

7 Лагранж формуласы негізінде ағындардың өзара байланыстылығының сипаттамасын салу

Егер желдету жүйесіне баған ретінде қарасақ, онда қатаң өзара байланысу күшінен j -лі қазбаның аэродинамикалық сипаттамасының өзгерісі желдету сұлбасының кез келген элементінде ағынды бөлу өзгерісін тудырады. Бұл тәуелділік жұп байланыстар үшін $q_i = f(R_j)$ түрде болады, мұнда q_i – i -лі қазбадағы ауаның жұмсалуы; R_j – j -лі элементтің аэродинамикалық кедергісі. Өйткені аталған функция үздіксіз болып табылады және үздіксіз туынды болады, желілердің бірінші және екінші заңдарын талдаудан туындайды, онда әртүрлі мәндер үшін R_j ауа жұмсалу функциясының монотонды ұлғаюы немесе кемуі кезінде Лагранж формуласы күшінде теңдікке орын болады

$$\frac{q_i(R_{j,k}) - q_i(R_{j,n})}{R_{j,k} - R_{j,n}} = f'(R_\xi), \quad (7.108)$$

мұнда $q_i(R_{j,n})$; $q_i(R_{j,k})$ – j -тармақтағы бастапқы және ақырғы мәндеріне сәйкес келетін i -лі қазбаның ауа жұмсалуының бастапқы және ақырғы мәндері;

$f'(R_\xi)$ – $R_{j,n}$ және $R_{j,k}$ арасындағы R_ξ кедергінің кейбір мәндеріне сәйкес келетін ауа функциясының туындысы

Егер желдету жүйесінің жұмыс істеу процесінде уақыттың кейбір сәтінде қазба кедергісінің бастапқы мәндеріне сәйкес келетін $q_i(R_{j,n})$ ауаны бастапқы бөлу берілген, онда кейбір шамада j -лі кедергінің өзгерісі кезінде ауа жұмсалуының жаңа мәні (4.108) шарттан табылуы мүмкін, яғни

$$q_i(R_{j,k}) = q_i(R_{j,n}) + f'(R_\xi)(R_{j,k} - R_{j,n}). \quad (7.109)$$

Осылайша, (4.109) өрнегі Лагранж пішініндегі желдету ағындарының өзара байланыс теңдеуі болып табылады, соның көмегімен $f'(R_\xi)$ белгісіз мәндері кезінде, мұнда $R_{j,n} < R_\xi < R_{j,k}$ ауаның i -лі басқарылатын ағынында j -лі элементтің әсерін бағалауға болады.

Сол кезде қолданыстағы әдебиетте $f'(R_\xi)$ анықтау үшін қабылдауға болатын тәуелділіктер жоқ. Соңғысы әрбір нақты жағдайда есептің шарты мен зерттеудің сипатталатын объектісінің жалпы қасиеттерінен байланысты есептеледі. Желдету желісінде болатын барлық өзгерістердің өзара байланысты екенін ескере отырып, желінің базалық жағдайына сәйкес келетін туындылардың өзгерісі кезінде аралықтағы туындыларға қатынасы бастапқы

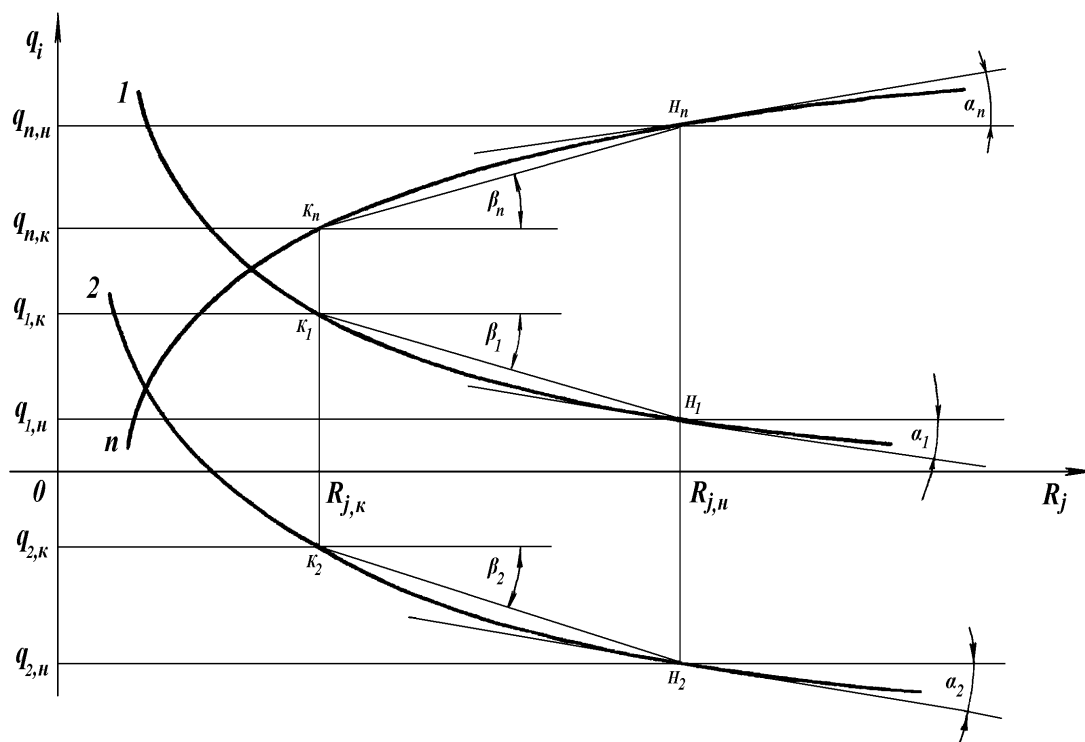
жүйенің барлық тармақтары үшін тұрақты немесе жақын мәндердің шамасы болады деп болжауға болады, оның күрделілігіне тәуелсіз.

Өйткені осы нүктедегі туындының геометриялық интерпретациясы аталған нүктедегі көлбеу бұрышының тангенсіне тең, ал аралықтағы туынды топтастырылған хорданың көлбеу бұрышының тангенсіне сәйкес келеді (7.14-сурет), онда айтылған жорамал мына түрде жазылуы мүмкін:

$$\frac{\operatorname{tg}\beta_1}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \frac{\operatorname{tg}\beta_2}{\operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{\operatorname{tg}\beta_3}{\operatorname{tg}\alpha_3} = \dots = \frac{\operatorname{tg}\beta_n}{\operatorname{tg}\alpha_n}; \quad (7.110)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_i = \frac{\partial q_i}{\partial R_j} \Big|_{R_j = R_{j,\mu}}; \quad (7.111)$$

$$\operatorname{tg}\beta_i = \frac{\partial q_i}{\partial R_j} \Big|_{R_j = R_\xi, R_{j,\mu} < R_\xi < R_{j,\kappa}}. \quad (7.112)$$



7.14 –сурет. Басқарылатын тармақтағы ауа шығындарының өзгеру сипатына j -лі реттегіштің әсер етуін бейнелеу

Әртүрлі топологиялық күрделілік пен әртүрлі өлшемділіктегі желдету желілерін есептеу (4.110) шарты ең жақсы түрде орындалатынын көрсетті, егер бастапқы ақпарат ретінде базалық ағын бөлу қабылданса, ол $R_j = 1,0$ даПа·с²/м⁶. j -лі реттегіштің берілген кедергісі кезінде желінің жағдайына сәйкес келеді.

