

## **5 Желдету ағындарын басқару**

### **5.1 Реттеу міндеттері мен тәсілдері**

Желдету жүйесінде ауаның табиғи бөлінуі талап етілгендерге сай келмейді. Бұл ауа жолдарының аэродинамикалық параметрлері (үйкеліс коэффициенттері, қимасы, газ молдылығы, механикалық қоспалар және т.б.) тұрақты болып табылмайды, ал уақыт ағысымен өзгеруі мүмкін. Мұндай жағдайда желдету желісі жұмысының берілген режимін қамтамасыз ету реттеу көмегімен жүзеге асады, сол арқылы желіге келіп түсетін ауа мөлшерінің өзгерісі және желдету объектілері арасында ауаны қайта бөлу өзгерісі бойынша іс-шаралар жүйесін білдіреді.

Желдету желісінде ауаның жұмсалуын реттеудің негізгі мақсаты – бұл жұмыс орындарын, жекелеген учаскелерді, әртүрлі жайларды қажетті ауа мөлшерімен қамтамасыз ету. Жалпы жағдайда аталған міндет әбден күрделі болып табылады, себебі желдету желісінде кез келген тармақтың аэродинамикалық параметрлердің өзгерісі белгілі бір шамада барлық жүйеге ауаның таралуының өзгерісіне әкеп соғады.

Қазіргі кезде пайдаланылатын реттеу тәсілдері теріс (жеке тармақтар кедергісін ұлғайту), оң (жеке тармақтар кедергісін азайту немесе желдету сұлбасына тартымның белсенді көздерін енгізу) және аралас деп бөлінеді, реттеудің екі тәсілінің басқа нұсқалары пайдаланылады.

Реттеу органдарына қойылатын негізгі талаптар:

1. Реттеу жеделдігі және жеткілікті тереңдігі.
2. Реттеу шамасының өзгерістерінің бір қалыптылығы.
3. Басқаруды автоматтандыру және жұмыстағы сенімділік мүмкіндігі.

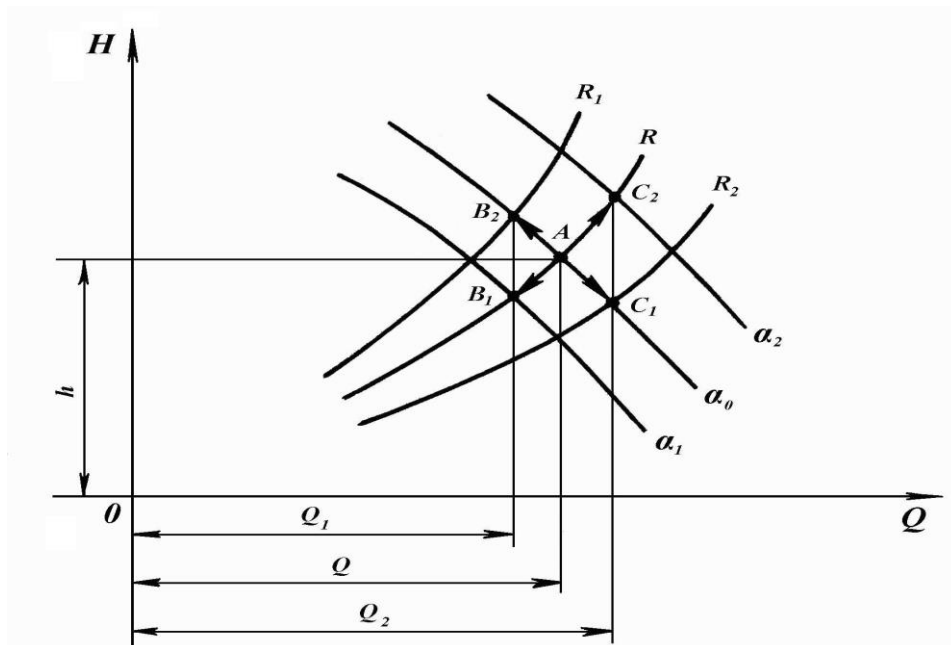
Практикада реттеудің барлық тәсілдері осы талаптарға сай келе бермейді. Мысалы, көлденең қиманың немесе ауа жолы ұзындығының өзгерістерімен, шахта жағдайында параллель қазбаларды өткізумен және т.б. байланысты оң реттеудің тиімді түрлері желдету ағындарын жедел басқару кезінде пайдаланыла алмайды, себебі оларды жүзеге асыру үшін елеулі уақыт бөлінеді. Шахтада желдету желісінде ауаны жедел қайта бөлу үшін сенімді реттеуші органдарды жасау – бұл әрі қарай шешімін табуды талап ететін күрделі және маңызды міндет.

### **5.3 Желдеткіш жұмысы режимінің өзгерістерін реттеу**

Реттеудің аталған тәсілі желі кедергісінің өзгерістерімен қамтамасыз етілуі мүмкін, онда желдеткіш өнімділігінің өзгерістерімен немесе осы тәсілдер комбинациясымен желдеткіштер жұмыс істейді. Желдеткіш арқылы ауаны беруді жұмыс доңғалағының қалақшасын орнату бұрышын, бағыттаушы аппарат қалақшасын орнату бұрышын, центрден тепкіш желдеткіштің жұмыс

доңғалағы қалақшасының бұрылу бұрышын өзгерту және жұмыс доңғалағы айналымдар санын өзгерту арқылы ұлғайтуға немесе азайтуға болады.

Желдету желісінде желдеткіш жұмысының режимі  $\alpha_0$  қалақшасын орнату бұрышы кезінде  $R$  кедергісімен  $A$  нүктесінде анықталады (4.10-сурет). Бұл жағдайда желдету желісіне  $h$ -ға тең депрессия кезінде  $Q$  мөлшердегі ауа түседі. Егер  $Q_2$  шамасына дейін ауаны беруді ұлғайту қажет болса, онда желдету желісінде тұрақты кедергі кезінде қалақшаны орнату бұрышының ұлғаюымен немесе  $\alpha_0$  ( $C_1$  нүктесі) осындай сипаттамасы бойынша жұмыс кезінде  $R_2$  шамасына дейін желі кедергісін азайту арқылы қол жеткізуге болады. Соңғы жағдайда  $A$  нүктесінен желдеткіш жұмысы режимінің  $\alpha_2$  сипаттамасында жатқан  $C_2$  нүктеге келеді. Желдету желісінде  $Q_1$  шамаға дейін ауаны беруді азайту  $\alpha_1$  дейінгі қалақшаны орнату бұрышын ( $A$  нүктесінен жұмыс режимі  $B_1$  нүктесіне өтеді) азайту немесе осындай сипаттама бойынша ( $B_2$  нүктесі) жұмыс кезінде  $R_1$  шамаға дейінгі желі кедергісін ұлғайту арқылы мүмкін. Қалақшаны орнату бұрышының бір уақытта өзгеру немесе осындай нәтижеге қол жеткізу үшін желі кедергісінің өзгеру нұсқалары мүмкін.



5.10 – сурет. Жалпы ауаның жұмсалуды реттеу

Реттеудің аталған тәсілін пайдалана отырып, келесі ережелерді басшылыққа алу ұсынылады. Желдеткіш өнімділігін азайту жұмыс доңғалағының айналу жиілігін мақсатқа сай азайту арқылы немесе желі кедергісін ұлғайту арқылы емес, қалақшаны орнату бұрышы арқылы болуы мүмкін, өйткені соңғы жағдайда желдеткіштің пайдалы әрекетінің коэффициентін мүмкін азайту арқылы қуат шығыны да ұлғаяды. Желдеткіш өнімділігін ұлғайту кезінде қалақшаны орнату бұрышын ұлғайтпай-ақ желі кедергісін басымырақ азайту керек. Желі кедергісі және қалақшаны орнату бұрышын бір уақытта өзгерту нұсқалары мүмкін. Алайда сол немесе басқа

нұсқаны түпкілікті таңдау қарастырылатын нұсқаларды экономикалық салыстыру негізінде жасалуы мүмкін.

