

Учитываем теперь, что отношение

$$\gamma = \frac{R_1^3}{R_2^2} \quad (4)$$

имеет четкий физический смысл пористости угля.

Тогда для плотности упругой энергии угля получим выражение, содержащее лишь хорошо определяемые в лабораторных и шахтных экспериментах параметры:

$$\varepsilon_{el}(P, P_m) = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left[ \frac{(P_m - \gamma P)^2}{K} + \frac{3\gamma}{4G} (P_m - P)^2 \right]. \quad (5)$$

Поскольку  $\varepsilon_{el}$  через давление, она является упругой составляющей плотности термодинамического потенциала Гиббса газоугольного материала. Добавляя к  $\varepsilon_e$  плотность потенциала Гиббса газа, находящегося в порах, находится плотность  $\varphi$  потенциала Гиббса рассматриваемого угольно-газового массива:

$$\varphi(P, P_m) = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left[ \frac{(P_m - \gamma P)^2}{K} + \frac{3\gamma}{4G} (P_m - P)^2 \right] + \gamma P \ln \frac{P}{P_T}. \quad (6)$$

Здесь  $P_T$  – величина размерности давления, зависящая от температуры и рода газа.

Поскольку  $\varphi = G^0/V$  и считая давление функцией пространственной координаты –  $P(x)$ , мы имеем уравнения (2) и (6), полностью определяющие равновесное давление в угольных пластах.

Из приведенных выше результатов наших исследований и других авторов вытекает следующая картина выхода метана из угольного пласта: на первой стадии инициируется распад углеметана на твердую и газообразную фазы; на второй стадии полученный при распаде газ, а также газ, адсорбированный в поровом пространстве угля диффундирует по системе трещин и открытых пор в скважинное пространство; на третьей стадии газ выходит на поверхность.

На первой стадии описание процесса распада твердого раствора углеметана осуществляется на основе нашей модели:

$$c = \frac{kT}{C_1} \cdot \frac{A}{G^0} \cdot c_0^2. \quad (7)$$

Здесь основную роль играет работа  $A$  внешних сил, определяющая в конечном счете саму возможность деструкции углеводорода и ее интенсивность.

На второй стадии процесс газопереноса сквозь угольный пласт к скважине описывается различными диффузионно-фильтрационными моделями, в которых делаются те или иные приближения.

Массоперенос метана по системе открытых каналов происходит путем фильтрации. Движущей силой процесса выступает градиент давления газа. Поскольку фильтрация – это безынерционный процесс, то для его описания применяется известное уравнение Дарси, которое в одномерном случае записывается так:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{k}{\mu} \cdot \rho \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \right]. \quad (8)$$

Здесь  $k$  – коэффициент проницаемости;  $\mu$  – динамическая вязкость метана.

В случае вытеснения газа воздушным потоком в отточную скважину, описание процесса усложняется и уравнения фильтрации выглядят так:

$$\begin{aligned} n \frac{\partial c}{\partial t} &= \operatorname{div} \left[ \frac{kT}{\mu n} c \operatorname{grad}(cR) \right] - W_m - W_o; \\ n \frac{\partial c_m}{\partial t} &= \operatorname{div} \left[ \frac{kT}{\mu n} c_m \operatorname{grad}(cR) \right] - W_m; \\ n \frac{\partial c_o}{\partial t} &= \operatorname{div} \left[ \frac{kT}{\mu n} c_o \operatorname{grad}(cR) \right] - W_o. \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь  $W$  – скорость притока газа из пористых блоков в фильтрационный объем; индексы  $m$  и  $o$  относятся к метану и кислороду, соответственно.

На третьей стадии описание процесса выхода метана из угольного пласта на поверхность через скважину обычно описывается классической газодинамикой.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айруни А.Т., Презент Г.М., Баймухаметов С.К. и др. Проблемы разработки метаноносных угольных пластов, промышленного извлечения и использования шахтного метана в Карагандинском угольном бассейне. М.: Изд-во Академии горных наук РФ, 2002. 318 с.
2. Алексеев А.Д., Фельдман Э.П. Равновесное распределение газов в угольных пластах // Письма в ЖТФ. 2008. Том. 34. Вып. 14. С. 48-53.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1965. 203 с.