Эксперимент көрсеткендей, $tg\beta_i / tg\alpha_i$ қатынас тұрақтылығы әсер ететін тармақтағы аэродинамикалық R_j кедергінің өсуімен ұлғаяды. Орташа мәндер шамасында нүктелерді маңызды лақтыру $R_j < 0,01$ даПа·с²/м⁶ кезінде байқалады.

Туындылар қатынасының тұрақсыздығы желдету сұлбасының K -лі торабына енетін әртүрлі тармақтар үшін ауа жұмсалуды өзгерту қарқындылығы бір-бірінен маңызды түрде ерекшеленеді. Бұл жағдаймен R_j аз мәндер кезінде $q_i = f(R_j)$ функцияның кему немесе ұлғаю монотондығы бұзылады. Шынында да, есептеу желдету сұлбасының кез келген K -лі торабы үшін мына теңдік дұрыс болып табылады

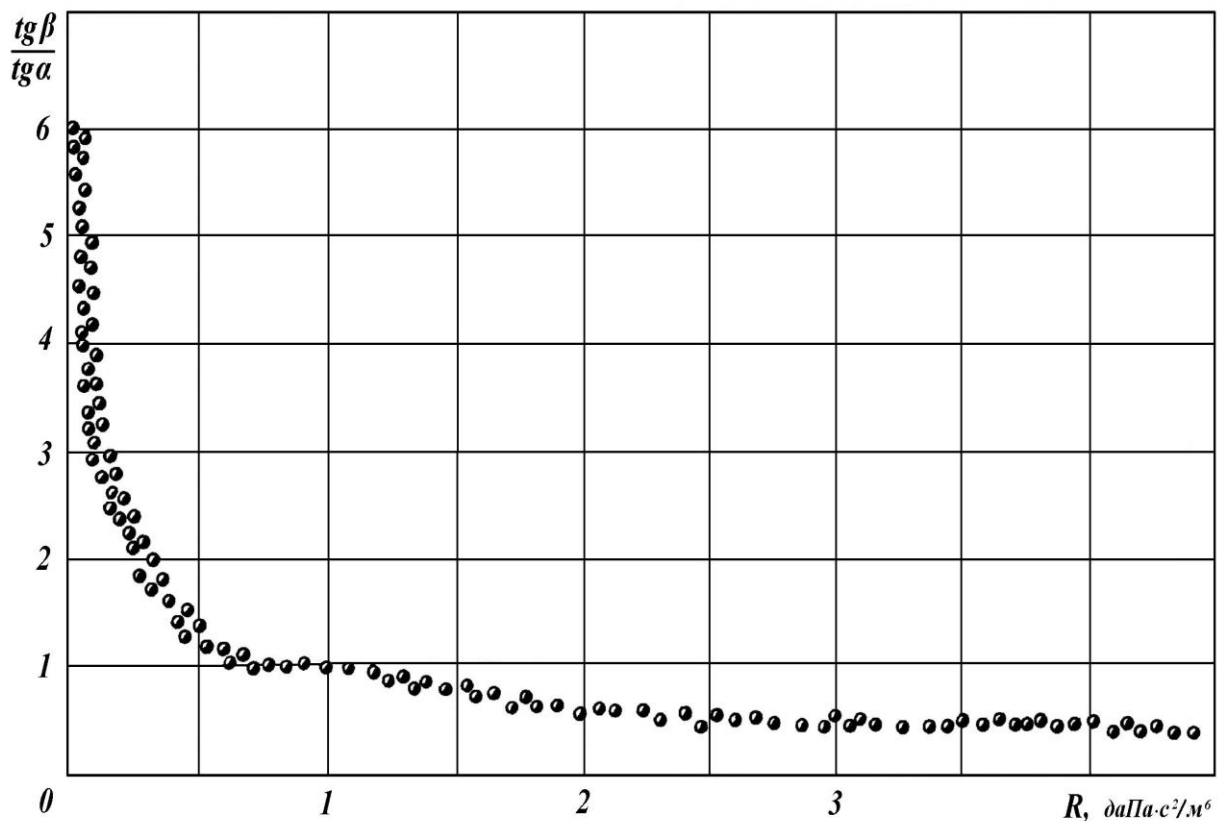
$$\sum_{i=1}^n (\partial q_i / \partial R_j) = 0. \quad (7.113)$$

(4.113) теңдігі орындалу үшін туындылар әртүрлі белгілерде болуы тиіс. Себебі R_j өзгерісі кезінде пропорционалдық принципі орындалмайды, егер әртүрлі тармақтар үшін ауа ағындарының өзгеру қарқындылығы әртүрлі болған жағдайда тораптағы туындылардың сандық мәндерінің қосындысы нольге тең болады. Өйткені R_j өсуімен байланысты $q_i = f(R_j)$ функциясының сызықтық күшінде функция өзгерісінің жылдамдығы айырбасталады, онда өзгерістің белгілі бір аралағында q_i жекелеген тармақтар үшін ауа жұмсалудың өз белгісін кері өзгерте алуы мүмкін. Ал бұл өзгерістің қисығына жергілікті максимумдар немесе минимумдардың пайда болуына тепе-тең q_i .

Көрсетілген ерекшеліктер $R_j \geq 0,01$ даПа·с²/м⁶. минимум мәндермен өзара байланыстылықтың сипаттамасын салу үшін тәуелділікті пайдалануды шектеу қажеттігіне (4.109) байланысты.

$R_j \geq 0,01$ даПа·с²/м⁶ –дан бастап $tg\beta_i / tg\alpha_i$ қатынас кедергісін келесі ұлғайту үшін маңызды емес түрлендірулермен орташа мәндер шамасында түрленеді. Орташа мәндерден ауытқудың максимум шамасы 15 %-дан аспайды және R_j өзгерістің төменгі шекарасын қабылдау үшін орын алады. R_j ұлғайту шамасы бойынша нүктелерді шашырату азаяды, ал бұл туындылар қатынастары арасында функциональды тәуелділіктерді салу үшін бастапқы алғышарттарды таңдау дұрыстығы туралы растайды, бір жағынан әсер етуші тармақтың аэродинамикалық кедергісімен өзгереді, ал екінші жағынан басқаша.

4.15-суретте R_j ағымдағы координаталардан $tg\beta / tg\alpha$ тәуелділіктердің толықтырылған деректері берілген.



