

8 ЖЕЛДЕТУ АҒЫНДАРЫНЫҢ ГАЗ ТӘРІЗДЕС ЖӘНЕ ШАҢ ТӘРІЗДЕС ҚОСПАЛАРЫН ТАСЫМАЛДАУ ПРОЦЕСТЕРІ

8.1 Газ динамикасының негізгі заңдары

8.1.1 Газ динамикалық процестердің физикалық сипаттамасы

Газ динамикасы негізінде, яғни әрі қарайғы пікірлер негізделеді, ауа ағыны біртекті орта болып табылатын деген жорамал қалыптасқан. Газ тәріздес қоспаны осындай ортаға түсетін кез келген газ деп санауға болады. Жалпы жағдайда атмосфералық ауа құрамына енетін, бірақ қандай да бір көздерден өнеркәсіптік атмосфераға келіп түсетін газдар болуы мүмкін.

Газ тәріздес қоспалар олардың қасиеттеріне сәйкес пассивті және активті деген екі класқа бөлінеді. *Пассивті* газ тәріздес қоспа болып атмосферада болғанда ауа ағындарының диффузиялық қасиеттерің өзгертпейтін газдар табылады. *Активті* газ тәріздес қоспа деп атмосферада болғанда ауа ағындарының диффузиялық қасиеттерің өзгертетін газдарды атайды.

Ауа ағындарының диффузиялық қасиеттері ағын жылдамдығына және оның турбуленттік қасиеттеріне, газдың физикалық қасиеттеріне, ағындағы қоспаны бөлу дәрежесіне байланысты. Динамикалық белсенділікті анықтайтын газдардың маңызды физикалық сипаттамасы олардың тығыздығы болып табылады. Активті қоспаларға ауаның тығыздығын оның тығыздығы маңызды ерекшеленетін газдар жатады.

Тасымалдау процестерінің негізгі физикалық қасиеттері *газ бөлудің қарқындылығы, ауадағы газ концентрациясы, газ ағыны, диффузия коэффициенттері* болып табылады.

Газ бөлудің қарқындылығы – бұл уақыт бірлігінде газ бөлу көздерімен ауаға шығатын газдардың саны ($\text{м}^3/\text{мин}$).

Ауаның құрамында болатын газ c саны концентрациямен сипатталады және бірлік үлесінде өрнектелуі мүмкін

$$c = k_2 / k_{cm} , \quad (8.1)$$

мұнда k_2 – газ ауа қоспасының құрамында болатын газ мөлшері;

k_{cm} – газ ауа қоспасының мөлшері.

Егер газ бен ауа мөлшері өлшеудің сол бір бірліктерінде берілетін болса, мысалы, көлемді немесе массалық бірліктерде, онда c концентрация өлшемсіз шама болып табылады және соған сәйкес көлемді немесе массалық деп аталады. Практикада концентрация пайдаланылады, k_2 масса бірліктерінде өлшенеді, ал k_{cm} – көлем бірліктерінде өлшенеді. Мұндай концентрация мг/л немесе мг/м^3 өлшемділікте болады.

Процентпен концентрацияны анықтау үшін мына формула пайдаланылады

$$c = 100k_2 / k_{cm} . \quad (8.2)$$

Массалық c_m және көлемді $c_{об}$ концентрация келесі ара қатыстармен өзара байланысты

$$c = \rho_2 c_{об} / \rho_{cm} , \quad (8.3)$$

мұнда ρ_2 және ρ_{cm} – сәйкес газ және газ тәріздес қоспаның тығыздығы.

Газ тәріздес қоспа тығыздығы ρ_{cm} және газ концентрациясы арасында c_{cm} келесі ара қатыстар болады

$$c_{cm} = \frac{\rho_{cm} - \rho_v}{\rho_2 - \rho_v} , \quad (8.4)$$

мұнда ρ_v – ауа тығыздығы.

Ауа қоспасы қозғалысы жылдамдығының бағытына қарай перпендикуляр алаң бірлігі арқылы газ шығыны (m^3/c) газ ағыны деп аталады. Конвекциялық, молекулярлық және турбулентті газ ағыны деп ерекшеленеді.

Конвекциялық ағын қозғалатын ауамен жүзеге асырылады, сондықтан оның бағыты v ағынның орташа жылдамдығының жалпы бағытымен сәйкес келеді, оның шамасына тәуелді, яғни

$$j_k = cv . \quad (8.5)$$

мұнда j_k – конвекциялық ағын, m^3/c ;

c – ауадағы газ концентрациясы, %.

Координаталы осьтегі конвекциялық ағын компоненттерінің үш өлшемді қозғалысы кезінде мына түрді қабылдайды

$$\begin{cases} j_{k,x} = cv_x ; \\ j_{k,y} = cv_y ; \\ j_{k,z} = cv_z , \end{cases} \quad (8.6)$$

мұнда v_x, v_y, v_z – тиісті осьтер бойынша ағынның орташа жылдамдығының компоненттері, m/c .

Молекулярлық ағын үшін Фиканың бірінші заңы дұрыс, соған сәйкес тұрақты температура және қысым кезінде заттарды тасымалдау концентрация градиентіне пропорционал, яғни

$$J_m = - D_m \cdot \text{grad } c , \quad (8.7)$$

мұнда D_m –молекулярлық диффузия коэффициенті, m^2/c .

Минус белгісі диффузиялық ағын концентрацияны азайту жағына қарай бағытталған.

Проекцияда координаталы осьте молекулярлық ағындағы компоненттер мына түрді қабылдайды

$$\begin{cases} j_{m,x} = -D_m \frac{\partial c}{\partial x}; \\ j_{m,y} = -D_m \frac{\partial c}{\partial y}; \\ j_{m,z} = -D_m \frac{\partial c}{\partial z}. \end{cases} \quad (8.8)$$

Газдағы молекулалар бір-біріне соқтығысып, үздіксіз қозғалыс күйінде болады. Мұндай соқтығысулардың саны тым үлкен және олар молекулалардың жалпы массасында қандай да бір бағытта соншалықты қозғалмайды, соншалықты дербес және баяу араласады. Біраз уақыт аралығында молекулалар жүгірісінің орташа ара қашықтығын есептеуге болады, бірақ оның жолдарының бағытын болжауға болатын әдіс жоқ. Уақыт аралығында молекулалардың ықтималдық жағдайындағы графикалық бейнелеу оның бастапқы жағдайындағы концентрлік шеңберлер қатарын береді. Бұл молекулярлық диффузия коэффициенті бағытына байланысты емес жорамал жасауға мүмкіндік береді және жалпы жағдайда былай санауға болады

$$D_{m,x} = D_{m,y} = D_{m,z} = D_m.$$

Егер молекуласының еркін жүрісінің ұзындығы l болса, онда молекулярлық диффузия коэффициентін мына формула бойынша табуға болады

$$D_m = \frac{1}{3} l \cdot v_m, \quad (8.9)$$

мұнда v_m – молекуланың жылу қозғалысының орташа жылдамдығы

Молекулярлық диффузия коэффициенті газдардың қасиеттеріне, олардың концентрациясына, температурасы мен қысымына байланысты. Зерттеулер газ концентрациясы D_m коэффициентіне әлсіз әсер ететіндігін көрсетеді. Молекулярлық диффузия коэффициенті температурасының ұлғаюымен температура да пропорционал өседі, қысымның ұлғаюымен кері пропорционал тәуелділік те азаяды.

Молекулярлық ағынның маңызды сипаттамасы ортадағы молекулярлық диффузия коэффициентіне тең екендігі болып табылады.

Кейбір газдар үшін ауадағы молекулярлық диффузия коэффициентінің орташа мәндері төменде келтірілген.

	Диффузия коэффициенті $D_m, \text{см}^2/\text{с}$
Ауадағы аммиак	0,217
Ауадағы бензол	0,750
Ауадағы сутегі.....	0,634
Ауадағы метан	0,196
Ауадағы көмір қышқыл газы	0,142

Турбулентті ағын молекулярлық ағынға сәйкес газ концентрациясының градиентімен сипатталады және мына тәуелділікте сипатталады

$$J_m = -D_m \cdot \text{grad } c, \quad (8.10)$$

мұнда D_m – турбулентті диффузия коэффициенті, $\text{м}^2/\text{с}$.

Проекцияда координаталы осьте турбулентті ағын компоненттері мына түрде алынады

$$\begin{cases} j_{m,x} = -D_m \frac{\partial c}{\partial x}; \\ j_{m,y} = -D_m \frac{\partial c}{\partial y}; \\ j_{m,z} = -D_m \frac{\partial c}{\partial z}. \end{cases} \quad (8.11)$$

(8.10) және (8.11) өрнектерде минус белгісі молекулярлық диффузия үшін формулалар сияқты мағынада.

Жалпы жағдайда, $D_{m,x} \neq D_{m,y} \neq D_{m,z}$. Бұл турбулентті диффузия коэффициенті лүпілдеуші құрамдас жылдамдықтармен анықталатындығымен түсіндіріледі. Соңғысы, өз кезегінде ауа қозғалысының жылдамдығына ауа жолдарының кедір-бұдырлығының дәрежесі, араластыру жолдары, олардың өлшемдері және т.б. байланысты. Жалпы жағдайда турбуленттік диффузия коэффициенті мына түрдегі тәуелділікпен өрнектелуі мүмкін

$$D_m = -\nu^* \cdot l_c, \quad (8.12)$$

мұнда ν^* – турбуленттік ағында газ-ауа қоспасының элементарлық көлемінің лүпілдеуші қозғалыстың лездік жылдамдығы;

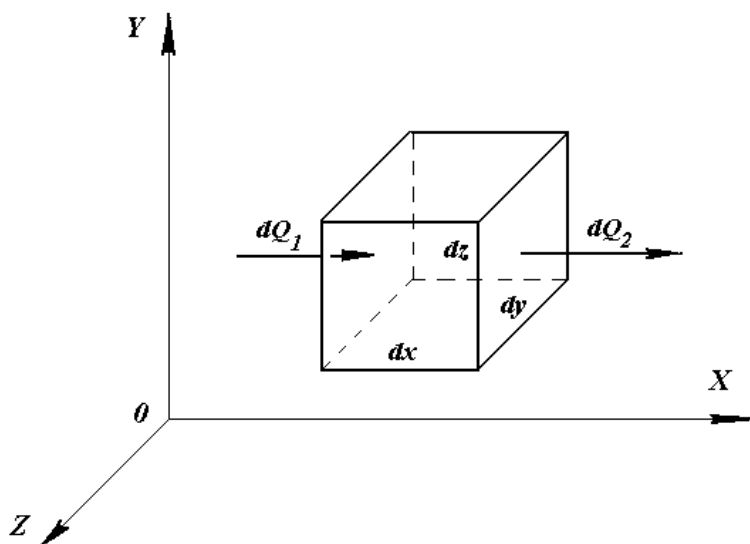
l_c – өзінің даралығын жоғалтқанға дейін элементарлық көлем орналасатын ара қашықтық.

Жоғарыда баяндалғандардан тасымалдау процесінде ауа қозғалысының режимі үлкен әсер ететіндігін ескеру керек. Ламинарлық режим кезінде, тиімді араластыру болмаған жағдайда зияндылықтарды бөлу орындарында жинақталу үшін қолайлы жағдай тудырады. Турбуленттік диффузияны қамтамасыз ететін ауа қозғалысының турбуленттік режимі молекулярлық диффузияға қарағанда тиімдірек. Ауа ағындарын турбулентті зияндылықтарды көлденең тасымалдау күшейтеді және оларды ағынның көлденең қимасына қарай неғұрлым біркелкі бөлуге мүмкіндік береді.