ЭОЖ 622.271=512.122

ҚАПАСОВА А.З.

**Ашық кеніш қиябеттерінің орнықтылығын есептеудің негіздері**

Қазіргі кезде жүзден астам қиябеттердің орнықтылығын есептейтін әдістер мен тәсілдер бар. Кезкелген сырғу бетті есептеу әдісі теориялық жағынан негізделген және ұсынылатын әдістің нақты практикалық жағдайда қолдану мүмкіндігі болуы керек.

Сырғу беті түзу мен шеңбер бөлігі тіркескен беттен тұратын әдіс практикада көп қолдау тапқан (1-сурет). Әдіс сусымалы ортадағы шекті тепе-теңдік теориясына негізделген [1]. Шекті тепе-теңдікті Кулон келесі кейіптеуішпен анықтаған

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho + c$$

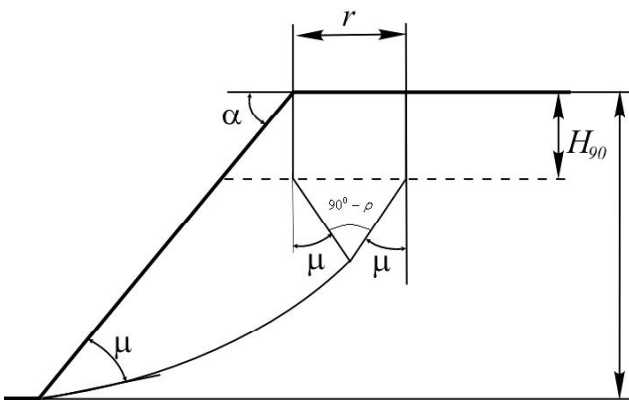
мұнда  $\sigma$ ,  $\tau$  – таптауыр және жанама кернеулер, МПа;  
 $C$  – жыныстардың ұстастығы, МПа;  
 $\rho$  – таужыныстарының ішкі үйкеліс бұрышы, град.

Тік бағытты түзетін шекті биіктік  $H_{90}$ , жылжудың деңгей беті үшін, ішкі үйкеліс бұрышы мен таужыныстардың ұстастық еселігі арқылы анықталып, бұзылу призмасының ені келесі кейіптеуішпен анықталған [2]:

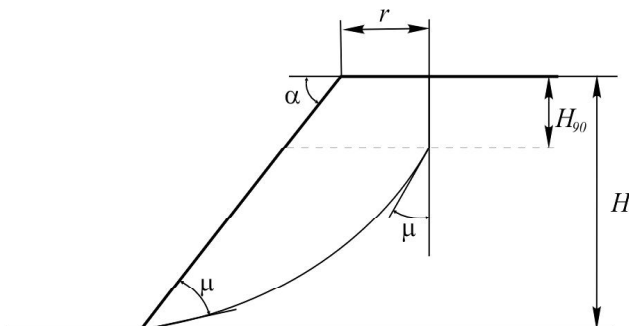
$$r = \frac{2H \left[ 1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha + \rho}{2} \right) \right] - 2H_{90}}{\operatorname{ctg} \mu + \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha + \rho}{2} \right)},$$

мұнда  $H$  – қиябет биіктігі, м;  
 $\alpha$  – қиябет бұрышы, град.

Практикада сырғу бетін «сынасыз» қарапайым салу көп тараған (2-сурет).



1-сурет – Біртекті ортада түзу мен шеңбер бөлігі тіркескен сырғу бетінің тәсімі



2-сурет – Біртекті ортада сырғу бетін қарапайым құру

$H$  – шекті қиябет биіктігін (немесе  $\alpha$  – қиябет бұрышын) және  $r$  – бұзылу призмасының енін график

бойынша анықтауға болады [2].

Ол үшін  $n_y$  – орнықтылық еселігі арқылы таужыныстарының беріктілік ерекшеліктерін анықтайды: ұстастығын, ішкі үйкеліс бұрышын және қиябеттің шартты биіктігін  $H'$  және  $r'$  – графикке байланысты анықталады.