### 5.3.3 Ауа жолы кедергісінің өзгерістерін реттеу

Әлсіз тармақта теріс реттеудің тәсілдері кезінде реттегіштер орнатылады, реттегіштер ретінде ысырмалар, бұрылыс жапқыштары, диафрагмалар болуы мүмкін. Шахта жағдайында – бұл желдету терезесі, есік ойықтары, бұрылыс тілімшелері, шлюздер және т.б. Параллель тармақтар депрессиясын теңестіретін және ауаның талап етілгенге сай бөлінуін қамтамасыз ететін қосымша  $R_d$  кедергісі мына формула бойынша анықталады

$$R_d = R_1 \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 - R_2, \quad (5.61)$$

мұнда  $R_1$  және  $R_2$  – параллель қосылыстар тармақтарының бастапқы кедергісі, Па·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>;

$Q_1$  және  $Q_2$  – тармақтағы ауаның берілген шығындары, м<sup>3</sup>/с.

Сол тармақтағы қосымша кедергі белгіленеді, оның депрессиясын параллель тармақтармен теңестіру қажет.

Шахта жағдайында теріс реттегіштің барынша таралған типі желдету есігінде жалғастырғыштағы немесе желдету есігінде тесікті білдіретін желдету терезесі болып табылады. Желдету терезесін есептеу мына формулалар бойынша оның  $S_{ок}$  (м<sup>2</sup>) ауданын анықтауға әкеледі:

$$S_{ок} = \frac{S_е}{0,65 + 0,84S_е \sqrt{R_d}} \quad \text{кезде } S_{ок} / S_е < 0,5, \quad (5.62)$$

$$S_{ок} = \frac{S_е}{1 + 0,76S_е \sqrt{R_d}} \quad \text{кезде } S_{ок} / S_е > 0,5, \quad (5.63)$$

мұнда  $S_е$  – желдету терезесі орнатылатын жерде қазбаның көлденең қимасының ауданы, м<sup>2</sup>.

Теріс реттеу тәсілінің маңызды кемшілігі желдету қосылыстарындағы жалпы кедергіні ұлғайту болып табылады, ал бұл реттелетін учаскеге, соның ішінде желдету жүйесіне ауаның келуін азайтуға мүмкіндік туғызады. Практика терезелер көмегімен реттеу күшейтілетін ағыста ауаның салыстырмалы шағын ұлғаюына және желдету терезесі бар қазбада оның елеулі азаюына әкеліп соғатынын көрсетеді. Бұдан басқа, реттеудің аталған тәсілі тау-кен қазбалары бойымен көлік қозғалысын қиындатады және диагональ қосылыстарда желдету ағыстарының төңкерілуі үшін жағдай жасайды.

Желдету объектілері арасында ауаны қайта бөлуі мақсатында бір немесе бірнеше тармақтар кедергісін азайту реттеудің оң тәсілдерінің типіне жатады, оларды жүзеге асыруға қаншама уақыт, еңбек және қаражат жұмсалады. Сондықтан тау-кен өнеркәсібінде шахтаны желдетумен жедел басқару жүйесінде бұл тәсіл қолданылмайды, ал ол жағдайлар болмаған жағдайда, тау-кен жұмыстарын дамытудың алғашқы сатысында тармақтар кедергісін ұлғайту немесе қажеттілік болса оны азайту арқылы желдету ағыстарын жасанды мұздату пайдаланылады. Кедергінің азаюымен байланысты барлық сұрақтар аэродинамикалық түсірілімдерді жүргізгеннен кейін шешіледі, шахта желісінің қиын желдетілетін бағытында арынды азайту мақсаты арқылы кейбір қазбаларды қайта қаңғырту бойынша тиісті іс-шаралар байқалады. Тәсіл ерекшелігі – желдету жүйесінде ауаны беру ұлғаяды.

Күшейтілетін тармақта ауаның жұмсалуы оң реттеу кезінде  $Q_1$  берілген шамаға дейін ұлғаяды, параллель әлсірейтін тармақта ауаның жұмсалуы  $Q_2$  шамаға дейін азаяды. Ауаның жаңа жұмсалуы кезінде параллель тармақтың депрессиясы тең болады, егер аэродинамикалық  $R_1$  кедергі шамаға дейін азаяды

$$R_1^* = R_2 \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^2. \quad (5.64)$$

Тау-кен қазбаларында аэродинамикалық кедергісін азайту мына мәндерге дейін аэродинамикалық кедергі коэффициентін азайту арқылы алуға болады

$$\alpha_1 = R_1^* \frac{S_1^3}{L_1 C_1}. \quad (5.65)$$

Коэффициенті  $\alpha_1$  бойынша бекітпенің тиісті түрі таңдап алынады.

Берілген мәндерге дейін күшейтілетін тармақта ауаның жұмсалуын ұлғайту мына формула бойынша анықталатын  $S_1^*$  шамаға дейін оның  $S_1$  көлденең қимасын ұлғайту арқылы болады

$$S_1^* = S_1 \left( \frac{R_1}{R_1^*} \right)^{2/5}. \quad (5.66)$$

Келтірілген формулаларда  $L$ ,  $C$  – күшейтілетін тармақта қазбаның сәйкес ұзындығы және периметрі.

Егер көп ағынды қосылыстарда кедергіні азайту қажет болса, онда тиісті іс-шараларды тармақта ең үлкен аэродинамикалық кедергімен жүргізу ұсынылады.

### 5.3.2 Магистраль бағытын таңдау негізінде қысым шығынын теңестіру

Аталған тәсіл тау-кен бейінді емес өнеркәсіптік желдету желілерінде ауаны қайта бөлу және есептеу кезінде кеңінен пайдаланылады. Оның маңызы мынада, желдету желісі учаскелерге бөлінеді және номерленеді. Тікелей сызықты кесінділер мен фасонды тетіктерден тұратын әрбір учаске үшін оның ұзындығы мен орналасатын ауа мөлшері анықталады. Есептеу сұлбасының барлық тораптарында ауаның жұмсалуды желінің бірінші заңына байланысты. Берілген ауаның жұмсалуды бойынша ауа ағындары қозғалысының берілген жылдамдығы кезінде құбыр жолдарының көлденең өлшемдерін немесе берілген көлденең қима кезінде ауа ағындарының қозғалыс жылдамдығын анықтайды.

Негізінен, тармақталған желдету желісі ауаның жұмсалуды тұрақтылығымен сипатталады, ал бұл ауа жолының көлденең қимасының тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Қысым шығыны  $i$ -лі түзу сызықты учаскеде  $h = RQ^2$  формула бойынша немесе мына түрдегі тәуелділікке сәйкес болады

$$h_i = \lambda_i \frac{\rho_i}{8} \frac{L_i C_i}{S_i} v_i^2. \quad (5.67)$$

Қысым шығыны  $i$ -лі жергілікті кедергіні жеңуде мына формула бойынша табуға болады

$$h_{m,i} = \xi_i \frac{\rho_i}{2} v_i^2. \quad (5.68)$$

Жергілікті кедергіні есептеу процесінде ауа ағыны қозғалысының үлкен жылдамдығы бар учаскені қарастыру ұсынылады.