8.1.1 Конвекциялық диффузия теңдеуі

Конвекциялық тасымалдау әсерінен қозғалатын ортада газдың таралу процесіндегі молекулярлық және турбуленттік диффузия конвекциялық диффузия деп аталады. Ол ортаның қозғалыс теңдеуімен және диффузия теңдеуімен анықталады. Қазіргі кезде диффузияны сипаттау үшін турбуленттіліктің арнайы сипаттамаларын пайдалануға негізделетін әртүрлі әдістер (Лагранж, Эйлер, кездейсоқ адасулар) пайдаланылады, оларды өнеркәсіптік өндіріс жағдайларында өлшеу маңызды қиыншылықтармен байланысты. Осыған байланысты қазіргі кезде барынша қолайлысы турбуленттілікті жартылай эмпиристикалық талдау әдісі болып табылады. Бұл жағдайда конвекциялық диффузия теңдеуі массаны сақтау жағдайынан шығарылады.

Ағында dx, dy, dz (8.1-сурет) қырлармен шектелген элементарлық көлемді бөлеміз және X осі бойындағы заттарды тасымалдауды қарастырамыз.



8.1-сурет. Диффузия теңдеуінің қорытындысына арналған сұлба
Молекулярлық және турбуленттік диффузия есебінен dt уақыт ішінде сол жақ қыр арқылы параллелепипедке енетін заттардың саны тең болады

$$dQ_1 = -(D_m + D_{m,x}) \frac{\partial c}{\partial x} dydzdt,$$

оң жақ қыр арқылы өтетін

$$dQ_2 = -(D_m + D_{m,x}) \frac{\partial}{\partial x} \left(c + \frac{\partial c}{\partial x} dx \right) dydzdt.$$

X ось бағытына заттардың өсуі оң жақ және сол жақ қырлар арасындағы айырмашылық ретінде анықталады, яғни

$$dQ_x = dQ_1 - dQ_2.$$

Тиісті мәндерді қоя отырып, мынаны аламыз

$$dQ_x = (D_m + D_{m,x}) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} dx dy dz dt.$$

X ось бағытына заттардың өсуі оң жақ және сол жақ қырлар арасындағы айырмашылық ретінде анықталады, яғни

$$dQ_x = dQ_1 - dQ_2.$$

Тиісті мәндерді қоя отырып, мынаны аламыз

$$dQ_x = (D_m + D_{m,x}) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} dx dy dz dt.$$

Қалған осьтер бағытына қарай заттардың өсуін анықтау кезінде аналогтық түрде. Бұл жағдайда қарастырылатын көлемдегі өзгерістер тең болады

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z,$$

немесе

$$dQ = \left[(D_m + D_{m,x}) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + (D_m + D_{m,y}) \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + (D_m + D_{m,z}) \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right] dx dy dz dt. \quad (8.13)$$

Басқаша, осы уақыт аралығында dt артық заттар мына мөлшердегі параллелепипедтен шығарылады

$$dQ = \frac{dc}{dt} dx dy dz dt, \quad (8.14)$$

мұнда $\frac{dc}{dt}$ – қарастырылатын көлемде концентрацияның өзгерісі.

(8.13) және (8.14) теңдеулерін салыстыра отырып, мынадай қорытындыға келеміз

$$\frac{dc}{dt} = (D_m + D_{m,x}) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + (D_m + D_{m,y}) \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + (D_m + D_{m,z}) \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}. \quad (8.15)$$

Өйткені $c = f(x, y, z, t)$, концентрациядан толық туындыны күрделі функцияның дифференциалдау ережелеріне сәйкес келесі түрдегі дербес туындылар арқылы беруге болады

$$\frac{dc}{dt} = \frac{\partial c}{\partial t} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_y \frac{\partial c}{\partial y} + v_z \frac{\partial c}{\partial z}. \quad (8.16)$$

(8.16)-ны (8.15)-ға қойып, мынаны аламыз

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_y \frac{\partial c}{\partial y} + v_z \frac{\partial c}{\partial z} = (D_m + D_{m,x}) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \\ + (D_m + D_{m,y}) \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + (D_m + D_{m,z}) \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}, \end{aligned} \quad (8.17)$$

мұнда c, v_x, v_y, v_z – жылдамдық концентрациясы мен компоненттерінің лездік мәндері.

Конвекциялық диффузияның алынған толық теңдеуінің сол жақ бөлігінде жергілікті және конвекциялық оның құрамдасы болады, ал оң жақ бөлікте – молекулярлық және турбуленттік диффузия болады.

Осылайша, (8.17) теңдеуі диффузия кезінде массаны сақтау заңын білдіреді: кейбір еркін көлемге енгізілген газдың және осы көлемдегі газ санының өсуіне тең әрі одан шығарылатын газдың қосынды саны. Бұл өсім $\partial c / \partial t$ мүшелермен бағаланады. Егер $\partial c / \partial t = 0$ болса, онда стационарлық диффузияға сәйкес келеді, онда енгізілетін газ саны шығарылатын газ санына тең.

Конвекциялық диффузия теңдеуі ауа ағындары қозғалысының теңдеуіне сәйкес шешіледі. Бұл ретте диффузия коэффициенттерінің шамасын, сондай-ақ бастапқы уақыт сәтінде (бастапқы шарт) және ағын шекарасында (шекаралық шарт) тасымалдау процесін сипаттайтын бастапқы және шекаралық шарттарын білу қажет.

Бастапқы және шекаралық шарттар жиынтығы шеткі шарт деп аталады. Шеткі шарттарды таңдау диффузия теңдеуін дұрыс шешу үшін қажет. Шекаралық шарттарды білу ұқсастық шарттарын анықтау кезінде қажет.

Бастапқы шарт тек стационарлық емес газ динамикалық процестер үшін анықталады және уақыттың бастапқы сәтінде концентрация түрінде беріледі, яғни $c(x, y, z, t) = c_n(x, y, z, 0)$.

Шекаралық шарттардың барлық әр түрліліктері төрт типке бөлінеді.

1. Бірінші текті шекаралық шарт. Ағындар шекарасында $c_{zp} = c(x, y, z, t)$ уақыт функциясы ретінде газ концентрациясы беріледі. Егер стационарлық процесс болса, онда $c_{zp} = c(x, y, z)$. Ағындар шекарасындағы газ концентрациясы кез келген есептеулермен (мысалы, іштен жанатын қозғалтқыш шығарынды құбыр кесіндісіндегі газ концентрациясы) немесе физикалық жорамалдармен анықталады (мысалы, көздерден болатын шексіз жоюдағы газ концентрациясы кез келген уақыт сәтінде нольге тең деп қабылдануы мүмкін).

2. Екінші текті шекаралық шарт. Шекарада $j_{zp} = j(x, y, z, t)$ уақыт функциясы ретінде газ ағыны беріледі. Стационарлық жағдай үшін $j_{zp} = j(x, y, z)$.

3. Үшінші текті шекаралық шарт. Ауа ағындары шекарасында жағдай кезінде газ тасымалдау заңы беріледі, шекара арқылы өтетін газ ағыны тұрақты шама болып табылады, яғни шекараның бір жағынан газды келтіру шекараның басқа жағынан газды қайтарып алуға тең.

4. Төртінші текті шекаралық шарт. Шекарада концентрациялар теңдігіне орын болады, онда газ өткізетін шекарасы бар өзара екі әрекет жасайтын көлемдер арасындағы газ ағындардың теңдігін қамтамасыз етеді.

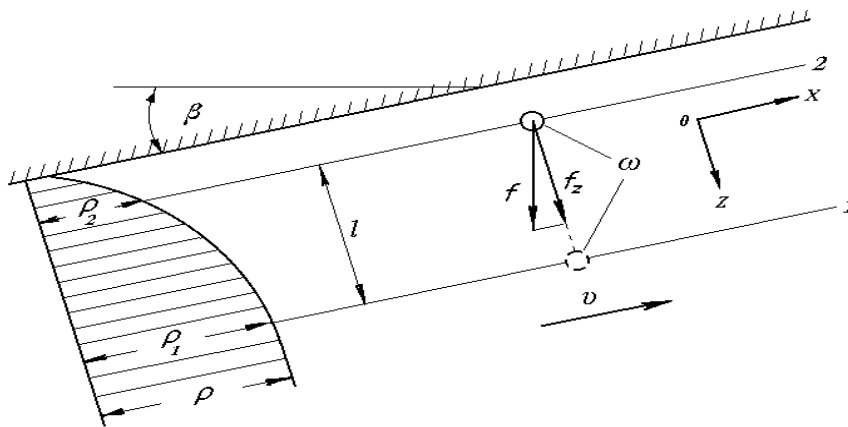
Жалпы жағдайда шекаралық шарттарды дұрыс құрастыру – жауапты міндет, сондықтан барлық негізгі анықтаушы факторларды анықтау мақсатында зерттелетін ортада өтетін физикалық процестерді талдауға маңызды келуді талап етеді.

8.2 Жер асты қазбаларының газ динамикасы

8.2.1. Белсенді газдар диффузиясы

Қазбалар горизонтына қарай β көлбеу бұрышпен қозғалатын ауа ағынын қарастырамыз (5.2-сурет). Газ-ауа қоспасының тығыздығы OZ осі бойынша өзгереді, қазба топырағының жабынына дейін ұлғаяды. Ағында элементарлық ω көлемді атап көрсетеміз, осы аталған сәтте I қабатында ρ_1 тығыздықпен болады.

Уақыттың келесі сәтінде лүпілдеуші күштердің бөлінген көлемі қабатқа орта $\rho_2 < \rho_1$ тығыздығымен орналассын.



8.2 –сурет. Белсенді газ диффузиясы кезінде көлемді күштердің әрекет ету сұлбасы

Егер 1 және 2 қабаттар арасындағы ара қашықтық l араластыру жолының ұзындығына тең немесе аз болса, сол кезде 2 қабаттағы ω көлем өзінің даралығын сақтайтын болады, ал оның тығыздығы шамамен ρ_1 –ға тең, тығыздықтар айырмашылығы салдарынан ω көлемдегі қоспады және оны қоршаған көлемде төменге қарай бағытталған f итеруші күш пайда болады. Ол көлемді бастапқы жағдайға келтіруге тырысады, 1 қабаттан 2 қабатқа араластырудың барлық жолдары арқылы әрекет етеді. Көлем бірлігіне қатысты оның шамасы тең болады

$$f = g(\rho_1 - \rho_2), \quad (8.18)$$

мұнда g – еркін құлау үдеуі.

f_z –ға тең OZ осіндегі f күштер проекциясы ω көлемді араластыратын v_n лүпілдеуші жылдамдығына қарсы әрекет жасайды, оны v_f кейбір шамаға азайтады, ол лүпілдеу жылдамдығының бағытына байланысты емес. Көлемді ω төменге қарай араластыру кезінде f_z күштің лүпілдеу жылдамдығының әрекетімен оның қозғалысына әрекет жасайды. Оның шамасы өзгертілмейді, бірақ жоғарыға қарай бағытталады, яғни бұрынғыша v_n лүпілдеу жылдамдығына қарсы.

