

UDC 622.27.621.52

DOI 10.52171/herald.295

Storage of Gas in Aquifers in Porous Media and Creation of Underground Gas Storage (UGS)

O.A. Aliyeva¹, A.S. Aliyev²

¹*Azerbaijan State Oil and Industry University (Baku, Azerbaijan)*

²*Research institute "Geotechnological Problems of oil, gas and Chemistry" (Baku, Azerbaijan)*

For correspondence:

Ofeliya Aliyeva /e-mail: aliyeve.afeliya@inbox.ru

Abstract

The article shows planned solutions for creating underground gas reservoirs in a porous medium. Formulas for the volumes of produced and injected gas were obtained for each solution. As pressure values change, the volume of stored gas will also change. In this case, the pressure in the underground gas reservoir will vary from maximum to minimum depending on the operating conditions of surface equipment and the minimum permissible flow rate of the gas well. There are two types of underground gas storage in porous media: one is exhausted gas, and the other is gas storage in oil fields and aquifers. The article defines the difference between residual, active, buffer and maximum gas volumes in the design and operation of underground gas reservoirs. During the creation and operation of reservoirs underground gas is also determined by the difference between the maximum, minimum and average permissible pressure. At the same time, technological calculation of the gas tank consists of finding connections between the main indicators that correspond to the optimal, that is, the minimum reduced costs. All layers created in aquifers, as well as layers created on the basis of depleted oil and gas fields, characterized by water-pressure and elastic-pressure regimes, were also calculated taking into account the movement of formation waters.

Keywords: underground gas storage facilities (UGS), waste gas, buffer gas, gas volume, minimum and maximum pressure, compressor station (CS), reservoir pressure, porous medium.

Submitted 27 March 2024

Published 22 September 2025

For citation:

O.A. Aliyeva, A.S. Aliyev

[Storage of Gas in Aquifers in Porous Media and Creation of Underground Gas Storage (UGS)]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025, vol. 17 (3), pp. 62-68

Məsaməli mühitdə sulu təbəqələrdə qazın saxlanması və yeraltı qaz anbarının yaradılması

O.Ə. Əliyeva¹, Ə.S. Əliyev²

¹*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Bakı, Azərbaycan)*

²*Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya ETİ (Bakı, Azərbaycan)*

Xülasə

Məqalədə məsaməli mühitdə yeraltı qaz anbarlarının yaradılmasının planlı şəkildə həlli yolları göstərilmişdir. Hər biri üçün çıxarılan və vurulan qazın həcmi düsturları çıxarılmışdır. Təzyiqlərin qiymətlərinin dəyişməsilə saxlanılan qazın həcm də dəyişəcəkdir. Eyni zamanda yeraltı qaz anbarında təzyiq yerüstü avadanlıqların iş şəraitindən və qaz quyusunun minimum icazə verilən debitindən asılı olaraq maksimumdan minimuma qədər dəyişir. Məqalədə yeraltı qaz anbarlarının layihələndirilməsi və istismarı zamanı qalıq, aktiv, bufer və maksimum qaz həcmələri arasındakı fərq müəyyənləşdirilir. Yeraltı qaz anbarlarının yaradılması və istismarı zamanı həm də icazə verilən maksimum, minimum və orta təzyiqlər arasında fərq təyin edilir. Eyni zamanda qaz anbarının texnoloji hesablanması optimal, yəni minimum azaldılmış xərclərə uyğun olan əsas göstəricilər arasındakı əlaqəni tapmaqdan ibarətdir. Həm də sulu laylarda yaradılan bütün anbarlar, eləcə də su-təzyiq və elastik-təzyiq rejimləri ilə səciyyələnən tükənmiş neft-qaz yataqları əsasında yaradılan anbarlar lay sularının hərəkəti nəzərə alınmaqla hesablanmışdır. Məsaməli mühitlərdə yaradılmış yeraltı qaz anbarları dövrü olaraq istismar olunan süni qaz yataqları hesab edilə bilər.

Açar sözlər: yeraltı qaz anbarları (YQA), tükənmiş qaz, aktiv qaz, bufer qazı, qaz həcmi, minimum və maksimum təzyiqlər, kompressor stansiyası (KS), lay təzyiqi, məsaməli mühit.