Тармақталған желдету сұлбасының оның кез келген бағыттары бойынша қысымның жалпы шығыны желіге ауаның келіп түсуінен желдету жүйесінің ауаның шығуына дейінгі барлық шығындарды қосындылау арқылы анықталады және мынаған тең шаманы құрайды

$$h_{об} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{\rho_i}{8} \frac{L_i C_i}{S_i} v_i^2 + \sum_{i=1}^m \xi_i \frac{\rho_i}{2} v_i^2. \quad (5.69)$$

Қысымның қосынды шығынының ең үлкен болуын жеңу үшін барынша күрделі әрі ұзақ жолды магистраль бағыты деп атау қарастырылған. Магистраль бағытқа енбейтін желі учаскелері тармақталған болып табылады.

Магистраль бағыттың кез келген  $k$ -лі торабында тораптық  $p_k$  қысым шамасы, яғни ауаның құбыр жолға келіп түскенінен  $k$ -лі торапқа дейінгі ауаның орын ауыстыруына жұмсалатын қысым шығынының қосындысын білдіреді, (4.60) формуласы бойынша анықталатын және аталған торапқа енетін кез келген тармақталудың әрқайсысында  $h_{k,om}$  қысым шығынының қосынды шамасына және желінің екінші заңының күшіне тең болуы тиіс. Егер есептеулер нәтижесінде  $p_k \neq h_{k,om}$  болса, онда ертерек қабылданған шығындарды сақтау кезіндегі қысымды үйлестіру үшін мына ара қатыстан тармақталудағы  $d$  құбыр жолының жаңа диаметрін анықтау ұсынылады

$$d = d_1 \left( \frac{p_k}{h_{k,om}} \right)^{0,2}, \quad (5.70)$$

мұнда  $d_1$  – қысымды үйлестіруге дейін тармақталудағы құбыр жолының диаметрі, м.

Егер тармақталуда үйлесетін қысым шығындары бойынша шығынды ( $Q_1$  орнына  $Q$ ) өзгерту қажет, онда жаңа диаметрлерді ( $d_1$  орнына  $d$ ) мына формула бойынша табуға болады

$$d = d_1 \left( \frac{Q}{Q_1} \right)^{0,4}. \quad (5.71)$$

Егер желдету жүйесін есептеу және құрылымдау процесінде диаметрлерді өзгерту арқылы қысымды үйлестіруді жүргізу мүмкіндігі жоқ болса, онда жапқыштар, дроссель клапандар, реттеу ысырмалары, диафрагма және т.б. түрінде арнайы құрылғыларды орнатуды қарастыру қажет. Құбыр жолын жабудың шамалы дәрежесі мына формула бойынша есептелетін  $\xi$  жергілікті кедергі коэффициенті негізінде анықталады

$$\xi = \Delta p / \left( \frac{\rho}{2} \right) v^2, \quad (5.72)$$

мұнда  $\Delta p$  – қосымша қысым, онда тармақталуда арын шығынын ұлғайту ұсынылады, Па.

Жергілікті  $\xi$  кедергі коэффициенті бойынша реттегіштің сәйкес типі таңдап алынады.

**20-мысал.** Шахта қазбалардың параллель қосылысының басына қарай  $R_1 = 0,05$  даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup> және  $R_2 = 0,02$  даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup> кедергімен 30 м<sup>3</sup>/с ауа түседі. Қазбада  $R_2$ , орнатылған желдету терезесінің ауданын анықтау талап етеді, яғни  $R_1$  қазбаға  $Q_1 = 18$  м<sup>3</sup>/с мөлшерде ауаның берілісін қамтамасыз етеді. Терезе орнатылатын қазбаның көлденең қимасының ауданы  $S_2 = 10$  м<sup>2</sup>.

Шешімі. Желінің бірінші заңы күшінде  $R_2$  тармақта  $Q_2 = Q - Q_1 = 30 - 18 = 12$  м<sup>3</sup>/с мөлшердегі ауа түседі.

(4.61) формуласы бойынша қосымша кедергіні анықтаймыз, оны  $R_2$  тармаққа белгілеу ұсынылады.

$$R_d = 0,05 \cdot (18/12)^2 - 0,02 = 0,0925 \text{ даПа} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6.$$

(4.62) формуланы пайдалана отырып, желдету терезесінің ауданын табамыз.

$$S_{ок} = \frac{10}{0,65 + 0,84 \cdot 10 \cdot \sqrt{0,0925}} = 3,12 \text{ м}^2.$$

Өйткені  $S_{ок} / S_2 = 3,12/10 = 0,312 < 0,5$  болса, онда есептеу ақырғы болып табылады. Осылайша, егер әлсіреген тармақта 3,12 м<sup>2</sup> ауданы бар желдету терезесін орнату қажет болса, онда берілген желдету қосылысында ауаның талап етілген бөлінуі қамтамасыз етілетін болады.

**21-мысал.** Екі тармақтан тұратын параллель қосылыстың басына қарай 36 м<sup>3</sup>/с ауа келіп түседі. Аталған өлшеулер бойынша  $S_1 = 6$  м<sup>2</sup> қималы бірінші тармаққа  $Q_1 = 12$  м<sup>3</sup>/с ауаның түсуі белгіленген. Аталған тармаққа 20 м<sup>3</sup>/с ауаның келуін қамтамасыз ету үшін оның  $S_1^*$  қимасы қандай болуы керектігін анықтау талап етіледі, егер екінші тармақ депрессиясын реттеу моменті  $h_2 = 72$  даПа. болса.

Ш е ш і м і. Реттеу моментінде екінші тармаққа түсетін ауа мөлшері  $Q_2 = Q - Q_1 = 36 - 12 = 24$  м<sup>3</sup>/с. шаманы құрайды. Өйткені параллель тармақтардың депрессиясы тең болса, онда ұйғарым әділ болады, яғни  $h_1 = h_2 = 72$  даПа. Осыған байланысты реттеу сәтінде тармақтардың кедергісін анықтаймыз:

$$R_1 = h_1 / Q_1^2 = 72 / 12^2 = 0,5 \text{ даПа};$$

$$R_2 = h_2 / Q_2^2 = 72 / 24^2 = 0,125 \text{ даПа}.$$

Бірінші тармақта реттеуден кейін  $Q_1 = 20$  м<sup>3</sup>/с. түсуі тиіс, ал екіншісіне  $Q_2 = Q - Q_1 = 36 - 20 = 16$  м<sup>3</sup>/с ауа сәйкес түседі.

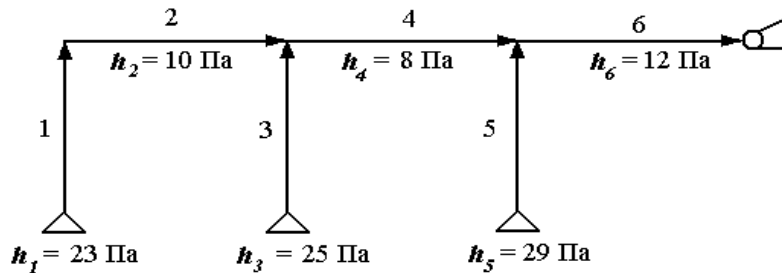
Ауаның талап етілген қайта бөлуін қамтамасыз ету үшін бірінші тармақтың жаңа аэродинамикалық кедергісін (4.64) сәйкес мына шамаға дейін азайту ұсынылады

$$R_1^* = R_2 \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 = 0,125 \left( \frac{16}{20} \right)^2 = 0,08 \text{ даПа}.$$

Табылған кедергіге сәйкес келетін бірінші тармақтың көлденең қимасы (4.66) формуласы бойынша анықталады.

$$S_1^* = S_1 \left( \frac{R_1}{R_1^*} \right)^{2/5} = 6 \left( \frac{0,5}{0,08} \right)^{2/5} = 12,5 \text{ м}^2.$$

**22-мысал.** 4.11-суретте көрсетілген сұлба үшін желдету желісінің магистраль бағытын және оның тармақталуын анықтау керек. Магистральдің және тармақталудың сәйкес келетін учаскелерінде қысымды теңестіру үшін арынның қосымша шығынын табу керек.