Жабыннан топыраққа қарай тығыздықты азайтқан жағдайда көлемді күштер лүпілдеу жылдамдығының әрекетімен ω көлемді араластыруға мүмкіндік береді, себебі олардың бағыты OZ осі бағытына газдарды араластыруды жүзеге асыратын v_n лүпілдеу жылдамдығының бағытымен сәйкес келеді. Сондықтан жалпы жағдайда шынайы белсенді газ (диффузиялық жылдамдық) тең болады

$$v_d = v_n \pm v_f. \quad (8.19)$$

(8.19) өрнектегі «минус» белгісі жабыннан топыраққа тығыздықты ұлғайту кезінде алынады, ал «плюс» белгісі – сол бағытта оны азайтқан кезде алынады.

$v_f > 0$ және жабыннан топыраққа деген тығыздықты азайтқан кезде көлемді күштер негізгі қозғалысқа перпендикуляр бағытта газды араластыруға мүмкіндік береді. $v_f < 0$ кезде және жабыннан топыраққа деген тығыздықты ұлғайтқан кезде бұл күштер араластыруға кедергі жасайды. (5.19)-дан v_n лүпілдеу жылдамдығына тең абсолютті шама бойынша v_f жылдамдығының теріс мәндері кезінде көлемді күштер әрекетімен турбуленттілік өшеді немесе төмендейді. Көлденең бағытта газды тасымалдау тоқтату газ беретін беттерде оның жиналуына мүмкіндік береді (қабатталып жиналу).

Жалпы жағдайда газ ауа ағынында турбуленттіліктің өшуі Ричардсон санымен сипатталады.

$$Ri = \frac{\frac{g}{\rho} \left| \frac{\partial \rho}{\partial z} \right|}{\left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2} \cos \beta, \quad (8.20)$$

мұнда β – горизонтқа қарай қазбаның көлбеу бұрышы;

v – z координатасы бар нүктеде ағынның орташа жылдамдығы.

Ричардсон санының физикалық мағынасы көлемді күштер жұмысының ағынның қарастырылатын нүктесіндегі лүпілдеуші қозғалыстың кинетикалық энергиясына қатынасына пропорционал шама болып табылады.

Жеке жағдайда метан-ауа қоспасы үшін көлденең диффузияның әлсіреуі (ауаның негізгі қозғалысының бағытына) Ричардсон жергілікті санымен сипатталады, оны мына формула бойынша табуға болады

$$Ri = \frac{g (c_g - c_{cp}) H}{(2,25 - c_{cp}) v^2} \cos \beta, \quad (8.21)$$

мұнда c_g – қазба бетіндегі газ концентрациясы;

c_{cp} – ағындағы газдың орташа концентрациясы;

H – қазба биіктігі.

Турбуленттіліктің толық төмендеуі Рейнольдс санының функциясы болып табылатын Ричардсонның жергілікті сындарлы санына сәйкес келеді. Жабыннан метанды бөлу кезінде және қазба жабынындағы (топырақтағы) аймақ үшін $Re \approx 10^4$ Ричардсонның сындарлы саны $Ri_{кр} \approx 0,05$; Re саны ұлғайған кезде ағынның барлық аймағы үшін $Ri_{кр} \rightarrow 0,3$ шамасын құрайды. Оның сындарлы сандарымен салыстырғанда Ричардсон санын азайту көлденең бағыттағы турбуленттілікті азайту жағдайын жақсарту туралы куәландырады.

(8.20) және (8.21) келтірілген формулалардан Ri саны маңызды шамада ағынның орташа жылдамдығына байланысты екені көрініп тұр. Ri санына белгілі бір әсерді H қазбасының биіктігі әсер етеді. Бұл $(\partial \rho / \partial z)$ итеруші күштерге қарағанда $(\partial v / \partial z)^2$ -ға байланысты болатын турбуленттілік лүпілдеу күштерін неғұрлым жылдам қарқынмен азайтумен түсіндіріледі.

8.2.2 Тау-кен қазбасына газ бөлу динамикасы

Қатты метандылығы, тау жыныстарының метандылығы шахта атмосферасының жарылыс қауіптілігінің негізгі көздері болып табылады, қазу учаскелерін дайындаудың технологиялық сұлбаларын, тау-кен қазбаларының параметрлерін, үңгілеу көлемін таңдауға елеулі әсер етеді. Көмір шахталарының газ молдығының ұлғаюы қатты өңдеу тереңдігінің ұлғаюымен байланысты және тұйық және тазарту қазбаларының газсыздандыру жиілігінің артуымен ілесе жүреді. Көмір шахталарында газбен күресу тәсілдері мен құралдарын таңдау газ балансы құрылымы туралы деректер негізінде жүргізіледі және газсыздандыруда қолданылатын тәсілдер мен құралдар тиімділігінің нақты жағдайында мүмкін. Көмір шахтасындағы газ балансында қазу учаскелеріндегі қазбаларда 50...70 % газ және даярлау қазбаларында 20...40 % газ бөлінеді. Шахтаның қазу учаскелеріндегі газ балансын қарастыру кезінде қазбадағы метанның үш негізгі түсу көздерін атап көрсету қажет:

- тазарту кен жарында қазылатын қаттан;
- уатылған көмірден;
- лаваның қазылған кеңістігінен.

Егер қазылған кеңістікпен салыстырсақ, онда қазылған қаттан метанның бөліну үлесі әдетте 30 %-дан аспайды, ал уатылған көмірден учаске метан молдығы 20 %-дан аспайды. Шахтаның жалпы балансында даярлау қазбаларын жүргізу кезінде метан бөлудің меншікті үлесі 50 %-ға және одан артыққа жетуі мүмкін. Уатылған көмірден метанның бөлінуі үлесі 50 м/тәу үлесіне дейін үңгілеу қарқындылығының ұлғаюына байланысты қаттан 50...60 % жалпы метанның бөлінуі ұлғаяды. Бұл ретте көмір қабырғалары сияқты, уатылған көмір де қазбаның барлық ұзындығы бойынша газ береді және барлық ұзындық бойынша газды сұйылтуды талап етеді.

2,5 м/тәу дейінгі жылдамдықпен үңгілеудің бұрғылау жарлысы жұмыстары кезінде даярлау қазбаларының газ балансы 15...30 % уатылған массада газдың бөлінуіне, 20...30 % – кенжардың жаңадан жабылған бетінде, ал 20...65 % – қазбаның ескі жабылған бетінде. Бұрғылау-жару тәсілімен үңгілеудің елеулі көлеміне қарамастан (үңгілеудің жалпы көлемінің 10 %-на дейін) қауіптілік көмір қаттарын аршу мен қиылысу кезінде ашық оттың пайда болу мүмкіндіктерімен ілесе жүреді. Үңгілеудің комбайнды және бұрғылау-жару тәсілдері жарылыс бойынша метанның қабатты жинақталуын білдіреді, ол негізінен қазба қабырғасында метанның бөлінуімен байланысты. Бәрінен бұрын метанның жергілікті жиналып қалуы қазба жабынында байқалады. Бұл ретте қабатты жинақталу қазба бойымен жылжуы мүмкін. Жалпы түрде тау-кен қазбасының абсолютті метан J молдығы қазба қабырғасында J_c метанның бөлінуімен, сондай-ақ уатылған көмірден J_{oy} метанның бөлінуімен жинақталады:

$$J = J_c + J_{oy}. \quad (8.22)$$

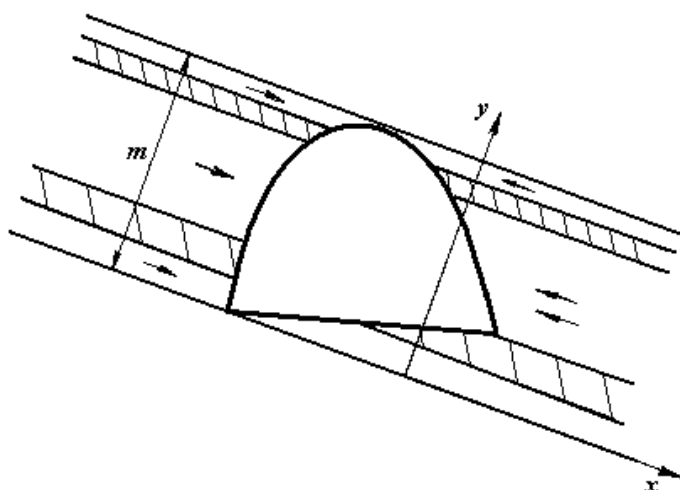
J_c шамасы қазбаның бүйірлік қабырғасынан, сондай-ақ кенжар төбесінен метанның келуі арқылы анықталады. Алайда 200...300 м астам ұзындықтағы қазба үшін метанның келу үлесі әдетте түскен метанның жалпы санынан 1...2 %-дан аспайды. Қуаты 5 м-ге дейінгі көмір қаттарының қуаты көмір бассейніндегі жалпы қордан 70 % құрайды, ал тау-кен қазбасының биіктігі (3-4 м) қат қуатымен салыстырылады, қазба қабырғасынан метанның бөліну процесін сүзгілеудің бір өлшемді есебі түрінде қарастыруға болады (8.3-сурет), ол қазбаның бүйірлік қабырғасынан метанның бөліну теңдеуімен мына түрде берілуі мүмкін

$$J_c = 2m_y v_n \int_0^T U(t) dt, \quad (8.23)$$

мұнда $U(t)$ – t , м/с уақыттағы $0-x$ векторы бойынша қазбалар қабырғасынан газдың бөліну жылдамдығына тәуелділігі;

m_y – көмір қораптарының қосынды қуаты;

v_n – кенжарды қазуды жылжытудың орташа жылдамдығы, м/с.



5.3-сурет. Қат қабатына газдың келу сұлбасы

(8.23) теңдеуін шешу үшін $U(t)$ функциясын білу қажет. Зерттеулер қат деформациясында ірі жарықшақтар мен саңылаулардың желісі түзіледі, онда масса тасымалдау қаттан метанды десорбциялаумен күрделендірген ламинарлы сүзгілеу режимінде өтетіндігін көрсетті. Сондықтан кеуекті орта арқылы газдарды сүзгілеу саласында барлық теориялық зерттеулер белгілі Дарси теңдеуіне негізделеді:

$$U(t) = -\frac{K_x}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (8.24)$$

мұнда K_x – қаттың газ өткізгіштігі, m^2 ;

μ – метанның динамикалық тұтқырлығы;

P – газ қысымы, Па.

$U(t)$ шамасын аналитикалық жолмен табу үшін газды десорбциялау есебінен кеуекті ортада газды бір өлшемді сүзгілеу есебін қарастырамыз. Бұл жағдайда газ қозғалысы үздіксіздік теңдеумен сипатталу мүмкін:

$$\frac{\partial(\rho_z U(t))}{\partial x} = - \frac{\partial(M_1 + M_2)}{\partial t}, \quad (8.25)$$

мұнда M_1 – газ $\rho_z(M_1 = m\rho_z)$, кг/м³ тығыздығына қат m кеуектілігіне туындысына тең уақыттың аталған сәтінде қат көлеміндегі бірлігінде жасалған еркін күйде болатын газ массасы;

M_2 – көмір көлеміндегі бірлігінде адсорбцияланған газ массасы, кг/м³.