Ақиқат қиябеттің биіктігі

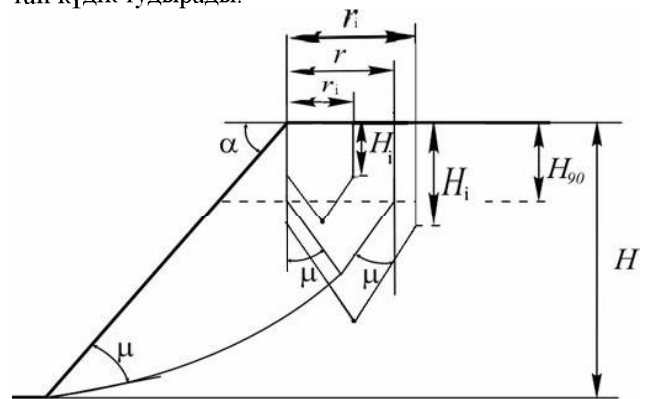
$$H = H' \cdot \frac{k_p}{\gamma}$$

Ақиқат бұзылу призмасының ені

$$r = r' \cdot \frac{k_p}{\gamma}$$

Қазу нәтижесінде жасалынған қиялардың беттеріндегі өзгерістер өндіріс жағдайына әсерін тигізбес үшін, қияның тереңдігіне байланысты еселігін есептеп, әрбір тереңдігін бағалап отыру керек. Салынған сырғу беттер  $H$  мәніне жеткендегі сырғу сызығы болып табылғандықтан, аталған әдісте тереңдіктің өзгеруіне байланысты орнықтылықты ескермеген.

Сілемдегі сырғу бет тек  $H_{90}$ -нан емес  $H_{жс}$ -дан басталатын болғандықтан [3] және  $r$  – бұзылу призмасының ені  $H_{90}$  биіктігіне – тура пропорционал (3-сурет), тәсімге байланысты кейіптеуішпен анықталатындықтан күдік тудырады.



3-сурет – Бұзылу призманың еніне  $H_{90}$  – әсері

Барлық авторлардың жұмыстарын қамтитын қиябеттердің орнықтылығын есептеу әдістерінің жіктемесін ұсынған Певзнер М.Е. бұзылу призмасының енін есептегенде, төмендетілген қате мәнді беретінін және бұл әдістің сырғу беті толық немесе ішінара жарықшақтар кезінде байланыс қабаттары бойынша өткен жағдайларда, яғни анизотропты ортада қолдануға болмайтынын атап көрсеткен [4]. Осы әдіспен сырғу бетін салғандағы бұзылу призмасын анықтаудағы кететін қателікті жою үшін, А.М. Мочалов қиябеттің орнықтылығын аналитикалық есептеуді ұсынды [2]. Ол үшін көпбұрышты күштер әдісімен қиябеттің шекті биіктігі анықталды.

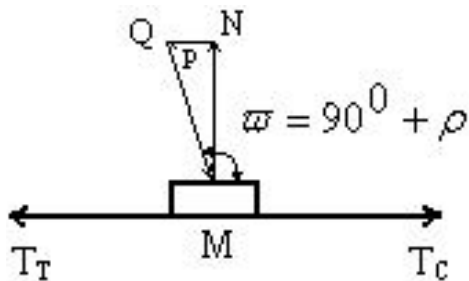
Статикалық сынақ кезінде таужыныстардың үлгілерінің бүйір беттерінде қысу бағытымен  $\mu = 45^\circ - \rho/2$  бұрышын жасайтын және үлгінің жоғарғы және төменгі қысым қойылған беттерінің шетінен басталып, ортасында өзара қиылысатын екі сырғу беттері болатыны белгілі [3]. Көптеген әдістермен сырғу беттерін есептегенде осы бұрышты қолда-

нып есептеудің әдістері қалыптасқан. Осы әдістерге байланысты жер бетінің сырғуы шөгу аймағы алаңында  $45^\circ + \frac{\rho}{2}$  және ығыстыру аймағы ауданында

$45^\circ - \frac{\rho}{2}$  болатыны аталып өткен [1]. Кейінгі көптеп жүргізілген эксперименттердің нәтижелерінде бұл заңдылықты толығымен дәлелдегенімен [5,6], оның жүру тәсілінің физикасы тау-кен жұмыстарына арналған еңбектерде жеткілікті талданбай келеді. Кен орындарында жүріп жатқан бұзылыстардың ерекшеліктерін ұғыну мақсатында, кенді қазу жұмыстарының тиімділігі мен қауіпсіздігіне кепілі болатын осы аса маңызды мәселені денелердің өзара үйкелісінің заңдылығымен негіздеуге болады.

