индекстерде бірдей сандар қолданылады. α - магистраль мен өту осьтерінің арасындағы бұрыш; β - магистраль мен тармақтың осьтері арасындағы бұрыш; v_1, v_2, v_3 - ағынның орташа жылдамдықтары, м/с; f_1, f_2, f_3 - қима аудандары, m^2 ; Q_1, Q_2, Q_3 - шығыс жылдамдығы, кг/сағ (кг/с).



4-сурет – Тік бұрышпен а-е, 45 градус бұрышпен f-k есептелген тростардың және кресттердің схемалары

1, 2, 3 - үш тармақты құбырлы жүйе элементтерінің сандары сәйкес келеді: 1 - өту, 2 - тармақ, 3 - магистраль.

Төменде үш тармақты диаграмманы анықтауға арналған есептеу өрнектері берілген.

4-сурет бойынша (b, d, f, i) біріктіру (шығару) үшін үш тармақты құбыр жүйесі [17]өту:

$$\zeta_1 = \left(\frac{v_1}{v_3}\right)^2 - \left(\frac{v'_3}{v_3}\right)^3; \zeta_1 = \zeta'_1 + \zeta' \quad (18)$$

одан

$$\zeta'_2 = \left(\frac{v_2}{v_3}\right)^2 - \left(\frac{v'_2}{v_3}\right)^2; \zeta_2 = \zeta'_2 + \zeta'' \quad (19)$$

қосымша:

$$\zeta'' = \left(\frac{v'_3}{v_3}\right)^2 - 1)^2 \quad (20)$$

Араластырудан кейінгі орташа ағын жылдамдығы:

$$v'_3 = \frac{Q_1}{Q_3} v_1 \cos \alpha + \frac{Q_3}{Q_3} v_3 \cos \beta \quad (21)$$

3-суретке сәйкес (c, d, z, k) бөлуге (инъекцияға) арналған трос немесе крест [22] сәйкес:

өту:

$$\begin{aligned} \text{если } v_1 &= v_3 \cos \alpha, & \zeta_1 &= \sin^2 \alpha \\ \text{если } v_1 < v_3 \cos \alpha, & \zeta_1 &= \sin^2 \alpha + (\cos \alpha - v_1/v_3)^2 \\ \text{если } v_1 > v_3 \cos \alpha, & \zeta_1 &= \sin^2 \alpha + \zeta_{\text{ас}}(v_1/v_3)^2 \end{aligned} \quad (22)$$

одан:

$$\begin{aligned} \text{если } v_2 &= v_3 \cos \beta, & \zeta_2 &= \sin^2 \beta; \\ \text{если } v_2 < v_3 \cos \beta, & \zeta_2 &= \sin^2 \beta; \\ \text{если } v_2 > v_3 \cos \beta, & \zeta_2 &= \sin^2 \beta + \zeta_{\text{вх}}(v_2/v_3)^2 \end{aligned} \quad (23)$$

23 сәйкес 4 (а)-суреттегі сызбаға сәйкес 90 градус тротуар:

екі жақты синтез үшін

$$\begin{aligned} \zeta_3 &= 1 + \left(\frac{f_3}{f_2}\right)^2 + 3\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 \left[\left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^2 - \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)\right] \\ \zeta_2 &= \frac{\zeta_3^2}{\left(\frac{Q_2 f_3}{Q_3 f_2}\right)}, \end{aligned} \quad (24)$$

екі жақты бөлу үшін 4 (е)-суреттегі диаграммаға сәйкес:

$$\zeta_2 = 1 + 0.3 \left(\frac{v_2}{v_3}\right)^2 \quad (25)$$

4. [26] сәйкес бүгілу

$$\xi = 0.95 \sin^2(\delta/2) + 2.05 \sin^4(\delta/2) \quad (26)$$

мұндағы V_3' араластырудан кейінгі ағынның орташа жылдамдығы, м/с; δ бұрылу бұрышы болып табылады (90 немесе 45 градус); индекстер 1,2,3 сәйкес келеді: 1 - өту, 2 - тармақ, 3 - үш тармақты немесе айкасқан білігі.

Тізбектер мен қималарды анықтау кезінде алынған көрсеткіш нөлден аз болатын жағдайлар бар. Бұл элементтерде қосымша ауа соруын тудыратын тесіктер бар дегенді білдіреді.