4.15 –сурет. Реттегіш кедергішін өзгертуден $tg\beta/tg\alpha$ қатынас тәуелділігі

Орташа әдіс бойынша нәтижелерді қазба мұндай түрдегі тәуелділік 0,01 ден 100 даПа \cdot с 2 /м 6 шегінде R_j өзгерісі кезінде мына теңдеумен жеткілікті жақсы сипатталады

$$\frac{tg\beta_i}{tg\alpha_i} = 74,28 \exp(-4,307 R_j^{0,14}). \quad (7.114)$$

Өйткені $f'(R_\xi) = tg\beta$ болса, онда (4.109) өрнегі (4.111) және (7.114) есебінен мына түрге түрленеді

$$q_i = q_{i,0} + 74,28 \frac{\partial q_i}{\partial R_j} (R_j - 1) \exp(-4,307 R_j^{0,14}), \quad (7.115)$$

мұнда $q_{i,0}$ – i -лі қазбадағы ауаның бастапқы базалық жұмсалуды, $R_j = 1,0$ даПа \cdot с 2 /м 6 мәндеріне сәйкес келеді.

Туындылардың белгісіз мәндері $\frac{\partial q_i}{\partial R_j}$ (7.104)-ға сәйкес желінің базалық

жағдайы үшін анықталады.

Өртүрлі желдету жүйелері үшін орындалған салыстырмалы есептеулер практика үшін жеткілікті дәлдікпен жуықтайтын теңдеу (7.115) әсер етуші тармақтағы аэродинамикалық кедергі өзгерісінің кең диапазонында шахталық желдеу желісінде ауа ағындарының байланысын сипаттайды.

(7.115) өрнекке енетін параметрлер –лі реттегіштің әсерінен желдету желісінде болатын өзгерістерге тек сандық қана емес, сонымен бірге сапалық бағалауды беруге мүмкіндік береді.

Сапалық бағалау критерийі $\frac{\partial q_i}{\partial R_j}, j = \overline{1, p}$ жеке туындылар болып табылады. Олардың белгісі бойынша тармақтарды атап көрсету оңай, онда ауа жұмсалуды кемиді немесе ұлғаяды. Егер $\frac{\partial q_i}{\partial R_j} > 0$ болса, онда осындай тармақта

R_j ұлғаюымен ауаның жұмсалуды ұлғаятын болады. Бұл ретте $\frac{\partial q_i}{\partial R_j} < 0$ сурет

керісінше болады.

Бұдан басқа, туындылардың абсолютті шамасы бойынша берілген жүйенің барлық тармақтарында реттегішпен берілетін әсерді азайту дәрежесі бойынша иерархиялық қатарды құруға болады.

Лагранж формуласына сәйкес көптеген айнымалылардың функциясы үшін өзара байланыстылықтың теңдеуі (7.115) желдету жүйесінде аэродинамикалық параметрлердің кез келген санын бір уақытта өзгерту шарты үшін қорытындылайды және мына түрді қабылдайды

$$q_i = q_{i,0} + \sum_{j=1}^p 74,28 \frac{\partial q_i}{\partial R_j} (R_j - 1) \exp(-4,307 R_j^{0,14}). \quad (7.116)$$

Аталған тәуелділік негізінде есептеу алгоритмі мынаған әкеледі. Басында $R_j = 1,0$ даПа·с²/м⁶ барлық айнымалылар болғандағы жағдай үшін $q_{i,0}, i = 1, 2, \dots, n$ базалық ауаны бөлу есептеледі. Базалық жағдайды анықтағаннан кейін $R_j, j = 1, 2, \dots, p$ барлық айнымалы параметрлер бойынша $\frac{\partial q_i}{\partial R_j}$ жеке туындыларды табады.

Есептеу нәтижесі матрица түрінде берілуі мүмкін

$$X_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{\partial q_1}{\partial R_1} & \frac{\partial q_2}{\partial R_1} & \frac{\partial q_3}{\partial R_1} & \dots & \frac{\partial q_n}{\partial R_1} \\ \frac{\partial q_1}{\partial R_2} & \frac{\partial q_2}{\partial R_2} & \frac{\partial q_3}{\partial R_2} & \dots & \frac{\partial q_n}{\partial R_2} \\ \frac{\partial q_1}{\partial R_3} & \frac{\partial q_2}{\partial R_3} & \frac{\partial q_3}{\partial R_3} & \dots & \frac{\partial q_n}{\partial R_3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial q_1}{\partial R_j} & \frac{\partial q_2}{\partial R_j} & \frac{\partial q_3}{\partial R_j} & \dots & \frac{\partial q_n}{\partial R_j} \end{pmatrix}, \quad (7.117)$$

Ондағы әрбір жол барлық желдету желісіне тиісті элементтің әсерін бейнелейді.

7.4.5 Жер асты қазбаларында ауаның жұмсалудың өзгерісіне пассивті реттегіштердің әсерін бағалау

Басқарылатын i -лі қазбаға келіп түсетін ауаның мөлшері j -лі әсер етуші тармақтағы өзгертін аэродинамикалық кедергінің әсерінен алдыдағы параграфтарда баяндалған нәтижелерге сәйкес мына формула бойынша анықталады

$$q_i = q_{i,n} + \sum_{j=1}^n K_{ji} (R_j - 1) B_j, \quad (7.118)$$

мұнда n – бір уақытта әсер ететін реттегіштердің саны.

Өзара $K_{ji} = (\partial q_i / \partial R_j)$ байланыс коэффициенті j -лі басқарылатын тармақтағы реттегіштің ауаның i -лі басқарылатын ағынына әсер ету дәрежесін анықтайды. R_j хабарлап, аз өсім жеткілікті, K_{ji} есептеу дәлдік практикасы үшін мына формула бойынша жүзеге асыруға болады

$$K_{ji} = \frac{q_{i,n} - q_{i,k}}{R_{j,n} - R_{i,k}}, \quad (7.119)$$

мұнда $q_{i,n} - R_{j,n} = 1,0$ даПа·с²/м⁶ кезінде i -лі қазбаның ауаның базалық жұмсалуды

м³/с;

$q_{i,k} - R_{j,n} = 0,95$ даПа·с²/м⁶, м³/с кезінде i -лі қазбадағы ауа жұмсалуды.

Егер $K_{ji} > 0$ болса, онда басқарылатын тармақта ауа жұмсалуды басқарушы қазбада реттегіш кедергісін ұлғайту кезінде $q_{i,n}$ базалық шығынға қатынасы бойынша ұлғаятын болады. Өзара байланыс коэффициентінің аталған мәні басқарылатын тармаққа қатынасы бойынша басқарылатын қазба байланысының шартты-параллель типін сипаттайды.

Егер $K_{ji} < 0$ болса, онда реттегіш кедергісінің ұлғаюы арқасында басқарылатын қазбадағы ауа жұмсалуды азаяды, басқарылатын ағынға қатынасы бойынша басқарылатын қазба байланысының шартты-параллель типі үшін тура.