Денелердің өзара үйкелісінің заңдылығында бір дененің үстінде жатқан екінші денеге түсетін  $P$  салмақтан олардың арасындағы бетте, егер ол деңгейлі болса, таптауыр  $N$  мен жанама  $T$  күштері пайда болатыны белгілі.

$T_c$  күші денелердің беттеріндегі тежеуші  $T_m$  күшпен теңескенде, олар бірінің бетімен бірі сырғу алдындағы шектік тепе-теңдік жағдайда болады. Енді  $P$  мен  $N$  күштерінің арасындағы сәл ұлғайған бұрыш үстіңгі дененің астыңғы дененің бетімен жылжытып жібереді (4-сурет). Осы физикадан белгілі [7] заңдылықтың геометриялық мәнін қарастырсақ, денелердің қозғалу беттері мен оларға қойылатын  $P$  күшінің бағытының арасындағы бұрыштың мәні  $\varpi = 90^\circ + \rho$  екенін байқаймыз.



4-сурет – Екі дененің арасындағы сырғу бет

Енді  $P$  күшін тікелей қойылған демей, басқа  $Q$  күшінің туындысы ретінде қарастырайық.  $Q$  күші тұрақты түсіп тұратын салмақ болсын. Осы салмақтан үстіңгі дененің тұтастығы бұзыла алады деп қабылдаймыз. Сонда  $Q$  күштің ықпалымен бұзылған үстіңгі дене астыңғының бетімен жылжуы керек. Ол үшін жоғарыдағы  $\omega$  бұрышының болуы қажет. Ал үстіңгі денеде алғашқыдай  $P$  күшінің бағытына сәйкес күш болуы керек және оның сырғуының табиғаты тағыда  $T$  күшіне ұқсас. Сонда үстіңгіде де, астыңғыда да бірі біріне тең екі жанама күштер пайда болғанда үстіңгі дененің бөлінген бөлігі астыңғы дененің бетімен сырғи алады екен. Сонда үстіңгі дененің сырғу бетінде бұрынғы  $P$  күштің орынына астыңғы дененің бетіндегі сырғуды тежеуші  $T_m$  күшке тең, бірақ оны сырғуға ұмтылатын,  $T_c$  күші пайда болды.  $T_m = T_c$  күштердің екеуі де сырғу беттерге жанама күштер және екеуінің араларындағы бұрыш

$$\varpi = 90^\circ + \rho.$$

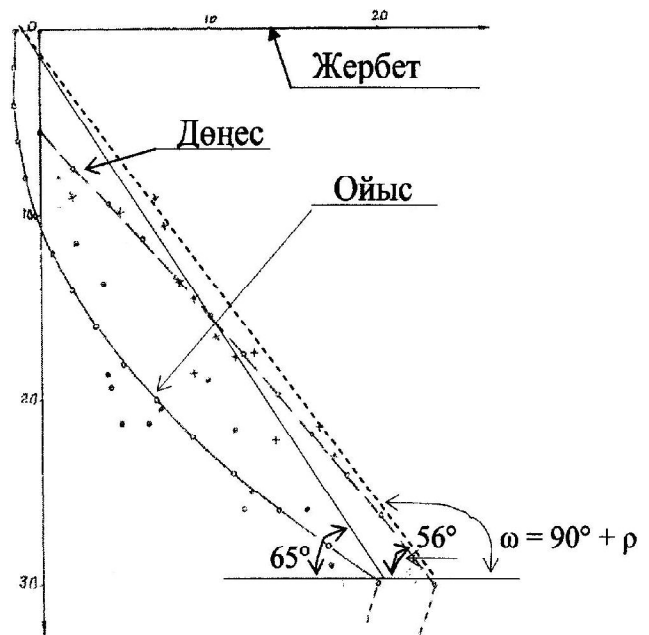
Сырғу беттерінің қандай-да бір есептеу әдісін әмбебап қолдану үшін, көптеген талаптар қойылады. Соның бірі есептеу әдісі сілемдегі ақиқат қасиеттерді мейлінше толықтай көрсететін, нақты жағдайлардағы берілістермен негізделуі керек.