Қозғалмаған көмір қаты үшін адсорбцияланған метанның мөлшерін мына формула бойынша X_{nl} қаттың табиғи метандығы арқылы табуға болады

$$M_2 = X_{nl} \cdot \rho_{nl} \cdot \rho_0, \quad (8.26)$$

мұнда X_{nl} – кентіректегі көмірдің табиғи метандығы, м³/т;

ρ_{nl} – көмір массасының тығыздығы, т/м³;

ρ_0 – атмосфералық қысым кезінде P_0 газ тығыздығы, кг/м³.

Қозғалмаған қаттың табиғи метандығының шамасы жатыс тереңдігінің ұлғаюымен өседі және қаттағы газ қысымына байланысты. Табиғи метандығы Лэнгмюр теңдеуі арқылы газ қысымына байланысты

$$X_{nl} = \frac{a_1 P_{nl}}{1 + a_2 P_{nl}}, \quad (8.27)$$

мұнда P_{nl} – газдың табиғи қат қысымы, Па;

a_1, a_2 – эмпиристикалық коэффициенттер.

Табиғи қат қысымының шамасы H көмір жатысының тереңдігіне және H_0 газ мору аймағының тереңдігіне байланысты мына жуықтау формуласы бойынша табуға болады

$$P_{nl} \approx a_3 (H - H_0), \quad (8.28)$$

мұнда $a_3 = 1,1 \times 10^4$ – қарағандылық қаттар үшін өлшем коэффициенті, Па/м.

Практикада мына түрдегі H қат жатыстың тереңдігіне байланысты метандығының тәуелділігі жиі пайдаланылады

$$X_{nl} = \frac{1,3a(H - H_0)}{1 + c(H - H_0)} \times \frac{(100 - A^0 - W)}{100}, \quad (8.29)$$

мұнда H – көмір кентірегiнiң тереңдiгi, м;

H_0 – газ мору аймағының тереңдiгi, м;

a, c – Лэнгмюр теңдеуiнiң коэффициенттерi;

A^0 – көмiрдiң күлдiлiгi, %;

W – көмiр ылғалдылығы, %.

(8.29) формуласы Лэнгмюр (8.27) формуласына сәйкес толық құрылымдық сәйкестiкте болады, сондықтан былай жазуға болады:

$$a_1 = 1,182 \cdot 10^{-6} \cdot a \cdot (100 - A^0 - W); \quad a_2 = 9,091 \cdot 10^{-5} \cdot c.$$

(8.26) және (8.27) есебiнен P қаттағы газ қысымының шамасынан M_2 тәуелдiлiгiн мына теңдеулер түрiнде жазуға болады

$$M_2 = \frac{a_1 \rho_{nl} \rho_0 P}{1 + a_2 P}. \quad (8.30)$$

(8.24) және (8.30) теңдеуiн (8.25)-ға қойып, мына теңдеудi аламыз

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_z \frac{K_x}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(m \rho_z + \frac{a_1 \rho_{nl} \rho_0 P}{1 + a_2 P} \right). \quad (8.31)$$

(5.31) теңдеуiнде ρ_z және P шамалары өзара Бойль-Мариотта газ күйiнiң теңдеуiмен байланысты (газдың сығылу есебiнен газ күйiнiң теңдеуiмен өзара байланысты).

$$P = R_z T_z \rho_z, \quad (8.32)$$

мұнда R_z – әмбебап газ тұрақтылығы;

T_z – газ температурасы, °К.

T_z шамасы T_{nl} қаттың тең температурасына қабылданады және аталған жер үшін анықталған геотермиялы градиент арқылы табылады.

(8.31) теңдеуi квадратурада интеграцияланбайды, сондықтан дәл аналитикалық шешiмi жоқ, алайда сандық немесе қандай да бiр жуық аналитикалық әдiстердi қолдану мүмкiн. Көбiнесе, есеп маңызды ықшамдалады, егер жоғары жарықшақтылық пен өткiзгiштiкпен сипатталатын B_0 жасыту аймағының енi берiлсе, сосын бұл аймақта квази стационарлық жуықтау шешiмiн табу керек. Көмiр шиеленiспеген жағдайда жеткiлiктi жоғары газ өткiзгiштiкке ие, ал бұл зертханалық зерттеулермен расталады. Табиғи жатыс жағдайда көмiр қатындағы газ өткiзгiштiк 2-3 ретке төмен, ал бұл көлемдi сығумен байланысты. Көмiр массивi қабырғаларға iргелес жатқан қат даярлау қазбаларын жүргiзу кезiнде шытынайды, бұл ретте оның газ өткiзгiштiгi ұлғаяды. Көмiр қаттарындағы газды сүзгiлеу қатпарлар бойынша басым жүргiзiледi, сондықтан қаттарды газсыздандыру немесе метан бөлу

процестерін зерттеу кезінде көмір қатпарлары бойынша K_x газ өткізгіштігінің үлкен маңызы бар. Қарағанды бассейні үшін қат ара қашықтығынан қазба x қабырғасына дейінгі қат газ өткізгіштігінің тәуелділігі М. А. Ермеков теңдеуімен қанағаттанарлық дәлдікпен сипатталады:

$$K_x = (K_x^0 - K_{nl}) \cdot e^{-bx} + K_{nl}, \quad (8.33)$$

мұнда K_x^0 , K_{nl} – қат тереңдігіндегі және жиектегі газ өткізгіштігі, m^2 ;

b – m^{-1} өлшемділігі бар коэффициент.

Алайда жасыту аймағы шегінде көмір массиві қарқынды шытынап жарылады, сондықтан оның шекарасында қаттың газ өткізгіштігінің өзгеру заңы тым шұғыл өзгереді, осыған байланысты (5.33) теңдеу физика процесіне толық көлемде әсер етпейді. Үлкен тереңдіктегі жасыту аймағының ені 8-10 м-ге жетеді. Жасыту аймағындағы көмір қатының елеулі газ өткізгіштігі мына түрдегі теңдеумен сипатталады:

$$K_x = K_x^0 e^{-b_1 \sqrt{x}}. \quad (8.34)$$

$$K_x = K_x^0 e^{-b_2 x}, \quad (8.35)$$

мұнда b_1 , b_2 – $m^{0.5}$ және m^{-1} өлшемдері болатын эмпиристикалық коэффициенттер.

(8.34) формуласы тау-кен қысымының әсерінен қат деформациясының бастапқы кезеңі үшін (1–3 ай) тура. Көмір әрі қарай белгілі бір қысым аймағында жарылады және шамасынан газ өткізгіштігін x азайту заңы экспоненциалдылыққа жақын. Қарағанды бассейнінің көмір қаттары үшін коэффициенттер мәндері экспериментті түрде анықталған және мына шекте болады: $b_1 = 1,224 \dots 1,437$, $b_2 = 0,269 \dots 0,374$. (8.34) мен (8.35) теңдеулері $x = B_0$ кезінде $K = K_{nl}$ жасыту аймағының енін есептеуге мүмкіндік береді.

Квази стационарлық жуықтау кезінде жасыту аймағының енінде және қаттың газ өткізгіштігі өзгерісінің белгілі заңдары кезінде (8.23) теңдеуінің шешімі мына түрде болады:

$$J_c = - \frac{K_x^o (P_z^2 - P_o^2) b_1^2}{4 \mu_z P_o \left[e^{b_1 \sqrt{B_z}} (b_1 \sqrt{B_z} - 1) + 1 \right]}, \quad (8.36)$$

мұнда B_z – құрғату аймағының ені, м.

Көмірді бұзу $l_3 = 0,5 - 1,0$ м ұзындықтағы циклдермен өтеді. Сосын уатылған көмірді конвейерге тиейді және қазба осінің бойында жылжиды. Эксперимент көрсеткендей, газдың максимум саны көмірді уату мерзімінде бөлінеді және біркелкі емес сипатта болады.

Уатылған көмір көлемі әрбір цикл кезінде құрайды

$$V_{oy} = S_n \cdot l_3, \quad (8.37)$$

мұнда S_n - кенжар үйіндісіндегі қат қимасының ауданы, м².

Π_3 комбайнның пайдалану өнімділігі кезінде t_{oy} уату уақыты құрайды

$$t_{oy} = \frac{60 \cdot V_{oy} \cdot \rho_{nl}}{\Pi_3}, \quad (8.38)$$

мұнда Π_3 – комбайнның орташа пайдалану өнімділігі, т/мин.

Аталған есепті шешу негізіне $0 - t_{oy}$ уақыт ішінде метанды бөлудің орташа қарқындылығын алуға болады, өйткені бұл жағдайда $J_{oy} \rightarrow \max J_{oy}$. Онда газдың Q қосынды мөлшері уату мерзімі ішінде уатылған көмірден бөлінуі мүмкін, ол мына формула бойынша анықталады

$$Q = Q_0 \cdot A \cdot B^{lg t_{oy}} \cdot C^{lg d}, \quad (8.39)$$

мұнда $Q_0 - V_{oy}$, м³ көлемдегі метанның жалпы саны,

A, B, C – эмпиристикалық коэффициенттер. Қарағанды қаттары үшін $k_{14}, k_{12}, k_{10}, k_1, a_5$ коэффициенттері құрайды: $A = 0,08423, B = 1,547, C = 0,6416$;

d – бөлшектердің орташа диаметрі, мм.

V_{oy} көлемдегі метанның жалпы мөлшері мына түрдегі тәуелділіктің қаттың метандығымен байланысты

$$Q_0 = (x - x_0) \cdot V_{oy} \cdot \rho_{nl}, \quad (8.40)$$

мұнда x_0 – қаттың қалдық метандығы, м³/т.

Көмірді J_{oy} уату мерзімі ішінде метан бөлудің орташа қарқындылығы мына өрнектен анықталады

$$J_{oy} = \frac{Q}{t_{oy}}. \quad (8.41)$$

(8.41) өрнекке (8.38), (8.39), (8.40) формулаларын қойғаннан кейін аламыз

$$J_{oy} = \frac{\Pi_3 \cdot (x - x_0) \cdot A \cdot B^{lg t_{oy}} \cdot C^{lg d}}{60}. \quad (8.42)$$

J_c және J_{oy} анықтамасы бойынша алынған нәтижелер көмір шахталарын желдетуді жобалау бойынша басшылыққа алынған белгілі эмпиристикалық теңдеулермен әбден салыстыруға болады.

8.2.3 Газдың қабаттық жинақталуы

Қабаттық жинақталу - қазба топырағының немесе жабыны бойында орналасқан қабат түріндегі газдың жоғары концентрациясына салыстырмалы ағындағы газ-ауа қоспасындағы жинақталу. Шахта жағдайында қабатталып жинақталу негізінен метан және көмірқышқыл газы түзіледі. Қазіргі кезде метанның қабаттық жинақталуы барынша зерттелген, ал көмір қышқыл газының жинақталуы аз зерттелген.

Метанның қабаттық жинақталуы үлкен қауіптілік тудырады, себебі ондағы метанның құрамы 90...100 %-ға жетуі мүмкін, оның бір бөлшегі әдетте жарылуы қауіпті концентрацияны білдіреді. Қалыңдығы 70 см-ге дейін және ұзындығы 270 м-ге дейін қабат көрінген. Қабаттық жинақталу қауіптілігі оның орналасқан жерін анықтау тым күрделігінде. Қабаттар қазба бойымен ауа ағынына қарсы 0,25 м/с жылдамдыққа дейін жылжуы мүмкін. Қазбадағы елеулі қабаттық жинақталу оның шығуындағы метанның орташа концентрациясы мүмкін шекте болады. Метанның қабаттық жинақталуын тауып алу үшін төбе жабатын кеңістік астындағы қазбаның ұзындығы бойынша метан концентрациясын өлшеуді жүргізу қажет, елеулі уақыт шығынын талап етеді.