Басқарылатын тармақта реттегіштің басқарылатын қазбадағы ауа жұмсалудың өзгеріс сипатына әсерін бағалау кезінде 4.6-кестеде берілген деректерді басшылыққа алу ұсынылады. Коэффициенттер абсолютті шама бойынша беріледі.

7.6-кесте. Басқарылатын ағынға реттеуші құрылғылардың әсер ету категориялары

Әсер ету категориясы	Өзара байланыс коэффициентінің өзгеру диапазоны
өте күшті	$ K_{ji} \geq 5$
күшті	$2,5 \leq K_{ji} < 5$
орташа	$1,0 \leq K_{ji} < 2,5$
әлсіз	$0,5 \leq K_{ji} < 1,0$
өте күшті	$ K_{ji} < 0,5$

Бастапқы деректерді дайындау және коэффициенттерді есептеу мыналардан тұрады:

а) ауаны табиғи бөлу сұлбасында әсер етуші қазбаға $R_{j,n} = 1,0$ даПа·с²/м⁶ кедергісінің мәндері бір уақытта беріледі және желіні есептеу жүргізіледі. Есептеу деректері бойынша $q_{i,n}$ басқарылатын тармақтағы ауа жұмсалуды анықталады.

б) есептеу сұлбасында әрбір басқарылатын тармаққа бірізділікті $R_{j,k} = 0,95$ даПа·с²/м⁶ мәндері беріледі (бұл ретте басқа реттегіштердің кедергісі өзгеріссіз қалады және 1,0 даПа·с²/м⁶-ға тең) және желіні есептеу жүргізіледі. Есептеу саны әсер етуші тармақтардың санына сәйкес келеді. Есептеу нәтижелері бойынша әрбір реттегіштің өзгерісі кезінде бірізділікті барлық басқарылатын тармақта $q_{i,k}$ ауа жұмсалуды анықталады;

в) барлық басқарылатын қазба үшін (7.119) формуласы бойынша K_{ji} коэффициенттері беріледі және i -лі басқарылатын ағында j -реттегіштің әсер ету сипаты мен әсер ету дәрежесі туралы қорытынды беріледі.

Коэффициент B_j барлық желдету желісіндегі басқарушы қазбада реттегіштің аэродинамикалық кедергісінің әсер ету дәрежесін сипаттайды және мына формула бойынша анықталады

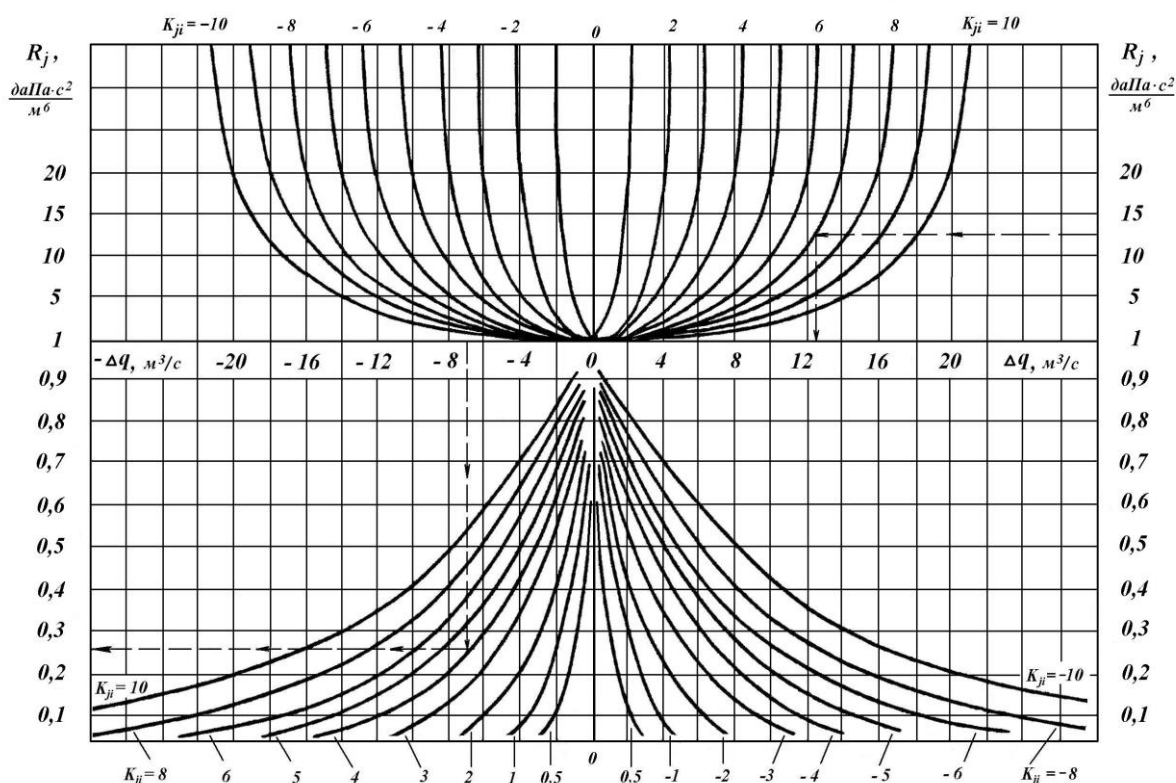
$$B_j = 74,28 \exp(-4,307 R_j^{0,14}). \quad (7.120)$$

Желдету желісінде реттегіштің әсері R_j кедергінің азаюымен ұлғаяды.

(7.118) формула бойынша i -лі қазбада ауа жұмсалуды есептеу кезінде келесі ережелерді басшылыққа алу қажет:

а) егер реттегіштің кедергісі (бөгет, желкен желдету терезесі, желдету есіктері және т.б.) берілсе, онда (7.118) есептеу формуласына R_j берілген мәндер енгізіледі;

б) егер басқарылатын ағындағы ауаның қажетті санын қамтамасыз етсе, онда R_j ізделетін шама талап етілген $q_{i,m}$ және бастапқы $q_{i,n}$ ауаның мөлшері арасында ($\Delta q = q_{i,m} - q_{i,n}$) айырмашылық және K_{ji} өзара байланыс коэффициенттерінің табылған мәндері бойынша номограммамен (7.16-сурет) анықталады.