Кен орындарында жүріп жатқан бұзылыстардың ерекшеліктерін ұғыну мақсатында келесідей жұмыстар істелінеді.

Табиғи жағдаймен ұштасатын сырғу бетін есептеп шығару үшін, ашық кеніш қиябеті кескінінің түсірілмеуі орындалады және математикалық статистикамен есептеп, қияның кескіндерінің өзгеруі (5-сурет) алынады.

Кенді ашып алғанда, табиғи жағдайда қалыптасқан тепе-теңдік әртүрлі дәрежеде бұзылады. Қазу нәтижесінде жасалынған қиялардың беттеріндегі өзгерістер өндіріс жағдайында ескерусіз болып жүруі мүмкін. Ол үшін, қияны құрап тұрған таужыныстардың кернеулілік күйі мен физика-механикалық қасиеттерінің көрсеткішіне оның геометриялық өлшемдері сай табылған болуы керек.

Ашық кеніш қияларындағы кернеулердің шамасы қияның сырт жағындағы жерсілемдердің ашық кенішке қарай табиғи сырғу беттерімен ығыса алатын көлемдеріне және олардың сырғу шамасына байланысты болады. Сондықтан, алдымен қиялардың қай аумағында қандай сырғу беттері болады және сол беттерде сырғу жүреді ме, егер жүрсе оның әсер ететін аумағының шегі қандай болады деген сауал туындайды.



5-сурет – Статистикалық есептеуден кейін алынған қиябеттің кескіні

Қойылған сауалға жауап беру үшін, қияның өзін өз алдына жеке қарастыру керек. 6-суреттегі жер бетіндегі  $B$  нүктесінен тік түсетін  $BO$  сызығы жүргізіледі. Қияның астындағы  $BOH$  үшбұрышы және  $BO$  артындағы жер сілемді тіреп тұрған дене.

Егер әлсіз беттер болса, онда алдымен қияның

бетіндегі қалыңдығы  $H_{жс}$  болатын қабатының жылжуы мүмкін. Қияның төменгі бетін үшбұрышты дене  $CHC_{ж}$  тіреп тұрады.  $AC$  бетімен

$$\varpi = 90^\circ + \rho$$

бұрышымен қиып кетуі мүмкін.

Қияның тағы бір қабаты  $H_{жс}$  тереңдігіне байланысты.  $BO$  сызығының бойындағы  $O_1$  нүктесінен жер бетіне дейін, 2-топтағы сырғу беттерінің қисығын жербетке дейінгі деңгейге дейін салуға болады. Бұл жерде де  $\varpi = 90^\circ + \rho$  бұрышымен қияның төменгі бетін қиып кетуі мүмкін.

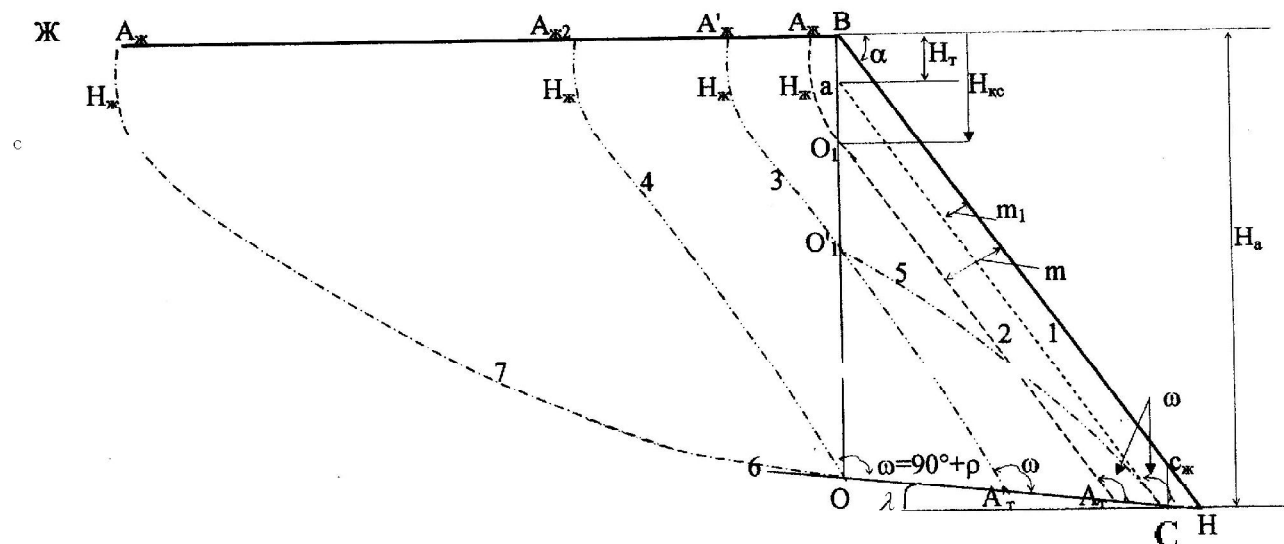
Егер сырғу беттердің 2-тобының қисығын  $A'_ж H_{ж} O'_1$  бөлігі түрінде салсақ, онда қияның астындағы жерсілемде сырғу беттердің екі түрі болуы мүмкін. Осының бір түрі  $\varpi = 90^\circ + \rho$  бұрышымен қиябеттен ауытқып сырғу бетпен жылжып кете алады.