Қабаттық түзілу газдың диффузиялық қасиеттері және ағынның диффузиялық қасиеттері, орташаланған қозғалыс жылдамдығын қалыптастыру үшін факторлармен анықталатын конвекциялық-диффузиялық тасымалдау процестерінің жеке жағдайы болып табылады.

Газдың қабаттық жинақталу түзілуінің жағдайы жеткілікті қарқындылықта газ бөлуі бар қауіпті орындар үшін әлеуетті газ алмасу процестері босаңдауы болып табылады. Газ алмасудың әлсіреуі аэродинамикалық немесе масса алмасу сипатындағы немесе олардың бірлескен әрекет факторларының әсерінен негізгі ағын турбуленттілігінің азаюымен байланысты. Маңызды аэродинамикалық факторлар қатарына ағын турбуленттілігінің азаюына мүмкіндік береді, ағынның көлденең қимасына жылдамдық градиентін азайту және бойлық бағытта ауа ағынының орташа жылдамдығын азайту жатады. Жылдамдық градиентінің жабынының қалыптылығын азайту оның биіктігін ұлғайту нәтижесінде қазбаның көлденең қимасын ұлғайту кезінде үлкен шамада әсер етеді.

Практикада барынша қабаттық жинақталу қазба биіктігін ұлғайту кезінде жиі табылған. (8.21)-дан қазба биіктігін ұлғайту Ричардсон санын ұлғайтады, соның салдарынан ағындағы араластыру да нашарлайды.

Қабаттық жинақталуды дамытудың бастапқы себебін терең аэродинамикалық сипатты факторлары деп санауға болады. Олар жеткілікті қарқындылық кезінде газдың бөлінуі, газдың жиналуына және көлемді күштердің пайда болуына мүмкіндік береді, олардың әрекеті турбуленттілікті сөндіру процесін күшейтеді. Бұл газдың әрі қарай жинақталуына және көлемді күштердің дамуына әкеледі, олар газ тасымалдаудың минимум процестеріне дейін және турбуленттіліктің толық төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Қабаттық жинақталуды бұзу және оны жою мүмкіндігін сипаттайтын негізгі критерийлер ретінде ауа ағыны қозғалысының орташа жылдамдығын санау ұсынылады.

Шоғырланған көздермен түзілген метанның қабаттық жинақталуын жою үшін, ауа қозғалысының v_{cl} орташа жылдамдығы мына формула бойынша анықталады

$$v_{cl} = 4 \frac{\sqrt[4]{J_{CH_4}}}{D}, \quad (8.45)$$

мұнда J_{CH_4} – қабаттық жинақталуды түзетін метан көзінің дебиті, м³/мин;

$D = 4S / P$ – қазбаның гидравликалық диаметрі (S – қазбаның көлденең қимасының ауданы, м²; P – қазба периметрі, м).

Егер газ көзі $S_u > 1$ м² ауданы бойынша шоғырланған болса, онда метанның қабаттық жинақталуын жою үшін қажетті ағынның орташа жылдамдығы (м/с) мына формула бойынша табылуы мүмкін

$$v_{cl} = 3,2 \frac{\sqrt{J_{CH_4}}}{D^4 \sqrt{S_u}}. \quad (8.46)$$

Қазбадағы метанның біркелкі бөлінуі кезінде

$$v_{cl} = 318 k_{cl} k_{\partial} \sqrt{\frac{J_{CH_4}}{B}}, \quad (8.47)$$

мұнда B – қазба ені, м;

k_{cl} – қазба бүйірінен және жабыннан газдың бөліну ара қатысын ескеретін коэффициент;

k_{∂} – қабаттық жинақталу ұзындығын ескеретін коэффициент.

k_{cl} және k_{∂} коэффициенттері белгілі бір шарттар үшін анықтамалық деректер бойынша анықталады.

Көмір шахталары үшін жалпы қабылданған ұсыныспен қандай да бір шектеулерсіз метанның қабаттық жинақталуын жою үшін 0,5 – 1,0 м/с-ға тең қазбадағы ауаның орташа жылдамдығының сындарлы мәндері болып табылады. Алайда бұл жылдамдық шахта жағдайында кездесетін қазбаның көлденең қимасының өлшемдері мен пішіндерінің ара қатысын белгілеу, газ бөлу шамасымен оларды белгілеу жоғарыда келтірілген формулалар бойынша тексеру қажет кезде жүзеге асырылады.

Қабаттық жинақталуды сақтандырудың тиімді құралы газсыздандыру болып табылады. Қабаттық жинақталуды бұзу қазбадағы ауа қозғалысы орташа жылдамдығын ұлғайту, жергілікті желдету желдеткіштерін қолдану, төбені жабатын кеңістікте мәжбүрлі желдетумен жабын бойында бойлық ара жабындарды орнату, 2/3 биіктікте қазбаның төменгі бөлігін жабатын 3 × 3 мм

ұяшықтары бар торларды қолдану, көлденең қалқандар орнату, қабаттық жинақталуда сығылған ауаны эжекциялау, сондай-ақ аталып өткен нұсқалар қиыстыру арқылы болады.

8.2.4 Саңылаулы қазбаларда газ тасымалдау

1. *Лавалардағы газ тасымалдау.* Лаваның газ динамикасы қазылған және көмірі уатылған кеңістіктен тау-кен массивінің бөлінуімен байланысты газ динамикалық процестермен анықталады. Осы процестердің жиынтықты әсері айдау штрегінен желдету штрегіне дейінгі бағытта лаваның ұзындығы бойынша метан концентрациясының өсуін тудырады, ол мына түрдегі тәуелділікпен сипатталуы мүмкін

$$c = a e^{(b\bar{x})} + d, \quad (8.48)$$

мұнда \bar{x} – лава ұзындығына лаваның басынан оның қарастырылатын қимасына дейінгі ара қашықтық қатынасы;

a, b, d – эмпиристикалық коэффициенттер.

Егер көмір қазу комбайнмен жүргізілсе, онда оның жұмыс орнында ашық беттер және көмір кесектерінен метан қосымша бөлінеді. Бөлінген газ лава бойының желдету ағынымен таралады. Комбайннан алшақтау шамасы бойынша ауа ағынындағы метан концентрациясы азаю жағына қарай өзгереді және мына формуламен анықталады

$$c = c_k e^{-0,32l_k}, \quad (8.49)$$

мұнда c_k – комбайн үстіндегі метан концентрациясы;

l_k – ауа ағыны қозғалысының бағыты бойынша лаваның бойындағы комбайннан бергі ара қашықтық, м.

Лава биіктігі бойынша метан концентрациясы елеулі өзгереді.

2. *Желдету штректеріндегі газ тасымалдау.* Желдету штректерінің газ динамикасы желдету сұлбасымен анықталады. Егер штрек массивте орналасса, онда қазба бойындағы газ концентрациясы тұрақты немесе штрек бетінен газ бөліну болғанда аузына қарай біршама ұлғаяды.

Желдету штрегінің көлденең қимасындағы метан концентрациясы газ беретін бетке қарайғы бағытта ұлғаяды (мысалы, көмір қатының газ беретін бетіне немесе қазылған кеңістігіне қарай жанасатын беттер). Штректің көлденең қимасындағы концентрацияны бөлу мына түрдегі экспоненциалды тәуелділікпен сипатталады

$$c = c_2 e^{a \frac{z}{\delta}}, \quad (8.50)$$

мұнда c_2 – газ беретін бетте газ концентрациясы;

z – газ беретін нормаль бойынша ара қашықтық;

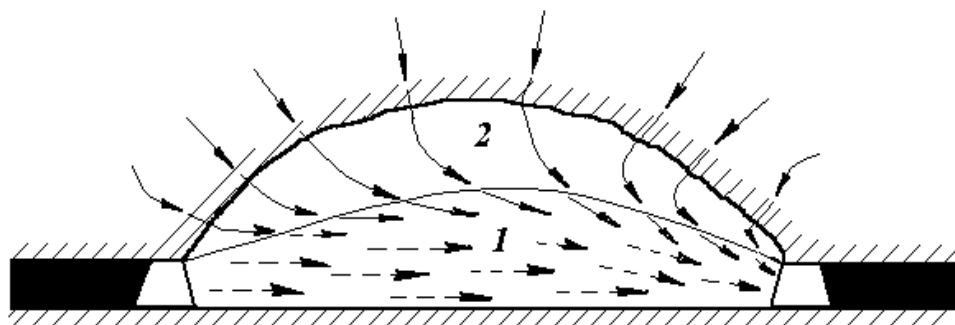
a – диффузия жағдайына байланысты коэффициент;

δ – ағынның аталған қимасындағы диффузиялық қабат қалыңдығы.

Егер желдету штрегінің жабынында қабаттық жинақталу түзілсе, онда штректің көлденең қимасындағы метан концентрациясының бөлінуі неғұрлым күрделі.

3. *Қазылған кеңістіктегі газ тасымалдау.* Қазылған кеңістіктегі газ динамикасы қазылған кеңістік арқылы ауаның жылыстауына, газ бөлу сипатына және қарқындылығына, учаскенің ауа өткізетін қазбаларына қазылған кеңістіктің жанасу сұлбасы байланысты. Қазылған кеңістікте метанның қозғалыс жолы негізінен ауаның жылыстау қозғалысының бағытына сәйкес келеді.

Қазылған кеңістікте ауаны белсенді желдететін 1 аймақты және ауа іркілетін 2 аймақты көрсетуге болады (8.4-сурет). Метан белсенді аймақта ауаның жылыстауы қарқынды қосылады және оның концентрациясы салыстырмалы жоғары емес (10 %-дан артық емес). Себебі ауа іркілген аймақта ауаның жылыстауына қол жеткізілмейді, онда жоғары концентрациялы метанмен газ қоспасы жиналады. Метан іркілген аймақта қат-спутниктерден түседі, ал сосын белсенді аймаққа бағыты бойынша баяу орналасады.



8.4-сурет. Қазылған кеңістікте метан қозғалысының сұлбасы:

1 – ауа кемуінің белсенді желдету аймағы; 2 – іркілген аймақ; метан қозғалысы тұтас стрелкамен көрсетілген, ал үзік-үзік сызықпен ауа кемуінің қозғалысы көрсетілген

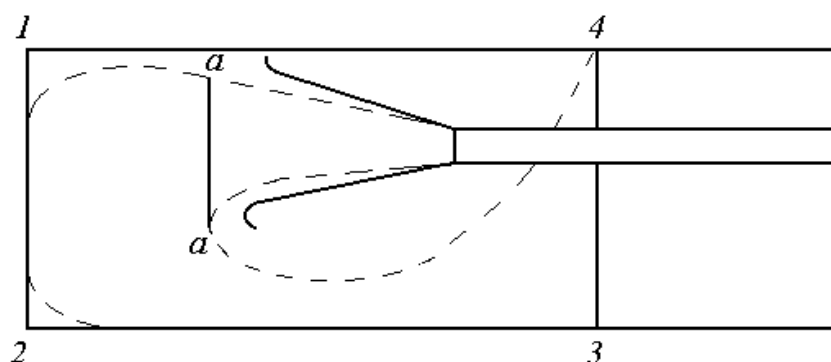
Іркілген аймақта жоғары концентрациялы метанның газ қоспасында мөлшерден артық болуы желдету учаскесінде ауа жұмсалыуының күрт ұлғайту немесе атмосфералық қысым күрт құлаған жағдайда қазба шеңберінде оның күрт бөлінуіне әкелуі мүмкін. Соңғы жағдайда қазылған кеңістік арқылы ауаның кемуі ұлғаяды, белсенді аймақ шекарасы жоғарыға қарай жылжиды, жоғары концентрациялы метан бар газ қоспасының бір бөлігі ауа кемуін қамтиды және желдету штрегінде шығарылады.