Хранение газа в водоносных горизонтах в пористых средах и создание подземных хранилищ газа (ПХГ)

О.А. Алиева¹, А.С. Алиев²

¹*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (Баку, Азербайджан)*

²*НИИ Геотехнологические проблемы нефти, газа и химии (Баку, Азербайджан)*

Аннотация

В статье показаны планируемые решения по созданию подземных резервуаров газа в пористой среде. Для каждого раствора получены формулы объемов добытого и закачиваемого газа. При изменении значений давления меняется и объем хранимого газа. При этом давление в подземном газовом пласте будет изменяться от максимального до минимального в зависимости от условий работы наземного оборудования и минимально допустимого дебита газовой скважины. В статье определено различие между остаточным, активным, буферным и максимальным объемами газа при проектировании и эксплуатации подземных газовых резервуаров. При создании и эксплуатации резервуаров подземный газ определяется также разницей между максимальным, минимальным и средним допустимым давлением. Все пласты, созданные в водоносных горизонтах, а также пласты, созданные на базе истощенных месторождений нефти и газа, характеризующиеся водонапорным и упруго-напорным режимами, были рассчитаны с учетом движения пластовых вод.

Ключевые слова: подземные хранилища газа (ПХГ), отходящие газы, буферный газ, объем газа, минимальное и максимальное давление, компрессорная станция (КС), пластовое давление, пористая среда.

Giriş

Məqalədə yeraltı qaz anbarlarının layihələndirilməsi və istismarı zamanı qalıq, aktiv, bufer və maksimum qaz həcmi arasında fərqi qoyulması məsələsinə baxılmışdır. Təhlil aşağıdakı kimi aparılır:

Qalıq - anbara vurulmağa başlamazdan əvvəl yataqda olan minimum qazın miqdarıdır.

Aktiv - hər il çıxarılan və vurulan qazın həcmi aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$Q_{\text{акт}} = \Omega \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{мин}}}{z_{\text{cp}} P_{\text{cm}}} \quad (1)$$

Burada Ω – məsamə sahəsinin həcmi; $P_{\text{мин}}$ və P_{max} - maksimum və minimum saxlama təzyiqi; $P_{\text{атм}}$ – atmosfer təzyiqi; z_{cp} - orta qazın supersıxılma əmsalidir.

Bufer - yeraltı qaz anbarından çıxarılmayan, lakin qazın səthə verilməsi üçün müəyyən minimum təzyiqin saxlanması, lay suyunun anbara daxil olmasının qarşısını almaq və s. üçün zəruri olan qazın həcmidir:

$$Q_{\text{буф}} = \Omega \frac{P_{\text{мин}}}{z_{\text{cp}} P_{\text{атм}}} \quad (2)$$

Limit anbarda yerləşdirilə bilən qazın maksimum miqdarıdır:

$$Q_{\text{пред}} = \Omega \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{атм}} z_{\text{cp}}} \quad (3)$$

Yeraltı qaz anbarlarının yaradılması və istismarı zamanı həm də icazə verilən maksimum, minimum və orta təzyiqlər arasında fərq qoyulur.

İşin məqsədi

Maksimum icazə verilən təzyiq, lay örtüyünün (damının) qorunub saxlanması şərti əsasında saxlama anbarında icazə verilə bilən ən yüksək təzyiqidir. Anbarın yaradıldığı layda təzyiq nə qədər yüksək olarsa, orada saxlanıla bilən qazın miqdarı bir o qədər çox

olar. Bununla belə, təzyiq həddindən artıq artarsa, rezervuarın damının sıxlığı pozula bilər və qazın yuxarıdakı təbəqələrə və ya səthə sızması üçün şərait yaradılacaqdır [1]. Bunun qarşısını almaq üçün layda icazə verilən maksimum təzyiqin üstə yerləşən süxurların təzyiqindən bir qədər az olduğu qəbul edilir (süxur təzyiqi):

$$P_{\text{max.дон}} \leq (0,6-0,7) P_{\text{сop}}. \quad (4)$$

Maksimum texniki-iqtisadi hesablamalar əsasında müəyyən edilmiş və qazın aktiv həcminə uyğun gələn təzyiqdir.