Қорытынды. Желдету жүйесінің арнасының айрықша ерекшелігі жүйенің жекелеген бөліктері үшін қажетті ауа ағынының жылдамдығына байланысты оның қарсылық сипаттамаларының өзгермелілігі болып табылады. Қиындық мынада: үш тармақты құбыр жүйесі (кресттер) жергілікті қарсылық коэффициенттерін (LRC) анықтауға арналған белгілі формулалар анықтаушы факторлардағы шамалы өзгерістермен мәндердің шамадан тыс кең ауытқуларын береді. Сондықтан желдеткіш құбыр элементтерінің кедергі сипаттамаларын итерациялық процесс арқылы анықтау керек, ол желідегі қол жетімді қысымды ауа ағынының берілген жылдамдықтарында арнаның аэродинамикалық кедергісімен байланыстыруды талап етеді. Құбылыс көбінесе ғимараттың жоғарғы қабаттарының тармақтарының негізгі арнаға қосылуында байқалады. Теріс мәндер кейіннен қуатқа тәуелділік жағдайында қолданылатын S қарсылық сипаттамасының теріс мәндеріне әкелетіндіктен және S абсолютті мәндерін пайдалану мүмкін емес, өйткені физикалық қасиет бұрмаланғандықтан, радикалды өрнекте теріс мәндердің пайда болуын болдырмайтын есептеулерде арнайы әдістерді қолдану қажет.

Әдебиеттер:

- [1] **Sultanguzin**, Ruglikov D.A., Yatsyuk T.V., Kalyakin I.D., Yavorovsky Yu.V., Govorin A.V. Using of BIM, BEM and CFD technologies for design and construction of energy-efficient houses // E3S Web of Conferences 124, 03014, 2019.
- [2] **Sultanguzin**, A.Govorin, I.Kalyakin, Yu. Yavorovsky, E. Zhigulina, V.Khromshenkov, D. Kruglikov. Influence of Russian climate (artic, centre, south) on construction and reconstruction of

energy efficient buildings // NESEFF-Netzwerktreffen 2018. Tagungsband. Herausgeber: Prof. Sylvio Simon. BTU Cottbus-Senftenberg, November 2018. Pp. 91-98.

[3] **Шувалов, Д.Г.**, Турков О.Ж., Кругликов Д.А., Султангузин И.А., Рудомазин В.В. Энергоэффективные системы вентиляции здания с рекуперацией тепла // Журнал С.О.К., 2018. – №9. – С. 88-96.

[4] **Кругликов, Д.А.**, Яворовский Ю.В., Султангузин И.А., Нечаев А.Н., Трусов А.С. Экспериментальное и численное исследование работы системы потолочного охлаждения на основе гипсокартонных панелей с системой потолочно-вытяжной вентиляции с охлаждением приточного воздуха // Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 20 марта 2020 года. – Нур-Султан, 2020. – С. 347-350.

[5] **Кругликов, Д.А.**, Султангузин И.А. Расчетное и экспериментальное исследование систем потолочного охлаждения на основе гипсокартонных панелей // Труды десятой Всероссийской конференции с международным участием «Энергосбережение – теория и практика». – Москва, НИУ «МЭИ», 19–23 октября 2020 г. – М. – С. 138-141.

[6] **Христенко, Б.А.**, Кругликов Д.А., Чайкин В.Ю., Петров В.А., Султангузин И.А. Проектирование льдоаккумулятора и внедрение технологии в систему теплоснабжения здания // Труды десятой Всероссийской конференции с международным участием «Энергосбережение – теория и практика». – Москва, НИУ «МЭИ», 19 – 23 октября, 2020 г. – с 173-179.

[7] **Кругликов, Д.А.**, Афонина Г.Н., Султангузин И.А., Глазов В.С. Исследование эффективности систем потолочного охлаждения // 15 всероссийская (7 международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2020»: материалы конференции. В 6 т. Т. 1. – Иваново:ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2020. – С. 92.

[8] **Кругликов, Д.А.**, Султангузин И.А. CFD Моделирование системы приточно вытяжной вентиляции пассивного дома // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать пятая Междунар. научн.-техн. конф. студентов и аспирантов (14-15 марта 2019 г., Москва): Тез. докл. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг Радуга», 2019. – С. 666.