4.11 – сурет. Тармақталған ауа жолының сұлбасы

**Ш е ш і м і.** Аталған сұлба үш бағытты қамтиды. Бірінші бағыт 1 – 2 – 4 – 6 учаскелерін, екінші бағыт 3 – 4 – 6 учаскелерін енгізеді, ал үшінші бағыт 5 – 6 екі учаскеден тұрады.

Бірінші бағыт үшін қысымның қосынды шығыны тең болады:

$$h_1 + h_2 + h_4 + h_6 = 23 + 10 + 8 + 12 = 53 \text{ Па.}$$

Екінші бағыт бойынша қысым шығыны мынаған тең шаманы құрайды:

$$h_3 + h_4 + h_6 = 25 + 8 + 12 = 45 \text{ Па.}$$

Үшінші бағыт үшін мынаны аламыз

$$h_5 + h_6 = 29 + 12 = 41 \text{ Па,}$$

осы жерде магистральды бағыт бірінші бағыт болып табылады, өйткені басқа бағыттар бойынша қысым шығыны ең бірінші бағытқа қарағанда аз. 3 және 5 учаскелері тармақталған болып табылады. Желідегі қысым шығынын теңестіру үшін тармақталудағы шығынды магистралдағы қысым шығынының шамасына дейін ұлғайту қажет.

Тармақталудағы (3 учаске) қысым шығынын мына шамаға ұлғайту ұсынылады

$$\Delta h_3 = h_1 + h_2 - h_3 = 23 + 10 - 25 = 8 \text{ Па,}$$

Тек бұл жағдайда ғана шығын (33 Па) теңестіріледі.

Тармақталуда (5 учаске) қысым шығынын мына шамаға ұлғайту қажет

$$\Delta h_5 = h_1 + h_2 + h_4 - h_5 = 23 + 10 + 8 - 29 = 12 \text{ Па.}$$

Осылайша, тармақталудағы қысым шығынын теңестіргеннен кейін желінің барлық бағыты бойынша арын шығыны ауаның келуі нүктесінен желдеткіштің сорушы тесігіне дейін бірдей болады.



Реттеудің осы немесе басқа тәсілін қолдана отырып, келесілерді ескеру қажет. Кез келген ауа жолының аэродинамикалық кедергісін ұлғайту желдету жүйесінің жалпы кедергісін ұлғайтады, желдету жүйесіне ауаның түсуін азайтуға әкеледі. Қосымша кедергімен немесе басқа теріс реттегішпен жасалатын қосымша депрессия үлкен болған сайын оның желдеткішке әсері де соншалықты күшті.

Ауа жолының аэродинамикалық кедергісін азайту желдету желісі кедергісін жалпы азайтуға мүмкіндік береді. Бұл ретте желдету жүйесіне келіп түсетін ауаның мөлшері ұлғаятын болады.

## **5 Күрделі желдету желісінде аэродинамикалық параметрлердің өзара байланыстылығы**

### **5.4.1 Күрделі желдету желісінде ауа ағынының өзара байланыстылығын беру түрі**

Өндіріс жағдайында шахтаны желдетуді басқару үздіксіз процесс болып табылады, негізінен, даярлау және тазалау жұмыстарын дамытумен, жаңа горизонттарды пайдалануды енгізумен, желдету жүйесін біріктірумен, қазбаларды қоршау немесе оларды жоюмен, газ баланысының өзгеруімен, реттеуші құрылғыларды орнату немесе бөлшектеумен, апатты жағдайлардың пайда болуымен және т.б. байланысты.

Барлық аталған жағдайда желдету жүйесіне ауаны қайта бөлу сипаты реттеудің кезекті актісін орындау кезінде сызықтық көп өлшемді міндеттерді шешу немесе шахта жағдайында тікелей өлшеу арқылы табылуы мүмкін. Инженерлік-техникалық персоналға сызықтық емес көп өлшемді жүйелерді шешуге тырыспай-ақ ағынды бөлу өзгерістерін талдауға мүмкіндік беретін желдету желісін есептеудің жеткілікті қарапайым әдістерінің болмауы жер асты қазбаларында ауа шығынын нақтылаудың екінші тәсілін пайдалануды көбінесе реттеуші құрылғыларды орнату немесе бөлшектеу кезінде мәжбүрлейді.

Сондықтан желдету желісін талдаудың қолданыстағы әдістерінің жалпы кешенінде аэродинамикалық параметрлердің өзара байланысын зерттеуге апарады, оның базасында реттелетін тармақтарда ауаның жұмсалуы өзгерісіне есептеудің жеткілікті қарапайым және сенімді әдістері құрылуы мүмкін. Бұл ретте өзара байланыстылық деп  $j$ -лі басқарушы қазбада реттегіштің аэродинамикалық параметрлерінің өзгерістерінен желдету желісінің  $i$ -лі тармағында ауаның жұмсалу өзгерісінің тәуелділігі деп түсіну керек.

Желдету сұлбасында аэродинамикалық параметрлердің өзара байланыстылығы жалпы түрде мына теңдеулер жүйесінде толық көрініс табады

$$\begin{cases} \sum_{i \in S} q_i = 0; \\ \sum_{i \in L} R_i q_i^2 + h_L = 0, \end{cases} \quad (5.73)$$

мұнда  $q_i$  –  $i$ -лі қазбадағы ауаның жұмсалуды, м<sup>3</sup>/с.

Алайда осы жүйеден мына типтегі тәуелділікке көшу

$$q_i = F(R_1, R_2, R_3, \dots, R_n)$$

тау-кен қазбаларының бірізділікті – параллель қосылыстары үшін сипатты қарапайым байланыстар жағдайында болады. Міндеттің жалпы қойылымын ескере отырып, төменде күрделі желдету желісінде ауа ағынының өзара әсерін зерттеуге қажетті бірқатар амалдар талқыланады.

Еркін күрделіліктің желдету желісін сипаттайтын (6.73) түрдегі сызықтық емес теңдеулер жүйесінің бастапқы жүйесі болсын. Егер  $q_0 = \{q_{1,0}, q_{2,0}, q_{3,0}, \dots, q_{m,0}\}$  берілсе, оның компоненттері (4.64) жүйе шешімі болып табылады және параметрлердің  $\alpha_0 = \{\alpha_{1,0}, \alpha_{2,0}, \dots, \alpha_{p,0}\}$  көрсетілген кейбір векторына сәйкес келеді, онда  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_p$  параметр функциялары ретінде  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$  белгілі ағындарды қарастыра отырып, оларды жалпы жағдайда Тейлор қатары түрінде ұсынуға болады

$$q_i = q_{i,0} + \sum_{n=1}^n \frac{1}{n!} (\alpha_j - \alpha_{j,0})^n \frac{\partial^{(n)} q_i}{\partial \alpha_j^{(n)}}; i = \overline{1, m}, \quad (5.74)$$

мұнда  $q_i$  –  $i$ -лі тармақта ауаның жұмсалуды анықтауға жататын белгісіздік;

$q_{i,0} - \alpha_{j,0}$  реттегіштің кейбір көрсетілген мәндеріне сәйкес келетін  $i$ -лі тармақта белгісіз базалық ауаның жұмсалуды;

$\alpha_j, j = 1, 2, \dots, p$  – желдету жүйесінің реттелетін аэродинамикалық параметрлері, ол параметрлер ретінде кедергісі, тартым көздерінің депрессиясы, ауаның жұмсалуды және т.б. болуы мүмкін;

$\frac{\partial^{(n)} q_i}{\partial \alpha_j^{(n)}}$  –  $\alpha_j$  айнымалы параметр бойынша  $q_i$  функцияның  $n$ -лі реттегі

туындысы;

Ағындардың (4.74) түрдегі өзара байланысты шартын пайдалану желдету желісінде аэродинамикалық параметрлердің тұрақсыз жағдайында міндеттер шешімін елеулі түрде қысқартады. Егер берілген сұлба үшін ауаны базалық бөлу белгілі болса, мысалы, тартым көздерінің депрессиясы немесе реттеуші органдары кедергісінің жиі өзгерісі кезінде (4.74) формула бойынша табылуы

мүмкін, бұл жағдайда теңдеулердің сызықтық емес жүйесін бірнеше реттік шешу қажет емес. Есептеулердің қолайлы дәлдігі жіктеудің үш-төрт мәндерін есептеу кезінде қол жеткізіледі, негізінен, белгілер алмасатын қатарда есептеулердегі қателер бірінші шығарылған мүшелерден абсолюттік шамадан аспайды.