8.2.5 Тұйық қазбада газ тасымалдау

1. Тұйық қазбада кенжар маңындағы бөліктегі газ динамикасы. Газ тасымалдау процесі кенжар маңындағы бір бөлікте даярлау қазбасын желдетудің айдау тәсілі кезінде негізінен еркін ауа ағысында өтеді, ол жергілікті желдету құбырынан ауа шыққан кезде түзіледі.

Қазбада жарылыс жұмыстарын жүргізген кезде жарылғыш заттарды (ЖЗ) жіктеу өнімдері, сондай-ақ бұзылған массивтен бөлінетін газдар жылдам түседі. Диффузиялық процестер әсерінен түзілетін газ бұлты қазба бойымен жылжи отырып, сейіле бастайды. Түзілген газдардың мөлшерін шектеу және таза ауаны беру тұрақтылығы, оларды кенжарда концентрациялау азаяды, ал бұл газ тасымалдаудың стационарлық емес процестері туралы растайды.

Құбырдан шығудағы ауаның ағыны еркін ағыс түзеді, ол шектелген кеңістікте таралады (8.5-сурет).



8.5-сурет. Айдау арқылы желдету кезінде тұйық қазбаның кенжар маңындағы бөлігінде газ тасымалдауды қарастыруға арналған сұлба

Мұндай ағыстың құрылымы шексіз кеңістікте қалыптасатындардан маңызды ерекшеленеді. Зерттеулер кенжардың ортасына қарай қуалайтын ағыс $a - a$ қимасына кері тоқтың циркуляциялық сақиналарын түзе отырып бұрылатындығын көрсетті. Еркін ағыстағы газ концентрациясы газдың турбуленттік диффузиясы салдарынан қоршаған көлемнен ағысқа оның бұрылуына дейінгі ағын қозғалысының бағытына қарай ұлғаяды, $a - a$ қимасында максимум мәнге қол жеткізеді. Ағыс бұрылыста $1 - 2$ және $3 - 4$ қималармен шектелген көлемнен қарастырылатын газды шығаруға жұмыс істейді.

Оның шекарасындағы газ c концентрациясына еркін ағыстың тұрақты массасындағы ядрога газдың c_{cp} орташа концентрациясының қатынасына тең k_T турбуленттік диффузия коэффициентін қарастыруға енгіземіз, яғни

$$k_T = \frac{c_{cp}}{c}. \quad (8.51)$$

Коэффициентінің k_T мәні ауа жолының диаметріне, сондай-ақ оның шығу тесігіне дейінгі ара қашықтыққа да байланысты және 0,3 – 0,9 шегінде өзгереді.

Тұрақты масса ядросындағы шекарадағы концентрация қоршаған газдалған көлемде тең, мына формула бойынша dt уақыт ішінде $a - a$ қимасы арқылы шығарылатын газ мөлшерін анықтаймыз

$$dq_1 = Q c_{cp} dt = Q k_T c dt,$$

мұнда Q – кенжарға келіп түсетін мөлшерге тең $a - a$ қимасы арқылы ауаның жұмсалуды, m^3/c .

Сондықтан 3 – 4 қимасы арқылы осындай газ мөлшері шығарылады, 1–2–3–4 (8.5-сурет) араластыру аймағында мына шамаға газдың азаюын тудырады

$$dq_2 = V_c dc,$$

мұнда V_c – араластыру аймағының көлемі, m^3 .

Массаны сақтау заңына сәйкес араластыру аймағына келіп түсетін қосынды және одан шығарылған газ тең, яғни

$$dq_1 + dq_2 = 0.$$

Тиісті мәндерді қоя отырып, келесі дифференциалдық тендеулерді аламыз

$$Q k_T c dt + V_c dc = 0,$$

c_n концентрациядан c –ға дейін өзгеріс кезінде 0-ден t -ға дейінгі желдету уақытында интеграциялай отырып, мынаны аламыз

$$Q = \frac{V_c}{k_T t} \ln \frac{c_n}{c}, \quad (8.52)$$

мұнда c_n – кенжар маңындағы кеңістікте газдың бастапқы концентрациясы;

c – кенжар маңындағы кеңістікте газдың мүмкін мазмұны. Көмір шахталары үшін Қауіпсіздік ережесінің талаптарымен анықталады.

Тұйық қазбаның кенжар маңындағы бөлікте газдың бастапқы концентрациясы мына формула бойынша анықталады

$$c_n = \frac{B \cdot b}{V_{3.0}}, \quad (8.53)$$

мұнда B – бір уақытта жарылатын ЖЗ саны, кг;

b – ЖЗ газдылығы, $m^3/кг$;

$V_{3.0}$ – газ қалдығы аймағының көлемі, m^3 .

Формула (8.52) Q ауа мөлшерін анықтауға мүмкіндік береді, ол кенжарда газ концентрациясы c_n -ден c -ға дейін төмендейтін t уақыт ішінде тұйық қазбаның кенжарында берілу қажет.

2. *Тұйық қазбаның негізгі бөлігіндегі газ динамикасы.* Кенжар маңындағы бөліктен шығарылатын газ-ауа қоспасы бұлт түріндегі қазбаның негізгі бөлігіне келіп түседі, ол қазба аузына қарай ауа ағынымен жылжиды және деформацияланады. Уақыттың бастапқы сәтінде бұлттың барлық көлемінде газ концентрациясы шамамен бірдей. Әрі қарай, кенжарға ауа құбыры бойынша таза ауаны беру салдарынан, газ конвекциялық тасымалдау әрекетінен қазба бойында тарала бастайды. Бұл ретте диффузиялық процестер әрекетінен газ бұлтының көлемі ұлғайып, сейіле бастайды. Газ массасы өзгеріссіз қалады, ал бұлт көлемі қазба бойымен орналастыру шамасы бойынша тарылады, бұлттағы газ концентрациясы кенжардан $l_{кр}$ рауалы шамадан кейбір ара қашықтыққа жеткізгенде үздіксіз азаяды.

Жарылыс жұмыстарын жүргізу кезінде түзілген газдар үшін метрдегі сындарлы ара қашықтық формула бойынша анықталады

$$l_{кр} = 12,5 \frac{k_T B b}{S_6 k_{ym}^2}, \quad (8.54)$$

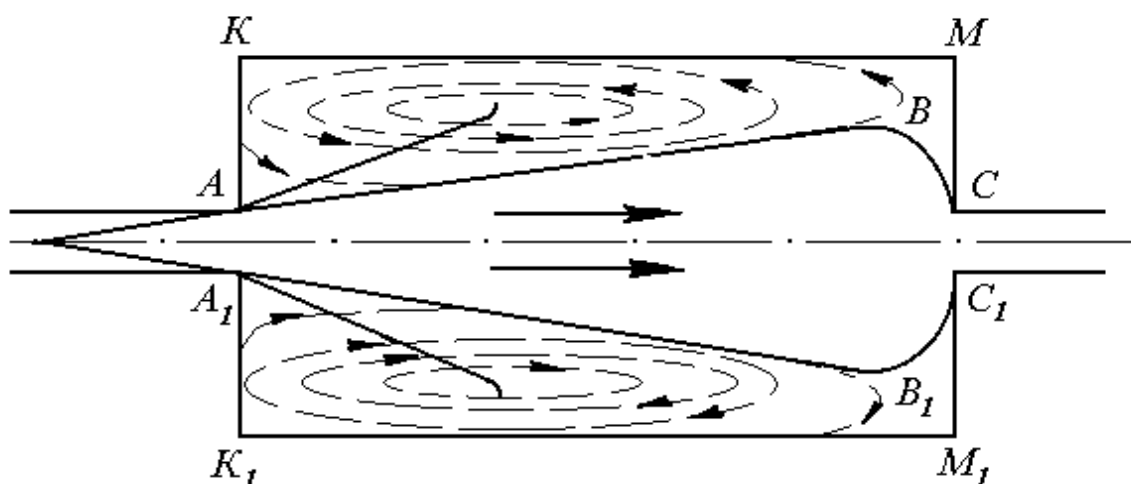
мұнда S_6 – қазбаның көлденең қимасының ауданы, m^2 ;

k_{ym} – құбыр жолындағы ауаның жылыстауын ескеретін коэффициент.

Кенжарға берілетін ауаның мөлшерін ұлғайту кезінде газ концентрациясы және сындарлы ара қашықтық азаяды. Егер жарылыс жұмыстарының факторлары бойынша тұйық қазбаны желдету үшін ауаның тұтынған мөлшерін есептеу кезінде қазба ұзындығы (8.54) формуласымен анықталатын сындарлыдан артық болса, онда есептеу формуласына сындарлы ұзындық енгізіледі.

8.2.6 Камераның газ динамикасы

Камера тәріздес қазбалардың ауа қозғалысы еркін турбуленттілік заңына бағынады. 5.6-суретте жалпы түрде камераны желдету сұлбасы берілген.



8.6-сурет. Камераны желдету сұлбасы

Елеулі көлденең өлшемі және үлкен ұзындығы бар камераларда тұрақты масса ядросының ұлғаюы газды тиімді шығаруға қамтамасыз етпейтін шамаға дейін ауа қозғалысының жылдамдығын азайтуға әкелуі мүмкін. Камераны әрекетті желдетуді қамтамасыз ету үшін еркін ағыстың турбуленттілік дәрежесі жеткілікті жоғары болуы керек. Әрі қарай газ тасымалдау процестерін талдау кезінде камерада ауа қозғалысының турбуленттілік режимі қамтамасыз етіледі.

Камерада V көлемімен J қарқындылықтағы үздіксіз газ бөлінеді. Камерада dt уақыт ішінде мына мөлшердегі зиянды газдар бөлінеді

$$q_1 = Jdt.$$

Әрі қарай камераға Q мөлшердегі ауа түссін және c_n -ға тең камерадағы газ концентрациясы мөлшерінде болсын. Камерада dt уақыт ішінде мына мөлшердегі қосымша зиянды газдар түсетіні айқын

$$q_2 = Qc_n dt.$$

Камерадан осы уақыт ішінде тұрақты масса ядросымен газ шығарылады

$$q_3 = Qk_{T,1} c dt,$$

мұнда $k_{T,1}$ – жартылай ластанған еркін ағыстың турбулентті диффузиясының коэффициенті;

c – сол сәтте камерадағы газдың орташа концентрациясы.