7.16 –сурет. Басқарушы тармақтағы реттегіш кедергісінің қажетті шамасын және басқарылатын ағындағы ауа жұмсалуды анықтауға арналған номограмма

Осылайша, (7.114) теңдеу бойынша құрылған номограмма тура және кері есепті шешуге жол береді. Демек, R_j берілген мәндері және өзара байланыстың K_{ji} есептелген коэффициенттері бойынша номограммдан i -лі қазба үшін $q_{i,n}$ ауаның базалық жұмсалудына түзетулер енгізіледі немесе берілген ΔQ_i және

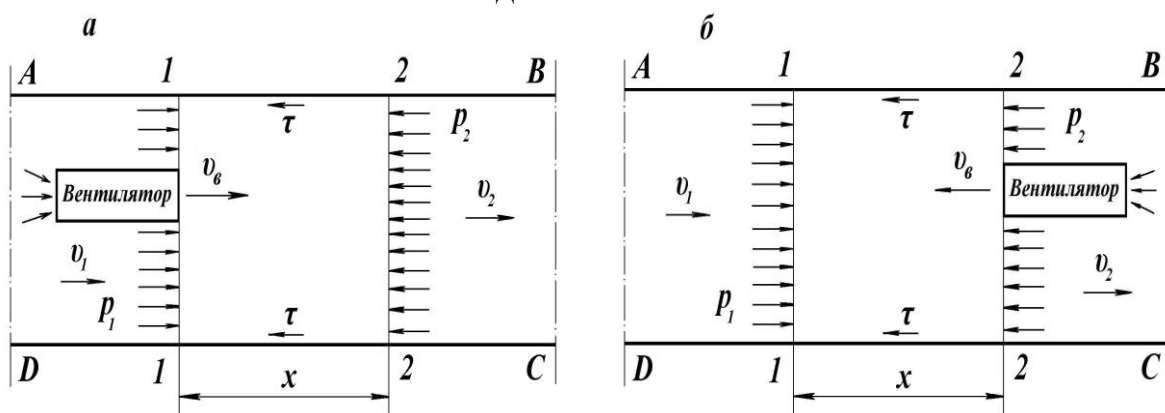
белгілі K_{ji} бойынша басқарушы тармақтағы кедергінің талап етілген шамасын табады.

Бірнеше реттегіштердің бір уақытта әрекет етуі кезінде ауаның бастапқы жұмсалыуына ізделетін түзетулер әрбір реттегіш үшін бірізділікті анықталады және сосын өзінің белгілері бойынша қосылады.

Кері есепті шешу кезінде әрбір реттегіш үшін i -лі басқарылатын ағынмен өзінің байланыс коэффициентін табады. Реттегіштер мүмкіндіктерін бағалай отырып (мұны номограмма бойынша табуға болады, өзара байланыстың K_{ji} әрбір қисық коэффициенті базалық ауа жұмсалыуының қатынасы бойынша басқарылатын ағында ауа жұмсалыуын өзгертудің мүмкін диапазонын сипаттайды), олардың әрқайсысы үшін ΔQ_i өз мәндерімен беріледі, қосындысында барлық жеке түзетулер басқарылатын тармақтағы ауа жұмсалыуы өзгерісінің талап етілген мәндеріне теңелетін жағдайға байланысты. Әрбір реттегіш үшін ΔQ_i берілген мән және табылған K_{ji} шамасы бойынша номограммдан барлық реттегіштердің кедергісін табады.

7.4.6 Шахтадағы ауаны бөлуге бөгетсіз жұмыс істейтін белсенді реттегіштердің әсер етуін бағалау

Жер асты желдеткіштерін орнату шахта желдету жүйесінде жекелеген қиын басқарылатын бағытта ауа жұмсалыуын өзгерту қажеттілігімен байланысты. Жер асты желдеткішінің жұмысы бөгетсіз немесе бөгет арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Желдеткіш бөгет арқылы жұмыс кезінде шахта желдету жүйесіндегі маңызды учаскелерде ауа ағындарын қайта бөлуді қамтамасыз етеді. Ауа жұмсалыуының жергілікті қайта бөлген жағдайда бөгетсіз жұмыс істейтін желдеткіштерді пайдалану артығырақ. Олар оң реттегіштер ретінде қолданылуы мүмкін (7.17, а-сурет), егер желдеткіштен шығатын ағыс ағынның жалпы бағытымен сәйкес келеді, газды емес шахталарда ағыстардың қарама қарсы тоғысуы кезінде – теріс реттегіштер ретінде (7.17, б-сурет) қосымша бағытымен сәйкес келеді.



7.17-сурет. Бөгетсіз жұмыс істейтін желдеткіштермен қазба депрессиясындағы өзгерістерді анықтауға арналған есептік сұлба

Қарағанды бассейні шахталарында бөгетсіз жұмыс істейтін реттегіштер ретінде жергілікті желдету желдеткіштерін пайдалану тәжірибесі, бөгетсіз желдеткіштерді қолдану желдету қазбасына газ бөлуді азайтуға және өңделген кеңістікті газсыздандырудың барлық тәсілдерінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

7.17-суретте берілген сұлбаны қарастырайық. $ABCD$ қазбасында желдеткіш орнатылсын, одан кейбір жылдамдықпен қазбадағы ауа ағысы қозғалысының жалпы бағытына немесе оған қарсы бағытқа сәйкес келетін ауа ағыны шығады. Бернулли теңдеуін және өзгеріс заңын пайдалана отырып, 1 – 1 және 2 – 2 қималармен шектелген әрі бөлінген көлемдер үшін қозғалыс мөлшері үшін теңдеудің келесі жүйесін құрамыз:

$$\begin{cases} p_1 + k_1 \rho \frac{v_1^2}{2} \pm h_g = p_2 + k_2 \rho \frac{v_2^2}{2} + h_T; \\ \beta_2 \rho v_2^2 S - \beta_1 \rho v_1^2 S - \rho v_g^2 S_g = p_1 S - p_2 S - \tau C x; \\ h_T = \tau \frac{C}{S} x, \end{cases} \quad (7.121)$$

мұнда p_1 және p_2 – 1 – 1 және 2 – 2 қимадағы статикалық қысым, даПа;

v_1 және v_2 – 1 – 1 және 2 – 2 қимадағы ауа ағынының орташа жылдамдығы, м / с;

v_g – желдеткіштен шығатын ауа ағынының орташа жылдамдығы, м / с;

S – желдеткіш орнатқан жерде қазбаның көлденең қимасы, м²;

S_g – желдеткіш тесігіндегі көлденең қима, м²;

h_T – x ұзындықтағы қазба учаскесінде үйкелістеі арын жұмсалуы, даПа;

τ – бүйірлік беттегі үйкеліс күшінің ағын осындағы проекция, даПа;

h_g – желдеткіштен шығатын қазбада пайда болатын депрессия; ағындардың жолай өзара әрекеттесуі кезінде «плюс» белгісімен, ал қарама-қарсы кездескенде – «минус» белгісімен алынады;

k және β – 1 – 1 және 2 – 2 қималарға қатысты Кориолис пен

Буссинеск түзету энергетикалық коэффициенттері;

ρ – ауа тығыздығы, кг / м³;

C – қазбаның көлденең қимасының периметрі, м.

k және β арасындағы байланыс өрнекпен анықталады

$$k = 3\beta - 2. \quad (7.122)$$

k анықтау үшін толық емес бекітпе рамалармен бекітілген әртүрлі штрек тәріздес қазбалар үшін мына түрдегі тәуелділікті ұсынуға болады

$$k = 0,81 + 282 \alpha, \quad (7.123)$$

мұнда α – қазбаның аэродинамикалық кедергісінің коэффициенті, даПа·с² / м².