Негізінен, есептеулердегі қателерді Лагранж пішініндегі қалдық мүшелердің шамасы бойынша бағалауға болады

$$\sigma(q) \leq \frac{(\alpha_j \alpha_{j,0})^{n+1}}{(n+1)!} f^{(n+1)}(\xi), \quad (5.75)$$

мұнда  $f^{(n+1)}(\xi) - \alpha_{j,0}$  және  $\alpha_j$  арасында жатқан  $\xi$  кейбір нүктеде шығын функциясынан  $(n+1)$  реттегі туынды. Базалық нүктеде есептелген кез келген реттегі туындының максимум шамасына тең бағдарлауға болады, ал қорытындысында есептеу дәлдігін бағалау талаптарын арттырады.

Бірқатар ұқсастықтар шарттарды орындау кезінде қамтамасыз етіледі:

$$\alpha_j < \frac{\left| \frac{\partial^{(n-1)} q_i}{\partial \alpha_j^{(n-1)}} \right|}{\left| \frac{\partial^{(n)} q_i}{\partial \alpha_j^{(n)}} \right|} + \alpha_{j,0}. \quad (5.76)$$

(4.74) және (4.76) өрнекке енетін белгісіз туындыларды анықтау үшін,  $\alpha_j, j=1, p$  айнымалы параметр бойынша (4.73) теңдеулердің бастапқы жүйесін қайта дифференциалдаймыз. Мынаны аламыз

$$\begin{cases} \sum_{i \in S} \frac{\partial q_i}{\partial \alpha_j} = 0; \\ \sum_{i \in L} 2R_i q_i \frac{\partial q_i}{\partial \alpha_j} + \frac{\partial h_f}{\partial \alpha_j} = 0, \text{ если } \alpha_j \neq R_i; \\ \sum_{i \in L} 2R_i q_i \frac{\partial q_i}{\partial \alpha_j} + \frac{\partial h_f}{\partial \alpha_j} + \sum_{i \in L} q_i^2 = 0, \text{ если } \alpha_j = R_i, j = \overline{1, p}. \end{cases} \quad (5.77)$$

$R_i$  және  $q_i$  орнына олардың бастапқы базалық мәндеріне қоя отырып,

теңдеулердің сызықтық жүйесін аламыз, сол теңдеуді шеше отырып, бірінші туындылардың сандық мәндерін аламыз.

Қайталап дифференциалдаудан кейін мына түрде боламыз

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i \in S} \frac{\partial^2 q_i}{\partial \alpha_j^2} = 0; \\ \sum_{i \in L} 2R_i q_i \frac{\partial^2 q_i}{\partial \alpha_j^2} + \frac{\partial h_f}{\partial \alpha_j^2} + \sum_{i \in L} 2R_i \left( \frac{\partial q_i}{\partial \alpha_j} \right)^2 = 0, \\ \quad \text{если } \alpha_j \neq R_i; \\ \sum_{i \in L} 2R_i q_i \frac{\partial^2 q_i}{\partial \alpha_j^2} + \frac{\partial^2 h_f}{\partial \alpha_j^2} + \sum_{i \in L} 2R_i \left( \frac{\partial q_i}{\partial \alpha_j} \right)^2 + \\ + \sum_{i \in L} 4q_i \frac{\partial q_i}{\partial \alpha_j} = 0, \text{ если } \alpha_i = R_i, j = \overline{1, p}. \end{array} \right. \quad (5.78)$$

Жүйелерді (4.78) аналогтық қою екінші туындының салыстырмалы сызықтық түріне әкеледі. Бұл ретте  $\partial q_i / \partial \alpha_j$  олар бұрын табылған сәйкес келетін мәндерді қояды. Бірізділікті дифференциалдауды жалғастыра отырып, кез келген реттегі туындыларды есептеу үшін қажетті теңдеулер жүйесін алуға болады. Осылайша, (4.74) өрнекке енетін барлық параметрлер оңай анықталады.

**Ескерту.** Анықталатын туындылар кезінде коэффициенттер матрицасы тұрақты болып табылады, олардың тәртібіне де және желілік теңдеулердің бастапқы жүйесі қандай параметр бойынша дифференциалданатынына да байланысты емес. Матрица компоненттері контурлар бойынша үлкен туындылар кезінде  $2R_i q_i$  және тораптар бойынша ізделетін туындылар кезіндегі бірлікке тең.

(4.77) және (4.78) жүйесінде үлкен туындылар кезінде коэффициенттерді қалыптастыруды талдау ескерту әділдігіне көз жеткізу оңай.

Шындығында,  $\partial q_i / \partial \alpha_j$  және  $2R_i q_i (\partial q_i / \partial \alpha_j)$  өрнектерді дифференциалдау тәртібін қанша рет өзгертсек те, үлкен туындылар кезінде коэффициенттер өзгеріссіз қалады.

Жалпы жағдайда  $h_L$  туындысы тартым көздері сипаттамасының теңдеуіне байланысты болады. Оны дифференциалдау жоғарыда айтылған ұйғарымдарды бұза алмайды.

Егер  $h_L = const$  және  $\alpha_j \neq h_L$ , то  $\left( \frac{\partial h_L}{\partial \alpha_j} \right) = 0$ ;  $h_L = f(q)$  кезде желдеткіш сипаттамасы  $h = H - R \circ q^2$  екі мүшелі түрде оңай

аппроксимацияланады, мұнда  $H = const$ , ал  $R_e$  – тартым көздерінің кейбір ішкі кедергісі. Сондықтан мұндай екі мүшені дифференциалдау контур бойынша кез келген қосылғыштарды тең мағыналы дифференциалдауға мүмкіндік береді.

Егер  $\alpha_i = h_L$  болса, онда  $(\partial h_L / \partial \alpha_j) = 1$ , коэффициенттердің сол өзгеріссіз матрицасы кезінде еркін мүшелердің пайда болуына әкеледі.

**23-мысал.** 4.12-суретте көрсетілген сұлба үшін 2-3, 4-5 және 4-6 тармақта ауаның жұмсалу өзгерістерін есептеу үшін функционалдық тәуелділікті табу талап етілген, 2-5 тармақ кедергісі 0,005-нан 0,12 даПа·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>-ға дейінгі диапазонда бірізділікті мәндер қатарын қабылдайды. Желдеткіш сипаттамасы  $h = 370 - 0.0186q^2$  теңдеумен берілген. 4.1-суретте есептеу сұлбасына базалық мәндер келтірілген (4.12-сурет).