В. Н. Воронин зерттеулерінің деректері бойынша $k_{T,1}$ турбуленттік диффузия коэффициенті мына формула бойынша k_T таза ағыстың турбулентті диффузиясы арқылы берілуі мүмкін

$$k_{T,1} = k_T + (1 - k_T) \frac{c_n}{c}. \quad (8.55)$$

Камераға келіп түсетін және одан шығарылатын газ айырмашылығы камерадағы зиянды қоспалар санының өзгерісіне тең

$$q_4 = Vdc.$$

Массаны сақтау заңы күшінде мына теңдік әділ болады

$$q_1 + q_2 - q_3 = q_4.$$

Тиісті мәндерді қойып, (5.55) назарға алып, мынаны аламыз

$$Jdt + Qc_n dt - Qk_T c dt = Vdc. \quad (8.56)$$

Белгілеуді енгіземіз

$$R = \frac{Qk_T}{V}; \quad (8.57)$$

$$R_o = \frac{Qk_T c_n + J}{V}. \quad (8.58)$$

Дифференциалдық теңдеу (5.33) мына түрде жазылуы мүмкін

$$\frac{dc}{dt} + Rc = R_o. \quad (8.59)$$

Алынған теңдеу камера тәріздес қазбаларда газ динамикалық құбылыстарды талдау кезінде кең қолданылады.

8.2.7 Мерзімді және тұрақты газ бөлінісі кезінде газ тасымалдау

Камераларды желдетудің екі негізгі жағдайын қарастырамыз: стационарлық емес процестерге тән мерзімдік газ бөлінуі кезінде және стационарлық газ динамикалық процеске тән уақытпен үздіксіз газ бөлінуі кезінде. Қарастырылатын құбылыстарды ағысқа келіп түсетін газ концентрациясы нольге тең болған жағдайда, яғни

$$c_n = 0. \quad (8.60)$$

1. Газдың мерзімдік бөлінуі камерадағы жарылыс жұмыстарын жүргізумен байланысты. Өйткені үздіксіз газ бөлінбейді, онда $J = 0$. (5.58) өрнектен (5.60) назарға алып, $R_o = 0$ табамыз. Осы теңдеу есебінен (5.59) мына түрді қабылдайды

$$\frac{dc}{dt} = - Rc. \quad (8.61)$$

Аталған теңдеуді интеграциялай отырып, (8.57) назарға аламыз

$$\int_{c_n}^c \frac{dc}{c} = - \frac{Qk_T}{V} \int_0^t dt,$$

осы жерде камераны желдету үшін Q ауаның тұтынатын мөлшерін анықтау бойынша есептеу формуласын табамыз

$$Q = \frac{V}{k_T t} \ln \frac{c_n}{c}, \quad (8.62)$$

мұнда c_n – бастапқы сәттегі камерадағы газдың бастапқы концентрациясы ($t = 0$ кезінде).

Камераны желдету үшін ауаның қажетті мөлшерін анықтау кезінде t желдету уақытымен берілуі қажет, уақыт ағыны бойынша камерадағы газ концентрациясы Қауіпсіздік ережелерінің қарастырылатын талаптарына сай болады.

2. Камерадағы тұрақты газ бөлінуі кезінде түсетін газ және шығарылатын газ мөлшері арасында динамикалық тепе-теңдік орнатылады. Бұл жағдайда камерадағы газ концентрациясы уақытпен өзгермейді. Сондықтан, $dc/dt = 0$. (5.60) шарты есебінен (5.59) теңдеуі мына түрді қабылдайды

$$Rc = R_o.$$

R және R_o орнына олардың мәндерін (8.57) пен (8.58) теңдеулеріне сәйкес қойып, камераны желдетуді ұйымдастыруға ауаның қажетті мөлшерін анықтау үшін есептік формуланы аламыз

$$Q = \frac{J}{k_T c}. \quad (8.63)$$

Егер $c_n \neq 0$ болған жағдайда, аламыз

$$Q = \frac{J}{k_T (c - c_n)}. \quad (8.64)$$

Ауа шығынын анықтау үшін уақыт бірлігінде J камерадағы газдың бөлінуін білу қажет. (5.63) және (5.64) формулаларда c орнына Қауіпсіздік ережелері бойынша камерадағы газдың мүмкін концентрациясын қабылдау ұсынылады.

8.3. Жерасты шахта қазбаларындағы шаң динамикасы

Шаң аэрозольдерінің жалпы сипаттамасы

Аэрозоль деп газ тәріздес ортаның және қатты немесе сұйық фазаның дисперсиялық жүйесін атайды. Олар тау-кен массасы массивінің бұзылу және бөліну процесінде, тиеу, тасымалдау және артық тиеу процесінде түзіледі, сондай-ақ ауа ағындарының әсерінен шаң ұшпалы күйге ауысады. Шаң динамикасы ағыннан шаң бөлшектерінің орналасуы мен құлауы, 0,0001 ден 100 мкм-ге дейінгі іріліктегі шаң бөлшектерінің өзара әрекеттесуі қарастырылады.

Аэрозольдың ұнтақтылық дәрежесі Кнудсен санымен анықталады, ол мына формула бойынша есептеледі

$$K_n = \frac{l_m}{r}, \quad (8.65)$$

мұнда l_m – газ молекуласының еркін жолының орташа ұзындығы (қалыпты жағдай кезінде $l_m = 0,1$ тең деп қабылданады), мкм;

r – шаң бөлшектерінің радиусы, мкм.

$r < 0,01$ мкм және $K_n \geq 1$ радиусы бар аэроұнтақтылық жүйелер жоғары ұнтақтылықты аэрозольдерге жатады, оларды тасымалдау процестері молекулярлық-кинетикалық теория формулаларымен сипатталады. Желдетулерді есептеу үшін дөрек ұнтақталған ($r > 1$ мкм, $K_n < 1$) және орташа ұнтақталған ($K_n \approx 1$, $r = 0,05 \dots 0,8$ мкм) аэрозольдар жатады. Шахта атмосферасындағы аэрозольдар құрамы жартылай ұнтақталған, себебі онда әртүрлі іріліктегі шаң бөлшектері болады.

8.3.2 Қозғалмайтын ауада шаңның шөгуі

Қозғалмайтын ауада шаңның өлшенді бөлшектерінің қозғалысы (седиментация) ауырлық күшінің әрекетімен және ауаның ауырлық күшімен анықталады.

G ауырлық күші шар тәріздес пішіндегі бөлшектер үшін мына формула бойынша анықталады

$$G = \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho - \rho_1). \quad (8.66)$$

мұнда ρ және ρ_1 – бөлшектер мен ауаның сәйкес тығыздығы, кг/м³.

0,8...35 мкм радиусы бар бөлшектер үшін F ауаның кедергі күші Стокс формуласы бойынша анықталады (10 %-ға дейінгі дәлдікпен)

$$F = 6\pi\mu r v, \quad (8.67)$$

мұнда μ – ауа тұтқырлығының динамикалық коэффициенті, кг/(м·с);

ν – бөлшектерді тұндыру жылдамдығы, м/с.

Егер ауырлық күші кедергі күшінен үлкен болса, онда бөлшектерді тұндыру үдеме жылдамдықпен жүргізіледі. Осы күштер тең кезінде шаң бөлшектері тұрақты жылдамдықпен тұнады, ол оралу жылдамдығы деп аталады. $G = F$ оралу жылдамдығы кезінде (5.66) және (5.67) өрнектердің оң жақ бөлігін теңестіре отырып, оларды ν салыстырмалы шешеміз, ірі ұнтақты бөлшектердің оралу жылдамдығын анықтау үшін мына формуланы аламыз

$$\nu = \frac{2}{9} \frac{r^2 g \rho}{\mu} . \quad (8.68)$$

(5.68) формуласында ρ_1 қарастырылмайды, себебі $\rho \geq \rho_1$.

Ауа кедергісінің күші 0,05...0,8 мкм іріліктегі шаң бөлшектерінің құлауы Мелликен формуласы бойынша анықталады

$$F = \frac{6\pi\mu r\nu}{1 + A\frac{l_m}{r} + B\frac{l_m}{r} e^{-\frac{br}{\rho}}} , \quad (8.69)$$

мұнда A , B , b – эмпиристикалық коэффициенттер ($A = 0,82...0,9$; $B = 0,23...0,29$; $b = 1,25...2,61$ әртүрлі кедір-бұдырлығы бар бөлшектер үшін).

(8.66) және (8.69) теңдеулердің оң жақ бөлігін теңестіре отырып өрнек аламыз, оны шеше отырып, орташа ұнтақталған бөлшектердің оралу жылдамдығын табамыз

$$\nu = \frac{2}{9} \frac{r^2 g \rho}{\mu} \left(1 + A\frac{l_m}{r} + B\frac{l_m}{r} e^{-\frac{br}{\rho}} \right) . \quad (8.70)$$

(8.68) және (8.70) формулалар шар тәріздес пішіндегі бөлшектер үшін дұрыс. Дұрыс емес пішіндегі бөлшектер үшін есептеулерде эквивалентті радиусты пайдалану қажет, дұрыс емес пішіндегі бөлшектердің көлеміне тең көлемі бар шар радиусына сәйкес келеді. Бөлшектердің эквивалентті радиусы (мкм) мына формула бойынша есептеледі

$$r_э = 0.24 \cdot \sqrt{\frac{c}{d_c \sqrt{a}}} , \quad (8.71)$$

мұнда c – оның орташа көлденең өлшемдеріне бөлшектер қалыңдығының қатынасы;

a – оның орташа көлденең өлшеміне бөлшектер ұзындығының қатынасы;
 d_c – микроскоппен көрінетін бөлшектердің орташа көлденең өлшемі, мкм.

a және c мәндері уатылған тау жыныстарының кесектерінің тиісті мәндері бойынша анықталады, одан шаң түзіледі.

$G > F$ кезінде үдемелі жылдамдықпен шаң бөлшектерінің шөгуі мына дифференциалдық теңдеумен сипатталады

$$\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} - g = 0. \quad (8.72)$$

Бұл жерде

$$\tau = \frac{2r^2\rho}{9\mu}.$$

(8.72) теңдеуінің шешімінен тым шапшаң қозғалыс кезінде шаң бөлшектері қозғалысының жылдамдығы мынаған тең болады

$$v^* = v \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \quad (8.73)$$

Үдемелі қозғалыс кезінде t уақыт ішінде бөлшектер арқылы өтетін жолдардың ұзындығы мына формула бойынша анықталады

$$l = vt - v\tau \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \quad (8.74)$$

Баяу қозғалыс кезінде бөлшектер жылдамдығы мына формула бойынша анықталады

$$v' = v_n e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (8.75)$$

мұнда v_n – бөлшек қозғалысының бастапқы жылдамдығы, м/с.

t уақыт ішінде баяу қозғалыс кезінде бөлшектер жылдамдығы мына формула бойынша анықталады

$$l = v_n \tau \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right). \quad (8.76)$$

8.3.3. Шаңның турбулентті диффузиясы

Ауадағы шаң қозғалысы ауа ортасының турбуленттік қозғалысына, сондай-ақ ауырлық күштер әрекеттеріне де байланысты. Себебі ауырлық күшінің әрекетінің әсерінен жоғарыда анықталған іріктелген барлық шаң ауадан түседі және қазба топырағына және үстіңгі бетке шөгеді. Қалған шаң түйіршіктері ауаның лүпілдеуші қозғалысына байланысты. Лүпілдеу жоғары болған сайын, шаң бөлшектерінің өлшемдері соншалықты өлшенген күйде болады. Шаң концентрациясының стационарлық және стационарлық емес бөлулері мүмкін. Стационарлық (өзгермейтін) бөлу қазба топырағының бетіне шаң бөлшектері тұнбаған жағдайда гравитациялық күштер мен диффузиямен жасалған шаң ағындарының теңдігі кезінде орын алады. Қазба ұзындығы бойынша шаң концентрациясын стационарлық емес бөлу бастапқы кезеңдерде орын алады, ағыннан барынша ірі шаң түйіршіктері түседі.