Minimum təzyiq texniki-iqtisadi hesablamalar əsasında müəyyən edilmiş və saxlanılan qazın bufer həcminə uyğun gələn təzyiqdir.

$$\frac{Q_{\text{буф}}}{Q_{\text{акт}}} = \frac{P_{\text{мин}}}{P_{\text{max}} - P_{\text{мин}}} \quad (5)$$

Anbarda orta təzyiq ifadədən müəyyən edilir:

$$P_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t_0 dt) \quad (6)$$

burada T- bir ilə bərabər və ya bir ildən çox olan vaxtdır; t_0 – başlanğıc şərtidir.

Beləliklə, yeraltı anbarda təzyiq yerüstü avadanlıqların iş şəraitindən və qaz quyusunun minimum icazə verilən debitindən asılı olaraq maksimumdan minimuma qədər dəyişəcəkdir.

Belə qaz anbarlarının yaradılması və istismarı zamanı əsas çətinliklərdən biri dəyişən sıxılma nisbəti olan kompressorların istismarı zamanı böyük çəvikliyin təmin edilməsi zərurətidir. Tipik olaraq, qaz mühərriki pistonlu kompressorlar istifadə olunur. Müəyyən sayda kompressorlardan istifadə etmək tövsiyə olunur, onlar ardıcıl və ya paralel bağlana bilər [2].

Yeraltı qaz anbarının texnoloji layihəsi elə olmalıdır ki, anbara qazın vurulması və çıxarılması təmin edilsin. Bu zaman vurulan və çəkilən qazın tərkibinə, təzyiqinə və

temperaturuna dair zəruri tələblər yerinə yetirilməlidir.

İşin yerinə yetirilməsi

Yeraltı qaz anbarlarından birinin blok diaqramı Şəkilə göstərilmişdir. Qaz yatağının anbara çevrilməsi layihəsinin yaradılması üçün tələb olunan ilkin məlumatları iki qrupa bölmək olar. Birincisi, anbarın yaradıldığı obyektin xüsusiyyətləri (oroqrafiya, iqlim, geologiya) haqqında məlumatdır. İkincisi, yatağın işlənməsi zamanı istifadə olunan texnologiya və avadanlıqlar, eləcə də iqtisadi göstəricilər haqqında məlumatlardır [3].

Texnoloji məlumatlar dedikdə sözügedən yatağın işlənməsi, ilkin qaz ehtiyatları, qazın çıxarılması rejimi, təzyiq dinamikası, lay suyunun hərəkəti, quyuların suvarılması, yəni yatağın işlənməsinin təhlili və davranışın proqnozlaşdırılması üçün əsas olan göstəricilər aid edilir. Bu vəziyyətdə, depozit rejimini və onun üstündəki şın sıxlığının dərəcəsini qiymətləndirməyə imkan verən materiallara xüsusi diqqət yetirmək lazımdır [4].

Texniki məlumata yataqların işlənməsi sxemi, avadanlığın vəziyyəti, avadanlıq və qurğuların xüsusiyyətləri haqqında məlumatlar daxildir. Baxılan ərazidə qazılan quyuların bütün ehtiyatının yeri, dizaynı və xüsusilə texniki vəziyyəti haqqında materiallar ən böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Əgər tükənmiş neft və ya neft-qaz yatağı əsasında anbarın yaradılması nəzərdə tutulursa, o zaman neftin tərkibi, qalıq qaz, neft və su ilə doyma, qaz faktorları və digər miqdarlar haqqında məlumat almaq lazımdır. Anbarın yaradılması və istismarı zamanı yaranacaq qalıq neft və qazın qarşılıqlı təsirini filtrasiya proseslərini və mayenin faza davranışını qiymətləndirmək nöqtəyi-nəzərindən nəzərdən keçirmək olar [5].

İqtisadi məlumatlara baxılan rayonun qaz istehlakı rejimi, qazın dəyəri və onun qiyməti, arxa yanacağın dəyəri, bufer istehlakçılarının olması, istifadə olunan yanacağın növləri, qazma və quyuların tikintisi xərcləri və s. kapital qoyuluşlarının və məsrəflərin qaz anbarının müəyyən edildiyi göstəricilər, həmçinin qaza tələbatın mövsümi tərəddüdlərinin ödənilməsinin müxtəlif üsullarının müqayisəsinə əsaslanır.