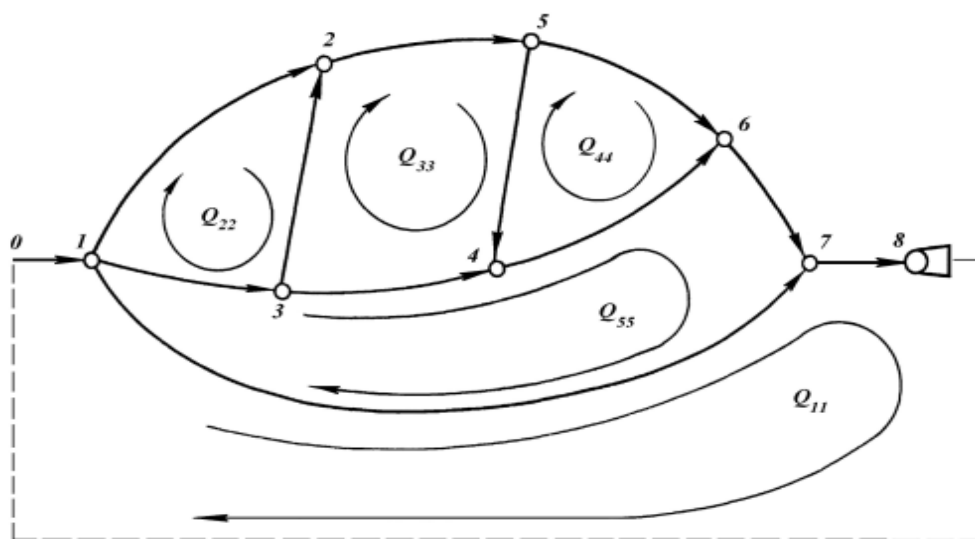


Рисунок 4.12 –сурет.Бес контурлы желдету желісінің сұлбасы

4.1 – кесте. Есептеу сұлбасына базалық деректер

Тармақ коды	$R$ , даПа·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>	$q$ , м <sup>3</sup> /с	Тармақ коды	$R$ , даПа·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>	$q$ , м <sup>3</sup> /с	Тармақ коды	$R$ , даПа·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>	$q$ , м <sup>3</sup> /с
0,1	0,005	80	2,3	0,10	10	4,6	0,01	45
1,2	0,15	20	2,5	0,03	30	5,6	0,06921	25
1,3	0,02	50	3,4	0,0375	40	6,7	0,005	70
1,7	1,5475	10	4,5	0,92	5	7,6	0,01	80

Келтірілген сұлба үшін теңдеулер жүйесінің есептеуін ықшамдау мақсатында контурлы ағындардың әдісі бойынша жазамыз:

$$\begin{cases}
R_{01} Q_{11}^2 + R_{17} (Q_{11} - Q_{55})^2 + R_{78} Q_{11}^2 = 370 - 0,0186 Q_{11}^2; \\
R_{23} Q_{22}^2 - R_{23} (Q_{33} - Q_{22})^2 - R_{13} (Q_{55} - Q_{22})^2 = 0; \\
R_{23} (Q_{33} - Q_{22})^2 + R_{25} Q_{33}^2 + R_{45} (Q_{33} - Q_{44})^2 - R_{34} (Q_{55} - Q_{33}) = 0; \\
R_{56} Q_{44}^2 - R_{46} (Q_{55} - Q_{44})^2 - R_{45} (Q_{33} - Q_{44})^2 = 0; \\
R_{13} (Q_{55} - Q_{22})^2 + R_{34} (Q_{55} - Q_{33})^2 + R_{46} (Q_{55} - Q_{44})^2 + \\
+ R_{67} Q_{55}^2 - R_{17} (Q_{11} - Q_{55})^2 = 0.
\end{cases} \quad (5.79)$$

Айнымалы  $R_{25}$  параметр бойынша (4.79) жүйесін дифференциалдаймыз

$$\begin{cases}
2 R_{01} Q_{11} \frac{\partial Q_{11}}{\partial R_{25}} + 2 R_{17} (Q_{11} - Q_{55}) \left( \frac{\partial Q_{11}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} \right) + \\
+ 2 R_{78} Q_{11} \frac{\partial Q_{11}}{\partial R_{25}} + 2 \cdot 0,0186 Q_{11} \frac{\partial Q_{11}}{\partial R_{25}} = 0; \\
2 R_{12} Q_{22} \frac{\partial Q_{22}}{\partial R_{25}} - 2 R_{23} (Q_{33} - Q_{22}) \left( \frac{\partial Q_{33}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{22}}{\partial R_{25}} \right) - \\
- 2 R_{13} (Q_{55} - Q_{22}) \left( \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{22}}{\partial R_{25}} \right) = 0; \\
2 R_{23} (Q_{33} - Q_{22}) \left( \frac{\partial Q_{33}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{22}}{\partial R_{25}} \right) + 2 R_{25} Q_{33} \frac{\partial Q_{33}}{\partial R_{25}} + Q_{33}^2 + \\
+ 2 R_{45} (Q_{33} - Q_{44}) \left( \frac{\partial Q_{33}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{44}}{\partial R_{25}} \right) - 2 R_{34} (Q_{55} - Q_{33}) \left( \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{33}}{\partial R_{25}} \right) = 0; \\
2 R_{56} Q_{44} \frac{\partial Q_{44}}{\partial R_{25}} - 2 R_{46} (Q_{55} - Q_{44}) \left( \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{44}}{\partial R_{25}} \right) - \\
- 2 R_{45} (Q_{33} - Q_{44}) \left( \frac{\partial Q_{33}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{44}}{\partial R_{25}} \right) = 0; \\
2 R_{13} (Q_{55} - Q_{22}) \left( \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{22}}{\partial R_{25}} \right) + 2 R_{34} (Q_{55} - Q_{33}) \left( \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{33}}{\partial R_{25}} \right) + \\
+ 2 R_{13} (Q_{55} - Q_{44}) \left( \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{44}}{\partial R_{25}} \right) + 2 R_{67} Q_{55} \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} - \\
- 2 R_{17} (Q_{11} - Q_{55}) \left( \frac{\partial Q_{11}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} \right) = 0.
\end{cases} \quad (5.80)$$

$Q_{11} = q_{01}, Q_{22} = q_{12}, Q_{33} = q_{25}, Q_{44} = q_{56}, Q_{55} = q_{67}$ , болғанда  $R$  және  $Q$  орнына 4.1.-кестеде келтірілген базалық шамаларды қоямыз. Осыған ұқсастықтарды келтіргеннен кейін бірінші туындылардың салыстырмалы теңдеулердің сызықтық жүйесін аламыз:

$$\left\{ \begin{array}{l} 36,326 \frac{\mathcal{Q}_{11}}{\mathcal{R}_{25}} - 30,95 \frac{\mathcal{Q}_{55}}{\mathcal{R}_{25}} = 0; \\ 10 \frac{\mathcal{Q}_{22}}{\mathcal{R}_{25}} - 2 \frac{\mathcal{Q}_{33}}{\mathcal{R}_{25}} - 2 \frac{\mathcal{Q}_{55}}{\mathcal{R}_{25}} = 0; \\ -2 \frac{\mathcal{Q}_{22}}{\mathcal{R}_{25}} + 16 \frac{\mathcal{Q}_{33}}{\mathcal{R}_{25}} - 9,2 \frac{\mathcal{Q}_{44}}{\mathcal{R}_{25}} - 3 \frac{\mathcal{Q}_{55}}{\mathcal{R}_{25}} = -900; \\ -9,2 \frac{\mathcal{Q}_{33}}{\mathcal{R}_{25}} + 13,56 \frac{\mathcal{Q}_{44}}{\mathcal{R}_{25}} - 0,9 \frac{\mathcal{Q}_{55}}{\mathcal{R}_{25}} = 0; \\ -30,95 \frac{\mathcal{Q}_{11}}{\mathcal{R}_{25}} - 2 \frac{\mathcal{Q}_{22}}{\mathcal{R}_{25}} - 3 \frac{\mathcal{Q}_{33}}{\mathcal{R}_{25}} - 0,9 \frac{\mathcal{Q}_{44}}{\mathcal{R}_{25}} + 37,55 \frac{\mathcal{Q}_{55}}{\mathcal{R}_{25}} = 0, \end{array} \right. \quad (5.81)$$