[9] **Афонина, Г.Н.**, Кругликов Д.А., Глазов В.С., Султангузин И.А., Шютц В. Локальное обеспечение комфортных условий в помещениях в теплое время года // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XXVI Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов (12-13 марта 2020 г., Москва): Тез. докл. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2020. – С. 647.

[10] **Кругликов, Д.А.**, Афонина Г.Н., Султангузин И.А., Глазов В.С. Экспериментальное и численное исследование системы потолочного отопления и охлаждения пассивного дома с системой приточно-вытяжной вентиляции // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XXVI Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов (12-13 марта 2020 г., Москва): Тез. докл. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2020. – С. 679.

[11] **Шувалов, Д.Г.**, Дмитрусенко Д.О., Кругликов Д.А. Энергоэффективные климатические решения для многоквартирных жилых домов // Сборник материалов 21-й конференции "Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий, Passive House, 2021. – С. 112-119.

[12] **Кругликов, Д.А.**, Султангузин И.А. Опыт применения энтальпийных рекуператоров в активном, энергоэффективном доме // Сборник материалов 25-й конференции "Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий, Passive House, 2023. – С. 129-133.

[13] **Бирюков, С.В.**, Дианов С.Н. Программа расчета воздушного режима здания // В сборнике статей МГСУ-2001 «Современные технологии теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2001.

[14] **Бирюков, С.В.**, Дианов С.Н. Теплопоступления от суммарной солнечной радиации через вертикальные светопрозрачные проемы за отопительный период // В сборнике статей МГСУ-2001 «Современные технологии теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2001. – 735 с.

[15] **Богословский, В.В.**, Сканава А.Н. Отопление / Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов // М.: Стройиздат. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш., 1991.

References:

- [1] **Sultanguzin**, Ruglikov D.A., Yatsyuk T.V., Kalyakin I.D., Yavorovsky Yu.V., Govorin A.V. Using of BIM, BEM and CFD technologies for design and construction of energy-efficient houses // E3S Web of Conferences 124, 03014, 2019.
- [2] **Sultanguzin**, A.Govorin, I.Kalyakin, Yu. Yavorovsky, E. Zhigulina, V.Khromshenkov, D. Kruglikov. Influence of Russian climate (artic, centre, south) on construction and reconstruction of energy efficient buildings // NESEFF-Netzwerktreffen 2018. Tagungsband. Herausgeber: Prof. Sylvio Simon. BTU Cottbus-Senftenberg, November 2018. Pp. 91–98.
- [3] **Shuvalov**, D.G., Turkov O.Zh., Kruglikov D.A., Sultanguzin I.A., Rudomazin V.V. Jenergojeffektivnye sistemy ventiljacji zdaniya s rekuperaciej tepla // Zhurnal S.O.K., 2018. -№9. S. 88–96. [in Russian]
- [4] **Kruglikov**, D.A., Javorovskij Ju.V., Sultanguzin I.A., Nechaev A.N., Trusov A.S. Jeksperimental'noe i chislennoe issledovanie raboty sistemy potolochnogo ohlazhdeniya na osnove gipsokartonnyh panelej s sistemoy potolochno-vytjazhnoj ventiljacji s ohlazhdeniem pritochnogo vozduha // Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye problemy transporta i jenergetiki: puti ih innovacionnogo resheniya». Nur-Sultan, ENU im. L.N. Gumileva, 20 marta 2020 goda, Nur-Sultan, 2020. – S. 347–350. [in Russian]
- [5] **Kruglikov**, D.A., Sultanguzin I.A. Raschetnoe i jeksperimental'noe issledovanie sistem potolochnogo ohlazhdeniya na osnove gipsokartonnyh panelej // Trudy desjatoj Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Jenergosberezhenie – teorija i praktika». Moskva, NIU «MJeI», 19–23 oktjabrja 2020 g., M. – s 138-141. [in Russian]
- [6] **Hristenko**, B.A., Kruglikov D.A., Chajkin V.Ju., Petrov V.A., Sultanguzin I.A. Proektirovanie l'doakkumuljatora i vnedrenie tehnologii v sistemu teplosnabzheniya zdaniya // Trudy desjatoj Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Jenergosberezhenie – teorija i praktika». Moskva, NIU «MJeI», 19 – 23 oktjabrja 2020 g.– s 173-179. [in Russian]
- [7] **Kruglikov**, D.A., Afonina G.N., Sultanguzin I.A., Glazov V.S. Issledovanie jeffektivnosti sistem potolochnogo ohlazhdeniya // 15 vserossijskaja (7 mezhdunarodnaja) nauchno-tehnicheskaja konferencija studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Jenergija-2020»: materialy konferencii. V 6 t. T. 1. – Ivanovo:FGBOUVO «Ivanovskij gosudarstvennyj jenergeticheskij universitet imeni V.I. Lenina», 2020. – S. 92. [in Russian]
- [8] **Kruglikov**, D.A., Sultanguzin I.A. CFD Modelirovanie sistemy pritochno vytjazhnoj ventiljacji passivnogo doma // Radiojelektronika, jelektrotehnika i jenergetika: Dvadcat' pjataja Mezhdunar. nauchn.-tehn. konf. studentov i aspirantov (14-15 marta 2019 g., Moskva): Tez. dokl. M.: OOO «Centr poligraficheskikh uslug Raduga», 2019. – s. 666. [in Russian]
- [9] **Afonina**, G.N., Kruglikov D.A., Glazov V.S., Sultanguzin I.A., Shjutc V. Lokal'noe obespechenie komfortnyh uslovij v pomeshhenijah v teploe vremja goda // Radiojelektronika, jelektrotehnika i jenergetika: XXVI Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija studentov i aspirantov (12 – 13 marta 2020 g., Moskva): Tez. dokl. - M.: OOO «Centr poligraficheskikh uslug «Raduga», 2020. – S. 647. [in Russian]
- [10] **Kruglikov**, D.A., Afonina G.N., Sultanguzin I.A., Glazov V.S. Jeksperimental'noe i chislennoe issledovanie sistemy potolochnogo otopleniya i ohlazhdeniya passivnogo doma s sistemoy pritochno-vytjazhnoj ventiljacji // Radiojelektronika, jelektrotehnika i jenergetika: XXVI Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija studentov i aspirantov (12 – 13 marta 2020 g., Moskva): Tez. dokl. - M.: OOO «Centr poligraficheskikh uslug «Raduga», 2020. – S. 679. [in Russian]
- [11] **Shuvalov**, D.G., Dmitrusenko D.O., Kruglikov D.A. Jenergojeffektivnye klimaticheskie reshenija dlja mnogokvartirnyh zhilyh domov // Sbornik materialov 21-j konferencii "Tehnologii proektirovanija i stroitel'stva jenergojeffektivnyh zdaniy, Passive House, 2021g. - s. 112–119. [in Russian]
- [12] **Kruglikov**, D.A., Sultanguzin I.A. Opyt primenenija jental'pijnyh rekuperatorov v aktivnom, jenergojeffektivnom dome // Sbornik materialov 25-j konferencii "Tehnologii proektirovanija i stroitel'stva jenergojeffektivnyh zdaniy, Passive House, 2023g. - s. 129–133. [in Russian]
- [13] **Birjukov**, S.V., Dianov C.H. Programma rascheta vozdušnogo rezhima zdaniya // V sbornike statej MGSU-2001 «Sovremennye tehnologii teplogazosnabzheniya i ventiljacji» - M.: MG'SU, 2001. [in Russian]
- [14] **Birjukov**, S.V., Dianov C.H. Tsplopostugpjenija ot summarnoj solnečnoj radiagshhi cherez vertikal'nye svetoprozrachnye proemy za otopitel'nyj period // V sbornike statej MGSU-2001 «Sovremennye tehnologii teplogazosnabzheniya i ventiljacji». - M.: MGSU, 2001. - 735s [in Russian]

[15] **Bogoslovskij, V.FL**, Skanavi A.N. Otoplenie / Bogoslovskij V.N. Stroitel'naja teplofizika (teplofizicheskie osnovy otoplenija, ventiljacii i kondicionirovanija vozduha): Uchebnik dlja vuzov // - M.: Strojizdat. 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Vyssh., 1991. [in Russian]