Себебі қазбаның қарастырылатын учаскесі үшін аэродинамикалық кедергісінің коэффициенті $\alpha = \text{const}$, онда талданатын көлем үшін $k_1 = k_2$ және $\beta_1 = \beta_2$ ұйғарым дұрыс болар еді.

(7.121) k мен β орнына α арқылы берілген олардың мәндерін қоя отырып, теңдеулер жүйесін h_e салыстырмалы шеше отырып, аламыз

$$h_e = \frac{\rho}{2} \left[\pm 2v_e^2 \frac{S_e}{S} - (1,06 - 94\alpha)(v_1^2 - v_2^2) \right]. \quad (7.124)$$

Алынған тәуелділіктерді талдау жер асты қазбасында бөгетсіз жұмыс істейтін желдеткіш арқылы пайда болған депрессия шамасы және ауа ағындарын басқару тиімділігі v_e , S_e және S параметрлерге байланысты болады, оларды түрлендіре отырып, шахта желдету жүйесінде ауаның бөлінуіне олардың әсер етуін күшейтуге немесе әлсіретуге болады.

Белсенді желдеткіштермен жұмыс істейтін тармақтардағы депрессияда пайда болған алшақтық желдету желісіндегі тиісті контурлардағы арынның бір мағыналылығының шартын бұзады. Соның нәтижесінде түзетуші контур ағындары пайда болады, олар ауаның жұмсалуын қайта бөлуге әкеледі, олардың сандық мәндері мына түрдегі теңдеулер жүйесін шешуден табылуы мүмкін

$$\begin{cases} \sum_{i \in S} q_i = 0; \\ \sum_{i \in L} R_i q_i^2 = \pm h_L \pm h_{e,j}, \end{cases} \quad (7.125)$$

мұнда $S = 1, 2, \dots, N$ – тораптарды номерлеу;

$L = 1, 2, \dots, K$ – тәуелсіз контурларды номерлеу;

q_i – i -лі тармақтағы ауаның жұмсалуы, $\text{м}^3 / \text{с}$;

R_i – i -лі тармақтағы аэродинамикалық кедергі, $\text{даПа} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$;

h_L – L -лі контурға енетін тартым көздерінің депрессиясы, даПа ;

$h_{e,j}$ – L -лі контурда j -лі тармақта бөгетсіз жұмыс істейтін белсенді реттегіштердің депрессиясы, даПа .

(7.125) жүйесінің екінші теңдеуінің қосылғышының алдында «плюс» белгісі алынады, егер желдеткіш жұмысының бағыты контурды айналып өту бағытына сәйкес келсе, онда «минус» белгісі – егер желдеткіш жұмысының бағыты контурды айналып өту бағытына сәйкес келмесе алынады.

(7.125) жүйесін шешу тұтастай желдету жүйесіндегі белсенді реттегіштің әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Алайда оның жұмысының соңғы режимі өзгерген жағдайда мұндай шешім реттеудің әрбір кезекті қадамында орындалуы қажет, ал бұл еңбектің маңызды шығындарымен және ізделетін нәтижені алуға кететін уақытпен байланысты. Егер ауа ағындарының өзара байланыс принципі пайдаланылса, есептің шешімін ықшамдауға болады.

Базалық вектор $q_o = \{q_{1,o}, q_{2,o}, \dots, q_{n,o}\}$ берілсін, оның компоненттері (7.125) теңдеу жүйесінің шешімі болып табылады және $h_{\epsilon,j} = 0$ болған моментте желдету желісіндегі ауаның бөлінуіне сәйкес келеді. Өйткені i -лі желдетілетін қазбада ауаның жұмсалуды j -тармақта орнатылған белсенді реттегіш депрессиясын өзгертетін функция болып табылады, онда $h_{\epsilon,j}$ өзгертін параметр бойынша Маклорен қатарына q_i , $i = \overline{1,n}$ жіктей отырып, мынаны аламыз

$$q_i = q_{i,o} + h_{\epsilon,j} \frac{dq_i}{dh_{\epsilon,j}} + \frac{1}{2!} h_{\epsilon,j}^2 \frac{d^2 q_i}{dh_{\epsilon,j}^2} + \dots + \frac{1}{r!} h_{\epsilon,j}^r \frac{d^{(r)} q_i}{dh_{\epsilon,j}^{(r)}}; i = \overline{1,n}, \quad (7.126)$$

мұнда $q_{i,o}$ – j -тармақтағы депрессия өзгерісіне дейін i -лі қазбада ауаның жұмсалуды;

$h_{\epsilon,j}$ – j -тармақтағы өзгертін депрессияның ағымдық шамасы.

Есептеулер практикасы (7.117) қатары белгі айнымалы болып табылатындығын көрсетеді, оның ұқсастығы мына шартты орындау кезінде қамтамасыз етіледі

$$h_{\epsilon,j} < \frac{r \left| \frac{d^{(r-1)} q_i}{dh_{\epsilon,j}^{(r-1)}} \right|}{\left| \frac{d^{(r)} q_i}{dh_{\epsilon,j}^{(r)}} \right|}. \quad (7.127)$$

(7.126) және (7.128) өрнектерге енетін белгісіз туындыларды анықтау үшін $h_{\epsilon,j}$ айнымалы параметр бойынша (7.125) теңдеулер жүйесін қайта дифференциалдай отырып, мынаны аламыз

$$\begin{cases} \sum_{i \in S} \frac{dq_i}{dh_{\epsilon,j}} = 0; \\ \sum_{i \in L} 2R_i q_i \frac{dq_i}{dh_{\epsilon,j}} = \pm \frac{dh_L}{dh_{\epsilon,j}} \pm 1; j = \overline{1,n}. \end{cases} \quad (7.128)$$

R_i және q_i орнына бастапқы базалық мәндерді қоя отырып, теңдеулердің сызықтық жүйесін аламыз, алғашқы туындылардың сандық мәндерін табамыз. Қайталап дифференциалдағаннан кейін, аламыз