Осыны шеше отырып, табамыз

$$\begin{aligned} \frac{\mathcal{Q}_{11}}{\mathcal{R}_{25}} = \frac{\hat{a}q_{01}}{\mathcal{R}_{25}} = -37,1; \quad \frac{\mathcal{Q}_{22}}{\mathcal{R}_{25}} = \frac{\hat{a}q_{12}}{\mathcal{R}_{25}} = -31,6; \\ \frac{\mathcal{Q}_{33}}{\mathcal{R}_{25}} = \frac{\hat{a}q_{25}}{\mathcal{R}_{25}} = -114,8; \quad \frac{\mathcal{Q}_{44}}{\mathcal{R}_{25}} = \frac{\hat{a}q_{56}}{\mathcal{R}_{25}} = -80,8; \\ \frac{\mathcal{Q}_{55}}{\mathcal{R}_{25}} = \frac{\hat{a}q_{67}}{\mathcal{R}_{25}} = -43,4. \end{aligned}$$

Екінші реттік туындыларды есептеуге көшеміз. Бұл үшін (4.80) жүйесінің  $R_{25}$  айнымалы параметрі бойынша қайтадан дифференциалдаймыз. 4.1.-кестеден  $R$  және  $Q$  базалық мәндерді, сондай-ақ бірінші туындылардың сандық мәндерін қойғаннан кейін теңдеулердің келесі жүйесін аламыз:

$$\left\{ \begin{array}{l} 36,326 \frac{\partial^2 Q_{11}}{\mathcal{R}_{25}^2} - 30,95 \frac{\partial^2 Q_{55}}{\mathcal{R}_{25}^2} = -215,2; \\ 10 \frac{\partial^2 Q_{22}}{\mathcal{R}_{25}^2} - 2 \frac{\partial^2 Q_{33}}{\mathcal{R}_{25}^2} - 2 \frac{\partial^2 Q_{55}}{\mathcal{R}_{25}^2} = 1091; \\ -2 \frac{\partial^2 Q_{22}}{\mathcal{R}_{25}^2} + 16 \frac{\partial^2 Q_{33}}{\mathcal{R}_{25}^2} - 9,2 \frac{\partial^2 Q_{44}}{\mathcal{R}_{25}^2} - 3 \frac{\partial^2 Q_{55}}{\mathcal{R}_{25}^2} = 9970; \\ -9,2 \frac{\partial^2 Q_{33}}{\mathcal{R}_{25}^2} + 13,56 \frac{\partial^2 Q_{44}}{\mathcal{R}_{25}^2} - 0,9 \frac{\partial^2 Q_{55}}{\mathcal{R}_{25}^2} = 1253; \\ -30,95 \frac{\partial^2 Q_{11}}{\mathcal{R}_{25}^2} - 2 \frac{\partial^2 Q_{22}}{\mathcal{R}_{25}^2} - 3 \frac{\partial^2 Q_{33}}{\mathcal{R}_{25}^2} - \\ -0,9 \frac{\partial^2 Q_{44}}{\mathcal{R}_{25}^2} + 37,55 \frac{\partial^2 Q_{55}}{\mathcal{R}_{25}^2} = -425. \end{array} \right. \quad (5.82)$$

Үшінші реттік туындыларды есептеу үшін теңдеулер жүйесін осыған ұқсас алуға болады.

(4. 81)-ны (4.82)-мен салыстыра отырып, анықталатын туындылар кезінде коэффициенттер матрица тұрақты болып қалатынын, тек бірінші бөлігі ғана өзгеретінін оңай

табуға болады. Бұл жағдай міндеттерді шешудің жалпы алгоритмінде ең маңызды сәт болып табылады, өйткені теңдеулердің сызықтық жүйесін құру әдістемесін ықшамдайды, оң жақ бөлікте еркін мүшелерді есептеуге әкеледі.

Кез келген реттегі анықталатын туындылар жоғарыда баяндалған алгоритмге байланысты бірінші желілік заңға бағынады. Сондықтан контур ағындардың туындысынан ауаның жұмсалыу туындысына көшу жекелеген тармақтар үшін қиыншылық тудырмайды.

Мысалы, есептеу сұлбасынан,

$$\frac{\partial q_{23}}{\partial R_{25}} = \frac{\partial Q_{33}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{22}}{\partial R_{25}}; \quad \frac{\partial q_{46}}{\partial R_{25}} = \frac{\partial Q_{55}}{\partial R_{25}} - \frac{\partial Q_{44}}{\partial R_{25}}.$$

Басқа тармақтар қатынасына, соның ішінде неғұрлым жоғары реттік туындыларды есептеу кезінде осыған ұқсас болады. 4.2-кестеде осы есептеулердің нәтижесі келтірілген.

4.2 – кесте. Туындыларды есептеу нәтижелері

Ағындар	Ауа ағындарының туындысы		
	$\partial q / \partial R_{25}$	$\partial^2 q / \partial R_{25}^2$	$\partial^3 q / \partial R_{25}^3$
$q_{01}$	-37,1	429	-7560
$q_{12}$	-331,6	486	-10474
$q_{13}$	-11,8	11	1274
$q_{17}$	6,3	-68	1640
$q_{23}$	-83,2	903	-17046
$q_{25}$	-114,8	1389	-27520
$q_{34}$	71,4	-892	18320
$q_{45}$	-34,0	323	-6520
$q_{46}$	37,4	-569	11800
$q_{56}$	-80,8	1066	-21000
$q_{67}$	-43,4	497	-9200
$q_{78}$	-37,1	429	-7560

Туындыларды біле отырып, берілген жүйенің кез келген тармағында ауаның жұмсалыуын оңай табуға болады. (4.74) өрнекке сәйкес жіктеудің үш мүшесіне дейінгі дәлдікпен мынаны аламыз

$$q_{ij} = q_{ij,0} + (R_{25} - R_{25,0}) \frac{\partial q_{ij}}{\partial R_{25}} + \frac{1}{2} (R_{25} - R_{25,0})^2 \frac{\partial^2 q_{ij}}{\partial R_{25}^2} + \frac{1}{6} (R_{25} - R_{25,0})^3 \frac{\partial^3 q_{ij}}{\partial R_{25}^3}, \quad (5.83)$$

мұнда  $q_{ij,0}; R_{25,0}$  – шамалар, олар базалық деректеріне сәйкес келеді және 4.1-кестеден алынады.

2-3, 4-5 және 4-6 талданатын тармақтарға қатысты (4.83)-ға туындылардың сандық мәндерін қойғаннан кейін келесі есептеу формулаларын аламыз:

$$\begin{aligned} q_{23} &= 10 - 83,2(R_{25} - 0,03) + 451,5(R_{25} - 0,03)^2 - 2841(R_{25} - 0,03)^3; \\ q_{45} &= 5 - 34(R_{25} - 0,03) + 161,5(R_{25} - 0,03)^2 - 1086,7(R_{25} - 0,03)^3; \\ q_{46} &= 45 + 37,4(R_{25} - 0,03) - 284,5(R_{25} - 0,03)^2 + 1966,7(R_{25} - 0,03)^3. \end{aligned} \quad (5.84)$$



Тармақтың әрқайсысы үшін  $R_{25}$  өзгеріссіз шаманы түрлендірудің мүмкін интервалын анықтаймыз. (4.76) сәйкес аламыз:

$$2-3 \text{ тармақ үшін } R_{25} < \frac{3 \cdot 903}{17046} + 0,03, R_{25} < 0,188;$$

$$4-5 \text{ тармақ үшін } R_{25} < \frac{3 \cdot 323}{6520} + 0,03, R_{25} < 0,179;$$

$$4-6 \text{ тармақ үшін } R_{25} < \frac{3 \cdot 569}{11800} + 0,03, R_{25} < 0,174.$$

Сондықтан, реттелетін шаманың өзгерудің берілген диапазоны оны түрлендіру интервалынан аспайды. Басқаша айтқанда, 2-3, 4-5 және 4-6 тармақ үшін құрылған (4.74) түрдегі  $R_{25}$  параметрлер өзгерістерінің қарастырылатын диапазонда өзгерістер ұқсас болады.