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА МИКРОКЛИМАТА МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ: СОЗДАНИЕ МЕТОДА В АЛГОРИТМАХ КОМПЬЮТЕРНОГО РАСЧЕТА

Абиева Г.С., кандидат технических наук, доцент

Ауельбеков С.Ш., кандидат технических наук

Дуйсенбаева А.К., 7M07322 магистрантка 2-го курса ОП «Инженерные системы и сети»

Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА), г. Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье поднята проблема дефицита энергоресурсов в зимние периоды последних лет. Эта ситуация увеличила необходимость рационального использования природных источников энергии. По данным Комитета государственного энергетического надзора и контроля Министерства энергетики Республики Казахстан, утвержденная отраслевой программой энергосбережения показывает актуальность принятия конкретных и практических мер по повышению энергоэффективности в нашей стране. Программа основана на оптимизации потребления энергии в народном хозяйстве и производстве.

Повышение энергетической эффективности зданий является одной из главных задач в современной строительной отрасли. Вопрос энергосбережения регулируется на национальном уровне во многих странах и закрепляется через нормативно-правовые документы. В Казахстане при проектировании новых и реконструируемых зданий раздел «Энергоэффективность» обязательно включается, при этом рассчитываются энергозатраты на отопление и вентиляцию и сравниваются с нормативами. Этот подход позволяет определить фактическое потребление энергии зданием, а также повысить качество проектирования.

Точность и доступность методов расчета играют важную роль в проектной практике. В статье специально предлагается программа для расчета воздушного потока в зданиях с уравновешенными механическими и естественными системами вентиляции. Программа в основном позволяет проводить точные расчеты с учетом воздействия ветра и гравитационного давления, сопротивления воздухо- и газопроницанию строительных элементов, а также связей между внутренними помещениями. В программе предусмотрена возможность визуализации потоков воздуха и тепла через графический компонент. Это решение позволяет оптимально выбирать схему вентиляции и точно оценивать тепловые потери на нагрев инфильтрованного воздуха. Система на основе модульной структуры позволяет уточнять исходные данные с учетом аэродинамических и тепловых характеристик помещений.

Ключевые слова: вентиляция, воздухообмен, инфильтрация, механическая вентиляция, естественная вентиляция, воздушный поток, теплотери, визуализация, модульная структура, аэродинамические характеристики.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING THE MICROCLIMATE OF A MULTI-STOREY BUILDING: CREATION OF THE METHOD IN COMPUTER CALCULATION ALGORITHMS

Abieva G.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Auelbekov S.Sh., Candidate of Technical Sciences

Duisenbayeva A.K., 2nd-year Master's student of the EP 7M07322 "Engineering systems and networks"

International Educational Corporation (KazGASA Campus), Almaty, Kazakhstan

Annotation. The article addresses the problem of energy resource shortages during the winter periods of recent years. This situation has increased the need for the rational use of natural energy sources. According to the Committee of State Energy Supervision and Control of the Ministry of Energy

of the Republic of Kazakhstan, the approved industry energy-saving program demonstrates the relevance of taking concrete and practical measures to improve energy efficiency in our country. The program is based on optimizing energy consumption in the national economy and production.

Increasing the energy efficiency of buildings is one of the main tasks in the modern construction industry. The issue of energy saving is regulated at the national level in many countries and is established through legal and regulatory documents. In Kazakhstan, when designing new and renovated buildings, the 'Energy Efficiency' section is mandatory, with energy costs for heating and ventilation being calculated and compared with standards. This approach allows determining the actual energy consumption of a building, as well as improving the quality of design.

The accuracy and accessibility of calculation methods play an important role in design practice. The article specifically proposes a program for calculating airflow in buildings with balanced mechanical and natural ventilation systems. The program mainly enables precise calculations taking into account the effects of wind and gravitational pressure, resistance to air and gas penetration of building elements, as well as the interactions between interior spaces. The program provides the ability to visualize air and heat flows through a graphical component. This solution allows for optimal selection of the ventilation scheme and accurate assessment of heat losses due to heating infiltrated air. The system, based on a modular structure, allows for refinement of the initial data taking into account the aerodynamic and thermal characteristics of the rooms.

Keywords: ventilation, air exchange, infiltration, mechanical ventilation, natural ventilation, airflow, heat loss, visualization, modular structure, aerodynamic characteristics.