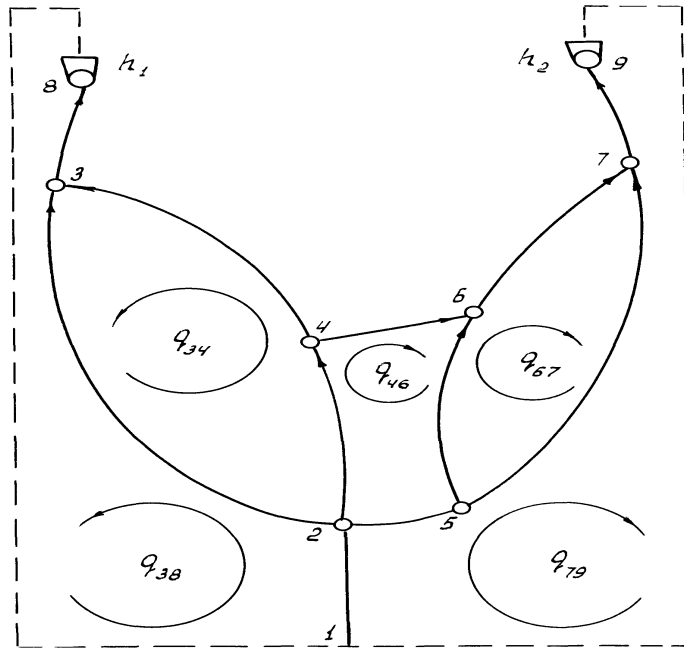
$$\begin{cases} \sum_{i \in S} \frac{d^2 q_i}{dh_{e,j}^2} = 0; \\ \sum_{i \in L} 2R_i q_i \frac{d^2 q_i}{dh_{e,j}^2} + \sum 2R_i \left(\frac{dq_i}{dh_{e,j}} \right)^2 = \pm \frac{d^2 h_L}{dh_{e,j}^2}; j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (7.129)$$

(7.129) жүйені аналогтық қою екінші туындыларды салыстырмалы сызықтық түріне әкеледі. Бұл ретте $dq_i/dh_{e,j}$ орнына олардың ертерек табылған мәндері қойылады. Бірізділікті дифференциалдауды жалғастыра отырып, кез келген реттегі туындыларды есептеу үшін теңдеулердің қажетті жүйесін алуға болады. Есептеулердің қабылдауға тұрарлық дәлдігі (7.126) теңдеуінде үш-төрт мүшені жіктеуді есептеу кезінде қол жеткізіледі. Бірқатар белгі айнымалылар күшімен есептеудегі қателіктер алғашқы сұралған мүшелердің абсолютті шамасы бойынша аспайды.

Баяндалғандарды қорытындылай отырып, байланыстың параллель типтері бар тармақтар үшін $dq_i/dh_{e,j} < 0$ шарты сипатты болып табылады. Бұл j -лі тармақта белсенді реттегіш депрессиясының ұлғаюымен i -лі басқарылатын қазбадағы ауаның жұмсалуды азаюымен байланысты. Байланыстың бірізділікті типі бар тармақтар үшін $dq_i/dh_{e,j} > 0$ шарты тура. Бұл жағдайда i -лі басқарылатын қазбада ауаның жұмсалуды j -лі тармақтағы белсенді реттегіш депрессиясының ұлғаюы кезінде ұлғаяды. i -лі тармаққа әсер ету болмайды, егер $dq_i/dh_{e,j} = 0$ болса.

Осылайша, жер асты қазбасы жүйесінде ауаның жұмсалудының өзгеруіне белсенді реттегіштердің әсерін бағалауға ұсынылатын тәсіл шахта желдету желісінде өтетін тек сандық деректерді алуды ғана емес, сонымен қатар олардың сапалық жақтарын да бағалауға мүмкіндік береді.

25-мысал. 4.18-суретте берілген сұлба үшін h_1 және h_2 желдеткіштердің жұмыс режимі және желідегі ағынды қайта бөлуде 4-6 желдеткіште орнатылған тармақта әсер етуді талдау бойынша есептеу формулаларын алу қажет. Есептеу сұлбасына арналған бастапқы деректер 4.7-кестеде келтірілген. Желдеткіштің жұмыс сипаттамасы $h_1 = 2347 - 0,15 \cdot q_{38}^2$; $h_2 = 2870 - 0,36 \cdot q_{79}^2$ жуықтайтын теңдеулер түрінде берілген.



7.18-сурет. Есептеу бес контурлы желдету сұлбасы

7.7-кесте. 7.18-суреттегі есептеу сұлбасына бастапқы деректер

Тармақ коды	$R, \text{н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$	$q, \text{м}^3/\text{с}$	Тармақ коды	$R, \text{н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^8$	$q, \text{м}^3/\text{с}$
1,2	0,05	120	4,6	0,4	10
2,3	0,2	50	5,6	0,4	20
2,4	0,4	30	5,7	1,15	20
2,5	0,15	40	6,7	0,333	30
3,4	0,35	20	7,9	0,22	50
3,8	0,08	70			

Берілген есептеу сұлбасы үшін теңдеулер жүйесін жазамыз

$$\begin{cases}
 R_{12}(q_{38} + q_{79})^2 + R_{23}(q_{38} - q_{34})^2 + \\
 + R_{38}q_{38}^2 = 2347 - 0,15q_{38}^2; \\
 R_{24}(q_{34} + q_{46})^2 + R_{34}q_{34}^2 - R_{23}(q_{38} - q_{34})^2 = 0; \\
 R_{24}(q_{34} + q_{46})^2 + R_{46}q_{46}^2 - R_{56}(q_{67} - q_{46})^2 - \\
 - R_{25}(q_{79} - q_{46})^2 = h; \\
 R_{56}(q_{67} - q_{46})^2 + R_{67}q_{67}^2 - R_{57}(q_{79} - q_{67})^2 = 0; \\
 R_{12}(q_{38} + q_{79})^2 + R_{25}(q_{79} - q_{46})^2 + R_{79}q_{79}^2 + R_{57} \\
 + (q_{79} - q_{67})^2 = 2870 - 0,36q_{79}^2,
 \end{cases} \quad (7.130)$$

мұнда $q_{34}, q_{38}, q_{46}, q_{67}, q_{79}$ — ауаның тәуелсіз жұмсалуды.

Жүйенің үшінші (7.130) теңдеуінде есептердің шартына сәйкес 4-6 тармақтағы тартымның белсенді көздері депрессиясының өзгеру шамасын сипаттайтын h , параметр өзгерісі енгізілген.

Өзгертін параметр бойынша аталған жүйені дифференциалдай отырып, R және q орнына олардың базалық мәндерін тиісті қоя отырып, мынаны аламыз

$$\begin{cases} 64,2 \frac{\partial q_{38}}{\partial h} - 20 \frac{\partial q_{34}}{\partial h} + 12 \frac{\partial q_{79}}{\partial h} = 0; \\ -20 \frac{\partial q_{38}}{\partial h} + 58 \frac{\partial q_{34}}{\partial h} + 24 \frac{\partial q_{46}}{\partial h} = 0; \\ 24 \frac{\partial q_{34}}{\partial h} + 60 \frac{\partial q_{46}}{\partial h} - 16 \frac{\partial q_{67}}{\partial h} - 12 \frac{\partial q_{79}}{\partial h} = 1; \\ -16 \frac{\partial q_{46}}{\partial h} + 81,998 \frac{\partial q_{67}}{\partial h} - 46 \frac{\partial q_{79}}{\partial h} = 0; \\ 12 \frac{\partial q_{38}}{\partial h} - 12 \frac{\partial q_{46}}{\partial h} - 46 \frac{\partial q_{67}}{\partial h} + 128 \frac{\partial q_{79}}{\partial h} = 0. \end{cases}$$

Жүйені шеше отырып, бірінші шектегі туындыларды табамыз. Жоғары реттегі туындылар (7.105)-ға сәйкес есептеледі. 7.8-кестеде осы есептеулердің нәтижелері берілген.