4.3-кестеде қарастырылатын сұлба үшін орындалған сандық эксперимент нәтижелері берілген (4.12-сурет). ЭВМ –  $q_{ij}$  алынған ауаның жұмсалудың есептеулері бойынша деректерді (4.84) –  $q_{ij}^*$ , формуласы бойынша аналогтық жағдайлар үшін есептеу деректерімен салыстыра отырып, олардың ұқсастықтары әбден қанағаттанарлық деген қорытындыға келеміз.

4.3 – кесте.  $R_{25}$  кедергісінің өзгерістері кезінде ауаның жұмсалудың есептеулері бойынша салыстырмалы деректер

$R_{25}$ , даПа·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>	Тармақтағы ауаның жұмсалуды, м <sup>3</sup> /с					
	$q_{23}$	$q_{23}^*$	$q_{45}$	$q_{45}^*$	$q_{46}$	$q_{46}^*$
0,005	12,457	12,407	5,968	5,968	43,918	43,856
0,010	11,913	11,867	5,754	5,753	44,193	44,122
0,020	10,935	10,880	5,362	5,357	43,666	44,596
0,030	10,052	10,000	5,004	5,000	45,076	45,000
0,040	9,259	9,210	4,678	4,675	45,430	45,348
0,050	8,525	8,494	4,370	4,376	45,744	45,650
0,060	7,998	7,834	4,099	4,096	46,003	45,920
0,070	7,273	7,213	3,833	3,829	46,244	46,167
0,090	6,212	6,020	3,362	3,307	46,630	46,645
0,120	4,873	4,098	2,733	2,456	47,063	47,495

Реттелетін параметрлер өзгерістерінің диапазонын кеңейту және есептеу дәлдігін арттыру (4.83) түрдегі жіктеу мүшелерінің санын ұлғайту арқылы болады. Егер реттеудің талап етілген диапазоны (4.76) өрнекпен анықталатын шектен шығып кетсе, мысалы, экстремальды жағдайлар үшін барынша тән, онда желінің бұрын есептелген жағдайынан барынша қолайлы базалық нұсқаны таңдау және баяндалған алгоритм бойынша оны қайталап есептеу қажет.

Осылайша, практика үшін аппроксимациялаушы теңдеу (4.74) реттегіштердің аэродинамикалық параметрлер өзгерістерінің берілген диапазонында шахта желісінде ауа

ағындарының байланыстылығын жеткілікті дәлдікпен сипаттайды. Сол кезде (4.74) өрнекке енетін параметрлер  $j$ -лі реттегіштің әсерінен болатын өзгерістерді сандық бағалауды, сонымен қатар осы өзгерістердің сандық сипаттамасын алуға мүмкіндік береді. Мысалы, бірінші реттік жеке туындылардың белгілері бойынша ауаның жұмсалуды ұлғаятын немесе кемитін тармақтарды атап көрсетуге болады, ал осы туындылардың абсолюттік шамасы бойынша – берілген жүйе үшін осы әсерлерді азайту дәрежесі бойынша иерархиялық қатар құруға болады.

4.2.-кестені қараймыз. Талданатын ағындар үшін бірінші реттік туындыларды салыстыра отырып, олардың көбісінде теріс белгісі болса деген қорытындыға келеміз. Сондықтан, барлық тармақтарда 1-7, 3-4 және 4-6 басқасынан, ауаның жұмсалуды  $R_{25}$  аэродинамикалық кедергінің азаюымен байланысты. Бұл ретте ең үлкен кему өзгерістері 2-5, 2-3, 5-5, 6-7 және реттегіші бар реттелетін тармақ байланыстарының бірізділікті және параллель типтері сипатталатын 3-4, 4-6, 1-7 тармақта болады.

Жоғарыда баяндалғандарды қорытындылай отырып, біріншіден, байланыстың бірізділікті

типін үшін  $\frac{\partial q_i}{\partial \alpha_j} < 0$  шарты сипатты болып табылады, сол кезде байланыстың параллель типі

бар тармақ үшін  $\frac{\partial q_i}{\partial \alpha_j} > 0$  өрнек тура; ал екіншіден, егер  $\frac{\partial q_i}{\partial \alpha_j} = 0$  немесе соған жақын болса,

онда кез келген диапазонда реттегіштердің аэродинамикалық параметрлердің өзгерістері реттелетін тармақтарға маңызды әсер етпейді.

Осылайша, шахта желісінде болатын өзгерістердің сандық деректерін алу мүмкіндігін береді, бірақ олардың сапалы жақтарын бағалау жерасты қазбаларында қауіпсіз еңбек жағдайында маңызды сәт болып табылады, себебі байланыстылық типін анықтау желдету жүйесінің барлық тармағында ауаның жұмсалудының мүмкін өзгерістерінің сипатын белгілеуге мүмкіндік береді.

Желдету жүйесінде реттелетін аэродинамикалық параметрлерінің бір уақытты өзгерістері кезінде  $i$ -лі тармақта ауаның жұмсалуды мына формула бойынша табылуы мүмкін

$$q_i(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_p) = q_{i,0}(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{p,0}) + \sum_{n=1}^n \frac{1}{n!} \left[ \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (\alpha_1 - \alpha_{1,0}) + \frac{\partial}{\partial \alpha_2} (\alpha_2 - \alpha_{2,0}) + \dots + \frac{\partial}{\partial \alpha_p} (\alpha_p - \alpha_{p,0}) \right]^n q_{i,0}(\alpha_{1,0}, \alpha_{2,0}, \dots, \alpha_{p,0}), i = \overline{1, m}, \quad (5.85)$$

мұнда  $q_i$  – анықтауға жататын белгісіздік,  $i$ -лі тармақта ауаның жұмсалуды;

$q_{i,0}$  –  $i$ -лі тармақта ауаның белгісіз базалық жұмсалуды;

$\alpha_j, j = 1, 2, \dots, p$  – желдету жүйесінің реттелетін аэродинамикалық параметрлері.

(4.85) өрнегі көптеген айнымалылар функциясы Тейлор қатарын символикалық жазуды білдіреді. Жақшаны ашу кезінде  $\partial^n q_i / \partial \alpha_j^{(n)}$  түрдегі жеке туындылар және аралас туынды типтес пайда болады

$$\partial^{(n)} q_i / \partial \alpha_1^{(e)} \partial \alpha_2^{(k)} \partial \alpha_3^{(r)} \dots \partial \alpha_p^{(s)}, \text{ мұнда } l + k + r + \dots + s = n.$$

Жеке туындылар  $\partial^{(n)} q_i / \partial \alpha_j^{(n)}$  алгоритмнің алдыңғы параграфында баяндалғандар бойынша базалық ағынды бөлуге сәйкес келетін нүктеде есептеледі. Аралас типтегі туындыларға қатысты, онда есептеу формулалары оларды есептеу үшін (4.73) теңдеулердің бастапқы жүйесін дифференциалдай арқылы алынуы мүмкін.