Қияның астындағы таужыныстар  $O'_1 C$  қисық сызығының бойымен де сырғып кетуі мүмкін.

$A'_ж B$  кесіндісі  $E_{нi}$  – опырылатын ені десек,  $A'_ж$  нүктесінен  $B$  нүктесіне қарайғы кез-келген кесіндіні  $E_{нi}$  – деп белгілесек, ал қияның табан жағындағы  $C$  нүктесінен  $O$  нүктесіне дейінгі көлбеу қашықтық  $K_T$  болады, ал кез-келген  $i$  нүктесіне дейінгі қашықтық  $K_{Ti}$ . Салмақтың өсу бағытына байланысты жердің бетіндегі өлшенетін шамалар  $A'_ж$  нүктесінен  $B$  нүктесіне төмен қарай анықталады және қияның табан бөлігінде өлшеулер  $C$  нүктесінен  $O$  нүктесіне қарай жоғары жүргізіледі.

Сырғудың жүретіні немесе орнықтылығы сақталатындығы ОН бетіндегі тежеуші жанама кернеудің шамасына байланысты анықталады.

Сырғу бетін нәтижелі пайдаланғанда ол кен орындағы тәсілдердің физикасымен ұштасады.



6-сурет – Ашық кеніш қиябеттеріндегі сырғу беттер

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.
2. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИМИ, 1972. 165 с.
3. Сәбденбекұлы Ө. Таужыныстардың сілеміндегі құрылыстар түзетін механика. Қарағанды, 2006. 235 б.
4. Певзнер М.Е. Деформации горных пород на карьерах. М.: Недра, 1992. 235 с.
5. Свойства горных пород и методы их определения / Под ред. М.М. Протодьяконова. М.: Недра, 1969. 392 с.
6. Машанов А.Ж. Механика массива горных пород. А-Ата: АН Каз. ССР, 1961. 210 с.
7. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1965. 848 с.

ӘОЖ 622.271=512.122

ҚУАНЫШБЕКОВА А.А.,  
НИЗАМЕТДИНОВ Ф.К.

### Ашық кеніш қиябеттерінің төзімділігін бағалау және параметрлерін есептеу әдістері

Ашық кеніш қиябеттерінің төзімділігін шешу мәселесі тікелей бастапқы мәліметтерге байланысты. Қазіргі кездегі барлық есептеу әдістері нәтижелі мәліметтер бойынша қорытындыға жақын болып табылады, бірақ оның айырмашылығы біріншісінде бірдей мәліметтер алынады, ал екіншісінде кешенді

есептер шешіледі, есептерді шешу кезінде бірқатар параметрлер қолданылады. Мұндай әдістерге сандық-аналитикалық әдістер жатады, онда тікелей ЭЕМ қолданылады.

Ашық кеніштерде тау жыныстарының өзгерістері мен жылжуының болжамы бойынша есептерді шешу