7.8-кесте. Туындыларды есептеу нәтижелері

Тармақ коды	Базалық жұмсалы, м ³ /с	Жұмсалудан болған туындылар		
		$\frac{\partial q}{\partial h} \cdot 10^3$	$\frac{\partial^2 q}{\partial h^2} \cdot 10^6$	$\frac{\partial^3 q}{\partial h^3} \cdot 10^9$
1,2	120	0,879	-4,257	3,503
2,3	50	7,095	0,708	0,587
2,4	30	12,810	-7,829	11,620
2,5	40	-19,026	2,864	-8,709
3,4	20	-11,830	-0,509	-2,366
3,8	70	-4,735	0,199	-1,779
4,6	10	24,640	-7,319	13,991
5,6	20	-16,680	0,314	-7,287
5,7	20	-2,344	2,549	-1,422
6,7	30	7,958	-7,005	6,703
7,9	50	5,614	-4,456	5,282

7.8-кестесінің және (7.126) деректерін пайдалана отырып 4-6 тармақтағы жылу депрессиясының пайда болуы мен өзгерген жағдайда қарастырылатын сұлбаның кез келген элементінде ауаның жұмсалуын анықтау бойынша есептеу формулаларын құруға болады.

Мысалы, 4-6 элементі үшін төрт мүшеге дейін дәлдікпен жіктеу мына түрде

$$q_{46} = 10 + 2,464 \cdot 10^{-2} h - 7,319 \cdot 10^{-6} \frac{h^2}{2} + 13,991 \cdot 10^{-9} \frac{h^3}{6}.$$

Негізгі желдету желдеткішінің депрессиясын анықтау кезінде h өзгеру барысында теңдеулер сипаттамасына q_{38} және q_{79} орнына олардың мәндерін қою қажет, ол мәндер (7.117)-ға сәйкес тиісті тәуелділіктер арқылы белгіленген. Қорытындысында аламыз

$$h_1 = 2347 - 0,15 \left(70 - 4,735 \cdot 10^{-3} h + 0,199 \cdot 10^{-6} \frac{h^2}{2} - 1,779 \cdot 10^{-9} \frac{h^3}{6} \right)^2;$$

$$h_2 = 2870 - 0,36 \left(50 + 5,614 \cdot 10^{-3} h - 4,456 \cdot 10^{-6} \frac{h^2}{2} + 5,282 \cdot 10^{-9} \frac{h^3}{6} \right)^2.$$

Осылайша, қойылған сұрақтарға нақты жауап алдық. Берілген сұлбаның қалған тармақтары бойынша ауаның жұмсалуды осыған ұқсас түрде өтеді. Контурдағы депрессия алшақтығы бойынша есептеу дәлдігін бағалау h өзгеру аралығының шекарасында есептеудегі қателік 13 пайыздан аспайтынын көрсетті. Есептеу дәлдігін арттыру тәуелділікті жіктеу мүшелер санының ұлғаюына байланысты (7.126).

Бақылау сұрақтары

1. Қандай сұлба түрінде өнеркәсіптік желдету желісі бейнеленеді ?
2. Есептеу желдету сұлбасында торап деп нені атайды ?
3. Есептеу желдету сұлбасында контур деп нені атайды ?
4. Есептеу желдету сұлбасында $K = n - (N - 1)$ түрдегі тәуелділік нені анықтайды ?
1. Желдету қосылыстарының негізгі типтерін атаңыз.
2. Желдету желісінің негізгі заңдарын тұжырымдаңыз.
3. Параллель қосылыстың жалпы депрессиясы қалай анықталады ?
4. Қандай тәуелділік негізінде ауа жолдарын бірізділікті қосылудың жалпы кедергісі анықталады ?
5. Қандай тәуелділік негізінде ауа жолдарын параллель қосылудың жалпы кедергісі есептеледі ?
6. Ауа жолдарын бірізділікті қосудың жалпы депрессиясы неге тең ?
7. Қандай тәуелділік ауа жолдарын параллель қосудың i -лі тармағында ауаның жұмсалуды анықтау үшін пайдаланылады ?
8. Қандай параметрлерден ауа жолдарын тиісті қосу диагоналында ауа қозғалысының бағыты байланысты ?
9. Қандай жағдайда желдету қосылыстың сәйкес келетін диагоналында ауа қозғалысы болмайды ?
10. Күрделі желдету қосылыстарын есептеу қалай жүзеге асырылады ?
11. Желдету желісін есептеу үшін пайдаланылатын Ньютон әдісінен Андрияшев – Кросс әдісінің айырмашылықтары қандай?

12. Желдету желісінде ауаның жұмсалуды реттеудің негізгі тәсілдерін атап көрсетіңіз.
13. Реттеуші органдарға қандай талаптар қойылады ?
14. Негізгі желдету желдеткішінің көмегімен желдету ағындарын басқару қалай жүзеге асырылады ?
15. Желдету желісінде ауаның жұмсалуды реттеудің теріс тәсілі дегеніміз не ?
16. Ауа жұмсалуды реттеудің теріс тәсілдері кезінде желдету терезесінің алаңын анықтау үшін пайдаланылатын тәуелділіктерді жазыңыз.
17. Желдету желісіндегі ауаның жұмсалуды реттеудің оң тәсілдерінің мағыналығы неде ?
18. Реттеудің оң және теріс тәсілдері кезінде қандай ерекшеліктер мен кемшіліктер болатынын көрсетіңіз.
19. Берілген шама бойынша ауаның жұмсалуды ұлғайту үшін реттелетін тармақтағы көлденең қиманы қаншалықты өзгерту ұсынылады ?
20. Желдету желісінде магистралды бағытты таңдау негізінде қысым теңдеуі қалай жүзеге асырылады ?
21. Желдеткіш жұмысы режимінің өзгерісімен желдету желісіне келіп түсетін ауаның жұмсалуды реттеу қалай жүзеге асырылады ?
22. Пассивті реттегіштердің белсенді реттегіштерден айырмашылығы қандай ?
23. Түр тәуелділігі нені сипаттайды:
24.
$$q_i = q_{i,0} + \sum_{n=1}^n \frac{1}{n!} (\alpha_j - \alpha_{j,0})^n \frac{\partial^{(n)} q_i}{\partial \alpha_j^{(n)}} ; i = \overline{1, m} ?$$
25. Күрделі желдету желісінде K_{ji} ауа ағындарының өзара байланыс коэффициенті нені сипаттайды ?
26. Ауаның басқарылатын ағынында пассивті реттегіштің күшті әсер ету жағдайы үшін өзара K_{ji} байланыс коэффициентінің өзгеру диапазонын көрсетіңіз.
27. Негізінде Лагранж формуласы салынған ауа ағындарының өзара байланыс тәуелділігін жазыңыз.