Шаң n концентрациясы z биіктікте стационарлық режим кезінде мына формула бойынша анықталады

$$n = n_o \exp\left(-\frac{\nu z}{D_T}\right), \quad (8.77)$$

мұнда n_o – қазба топырағындағы шаң концентрациясы, мг/м³;

ν – z биіктікте шаң шөгу жылдамдығы, м/с.

$K \ll 1$ кезінде аэрозоль үшін турбуленттік диффузия коэффициенті (м²/с) мына тәуелділікпен анықталады

$$D_T = 0.044 \nu Re^{0.75}, \quad (8.78)$$

мұнда ν – тұтқырлықтың кинематикалық коэффициенті, м²/с;

Re – ауа ағындары үшін Рейнольдс саны.

Қазбаның ұзындығы бойынша шаң концентрациясының стационарлық емес бөлінуі мына өрнектен алынады

$$n = n_o \exp\left(-\frac{4}{9} \cdot \frac{\rho g x r^2}{\pi \nu_x \mu D}\right), \quad (8.79)$$

мұнда x – шаң түзілуі көздерінен бергі ара қашықтық, м;

ν_x – ауа ағындары қозғалысының жылдамдығы, м/с;

D – қазбаның гидравликалық диаметрі, м.

(8.77) және (8.79) формулалары жартылай ұнтақталған аэрозоль үшін дұрыс, олардың шаң бөлшектерінің массасы турбуленттік ауа ағынында араластыру процесінде өзгеріссіз қалады. Нақты аэро ұнтақталған жүйе динамикасы өзара және қоршаған ортамен шаң бөлшектерінің өзара әрекеттесу

көп байланысқан процестерімен сипатталады. Осы әрекеттесу нәтижесінде масса тұрақты болып қалмайды, үздіксіз өзгереді, ал мұны қазба қимасы мен ұзындығы бойынша шаң концентрациясын бөлу заңдылықтарын сипаттау кезінде ескеру қажет.

Ауадағы шаң концентрациясы көмір шахталарында ауа қозғалысының жылдамдығын ұлғайту кезінде 0,2...1,0 м/с шегінде және даярлау қазбасында 0,3...0,5 м/с шегінде күрт өзгереді. Кеніштердегі тазарту қазбаларындағы ауа қозғалысының оңтайлы жылдамдығы 0,7...1,0 м/с, ал үңгілеу кенжарларында – 0,25...0,6 м/с құрайды.

Шаң факторы бойынша беруге қажетті ауаның оңтайлы мөлшері мына формула бойынша анықталады

$$Q_{onm} = v_{onm} \cdot S, \quad (8.80)$$

мұнда v_{onm} – шаң факторы бойынша ауа қозғалысының оңтайлы жылдамдығы, м/с.

$Q_{ин}$ шаң бөлу көздерінің қарқындылығы бойынша қазбаны желдету үшін (м³/с) ауаның жұмсалуды мына формула бойынша анықталады

$$Q_{ин} = \frac{N_n k_n k_e}{n_0 - n_n}, \quad (8.81)$$

мұнда N_n – шаң түзу көздерінің қарқындылығы, мг/с;

k_n – шаң түзудің біркелкі еместігінің коэффициенті;

k_e – ылғалдың әсер ету коэффициенті;

n_0 – шаңның мүмкін концентрациясы, мг/м³;

n_n – қазбаны желдетуге келіп түсетін ауадағы шаңның бастапқы концентрациясы, мг/м³.

Егер ауадағы шаңның мүмкін концентрациясы $Q_{onm} = Q_{ин}$ шартын орындау кезінде қамтамасыз етіледі. Егер $Q_{onm} < Q_{ин}$ болса, онда желдету шаңмен күресудің басқа құралдарымен үйлесімінде қолданылуы тиіс.

Қонған шаңды қағып түсіру

Қазба топырағы мен бетінде шөккен ауа ағынын белсенді тарту кейбір сындарлы мәндерден асатын ауа қозғалысының жылдамдығы кезінде басталады, содан кейін ауадағы шаң бөлшектерінің концентрациясы ұлғая бастайды.

Ауа ағынының шаң бөлшектеріне әсері F_n маңдайлық қысым күшінен және F_n көтергіш күштен пайда болады, сондықтан ауа ағынындағы шаң бөлшектерін қозғап көтеруге тырысады. Шаң бөлшектері тыныштық күйінде F_T ауырлық күшін және оның үстіңгі бетке жабысу күшін ұстайды F_{np} (адгезия күші). Шаң бөлшектері мына шарт кезінде өлшенді күйге ауысады

$$F_l + F_n > F_T + F_{np}. \quad (8.82)$$

Маңдайлық қысым күші мына формула бойынша анықталады

$$F_l = \xi_l \frac{\pi d^2}{4} \frac{v^2 \rho}{2g}, \quad (8.83)$$

мұнда ξ_l – маңдайлық кедергі коэффициенті; d – бөлшек диаметрі, м.
Ауа ағынының көтергіш күші мына өрнектен анықталады

$$F_n = k_n \frac{\pi d^2}{4} \frac{v^2 \rho}{2g}, \quad (8.84)$$

мұнда k_n – көтергіш күштің коэффициенті.

Ауырлық күші мына формула бойынша анықталады

$$F_T = \frac{\pi d^3}{6} \rho. \quad (8.85)$$

Жабысу күшін (адгезия күші) мына өрнектен табады

$$F_{np} = \frac{\pi d}{2} \sigma, \quad (8.86)$$

мұнда σ – материалдардың физика-химиялық қасиеттеріне, шаң бөлшектерінің беттеріне, ылғалдылыққа, байланысу жағдайына байланысты кедергі беті бірлігінің еркін энергиясы.

Шаң бөлшектерінің барлық әрекет ететін күштерінің қосындысын нольге теңестірген кезде тепе-теңдік күйінде болады, яғни

$$F_l + F_n = F_T + F_{np}. \quad (8.87)$$

(8.87) өрнектен (8.83) – (8.86) формулалар есебінен ауа ағынының сындарлы жылдамдығын анықтау үшін тәуелділікті табамыз, сол кезде шаңның шөккен бөлшектері тұрақсыз тепе-теңдік күйінде болады

$$v = k' \sqrt{\frac{4g \left(\sigma + \frac{1}{3} \rho d^2 \right)}{\rho d (k_{np} + \xi_l)}}, \quad (8.88)$$

мұнда k'' – әрекет ететін күштерді қосу эксцентрлігін ескеретін пропорционалдың жалпы коэффициенті.

(8.65) формуласын ауа қозғалысының сындарлы жылдамдығы үшін пайдалану σ шамасын анықтау қиыншылығымен байланысты, ол аналитикалық түрде есептелмейді. Ол тек жуықтап берілуі мүмкін. Сондықтан кей жағдайда сындарлы жылдамдықты анықтау үшін экспериментті әдістер пайдаланылады.

Құрғақ көмір шаңы үшін үрлеу жылдамдығы 2-ден 4,5-ке дейін м/с шегінде өзгертінді, ал сәйкес 1,5-ден 3,5-ға дейін м/с өзгертінді белгіленген. Тұнған шаңды сермеп қалудың сындарлы жылдамдығы құрғақ шаңға қарағанда оның ылғалдылығы 1,5...2 есеге дейін ұлғая отырып өседі. Жабысу күшінің жоғарғы мәндеріне байланысты жоғары ұнтақталған шаң ірі шаңға қарағанда неғұрлым ірірек.

Шаң ағындарын модельдеу кезінде геометриялық және кинематикалық ұқсастық шартын сақтау модельдері мен натурасы үшін сақтау қажет. Стокс Stk және Фруд Fr критерийлерінің теңдігін сақтау, сондай-ақ салыстырмалы ылғалдықты және шаңдылық бастапқы мәндерінің теңдігін сақтау қажет.

Бақылау сұрақтары

1. Ауа ағынының газ тәріздес қоспасы деп нені санау керек ?
2. Қандай газ тәріздес қоспалар пассивті және активті деп бөлінеді? Олар бір-бірімен қалай ерекшеленеді ?
3. Қандай физикалық сипаттамалар өнеркәсіптік атмосферада газ тәріздес қоспаларды тасымалдау процестерін анықтайды ?
4. Газ бөлу қарқындылығы дегеніміз не ?
5. Газ ағыны дегеніміз не ?
6. Конвекциялық, молекулярлық және турбуленттік газ ағындары бір-бірімен қалай ерекшеленеді ?
7. Конвекциялық диффузия теңдеулерінің негізіне не жатады ?
8. Конвекциялық диффузия теңдеулерін жазыңыз.
9. Конвекциялық диффузия теңдеулерін шешу кезінде пайдаланылатын шекаралық шарттардың негізгі типтерін атаңыз.
10. Қандай көрсеткіш газ-ауа ағынында турбуленттіліктің өшуін сипаттайды ?
11. Газдың қабатталып жинақталуы дегеніміз не ?
12. Газдың қабатталып жинақталу себептерін көрсетіңіз.
13. Газдың қабатталып жинақталу қауіптілігі неде ?
14. Қандай жағдайда газдың қабатталып жинақталуы бұзылады ?
15. Қандай параметрлерден қазылған кеңістіктердің газ динамикасы байланысты болады ?
16. Лаваның газ динамикасының ерекшелігі неде ?
17. Тұйық қазбадағы кенжар маңындағы кеңістікте еркін ағыстың турбулентті диффузиясының коэффициенті нені анықтайды ?

18. Тұйық қазбадағы кенжар маңындағы аймақта газдың бастапқы концентрациясы қалай анықталады ?
19. $l_{кр} = 12,5 \frac{k_T B b}{S_g k_{ym}^2}$ түрдегі тәуелділік нені анықтайды ?
20. Камера тәріздес қазбаның турбулентті диффузиясының теңдеуін жазыңыз.
21. Мерзімді және тұрақты газ бөлу кезінде газ тасымалдаудың айырмашылығы неде ?
22. Камераны желдету үшін ауаның тұтынатын мөлшері қандай формула бойынша анықталады ?
23. Қандай көрсеткіш аэрозольдар ұнтақтығының дәрежесін анықтау үшін пайдаланылады ?
24. Шаң бөлшектері қандай жағдай кезінде тұрақты жылдамдығы бар қозғалмайтын ауада тұнатын болады ?
25. Шаң бөлшектері қандай жағдай кезінде үдемелі жылдамдықпен тұнатын болады ?
26. $D_T = 0.044 \nu Re^{0.75}$ түрдегі тәуелділік нені анықтайды?
27. Қандай тәуелділік стационарлық режим жағдайында шаң концентрациясын анықтау үшін пайдаланылады ?
28. $n = n_o \exp\left(-\frac{4}{9} \cdot \frac{\rho g x r^2}{\nu_x \mu D}\right)$ түрдегі тәуелділік нені анықтайды?
29. Шаң бөлу көздерінің қарқындылығы бойынша ауаның тұтынған мөлшері қалай анықталады ?
30. Қандай жағдай кезінде тұнған шаң бөлшектері өлшенді күйге ауысады ?