Əgər böyük qaz istehlakçısının yaxınlığında asanlıqla anbara çevrilə bilən tükənmiş neft və qaz yataqları yoxdursa, qazın saxlanması üçün sulu qatlardan istifadə olunur. Bu halda layın kifayət qədər keçiriciliyi, məsaməliliyi, qalınlığı və elastiklik qabiliyyəti olmalıdır; qazın üst çöküntülərə nüfuz etməsinə mane olan sıx süxurlarla örtülməlidir. Layda tələnin də olması lazımdır (geoloji şəraitdə su ilə dəstəklənən qaz qabarcığının layda qeyri-məhdud müddət ərzində sabit vəziyyətdə qala biləcəyi).

Saxlama üçün qaz yuxarı qaldırılma tagında yerləşən quyular vasitəsilə təsvir olunan xüsusiyyətlərə malik olan sulu təbəqəyə vurulur. Bu halda təzyiq rezervuar təzyiqindən artıq olmalıdır. Qaz kollektorun məsamələrinə nüfuz edir və suyu oradan çıxarır, su ilə dəstəklənir, tələnin yuxarı hissəsini tutur. Quyuda təzyiq azaldıqda qaz səthə axır [6].

Anbar bir neçə ildir qazla doldurulur, buna görə də dövrü iş rejiminə keçməzdən əvvəl onun istismarına başlamaq, hər mövsümdə çəkiləndən bir qədər böyük həcmdə qaz vurmaq məsləhət görülür.

Qaz anbarının texnoloji hesablanması optimal, yəni minimum azaldılmış xərclərə uyğun olan əsas göstəricilər arasındakı əlaqəni tapmaqdan ibarətdir.

Bu göstəricilər aşağıdakılardır: sistemin əsas komponentlərində lay - quyu - hidravlik

sındırma stansiyası (HSS) - qaz kəməri və anbarın istismarı zamanı onun dəyişməsi; quyular üzrə qaz sərfi və anbarın istismarı zamanı onun dəyişməsi-qazın aktiv və bufer həcmələri; KS-nin gücü; -hazır kommunikasiyaların diametri və uzunluğu, yerüstü avadanlığın (kompessorlar, separatorlar, qaz qurutma qurğuları və s.) sxemi və əsas parametrləri; hasilat, müşahidə və müşahidə quyularının dibinin layihələndirilməsi, avadanlığı və s. [7].

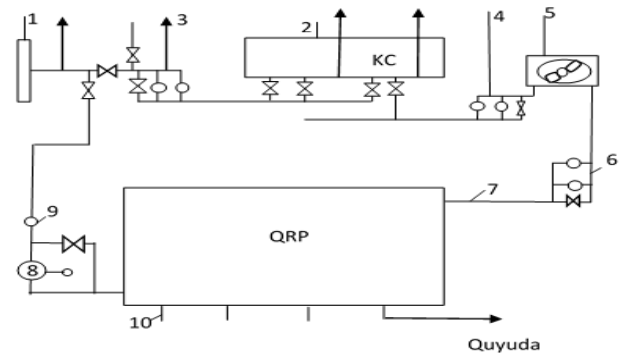
Bu göstəricilər aşağıdakılardır: sistemin əsas komponentlərində lay - quyu - hidravlik sındırma stansiyası (HSS) - qaz kəməri və anbarın istismarı zamanı onun dəyişməsi; quyular üzrə qaz sərfi və anbarın istismarı zamanı onun dəyişməsi-qazın aktiv və bufer həcmələri; KS-nin gücü; hazır kommunikasiyaların diametri və uzunluğu, yerüstü avadanlığın (kompessorlar, separatorlar, qaz qurutma qurğuları və s.) sxemi və əsas parametrləri; hasilat, müşahidə və müşahidə quyularının dibinin layihələndirilməsi və avadanlığı [8].

Qaz anbarının təşkili sxemləri xüsusi şərtlərdən asılı olaraq çox müxtəlifdir. Ümumiyyətlə, ən çox yayılmış halda, qaz təchizatı boru kəməri, kompessor stansiyası, qaz paylama məntəqəsi, şleyflərin radial sistemi, hasilat quyuları və anbar daxildir.

Yeraltı qaz anbarının təşkili, eləcə də tükənmiş layların istifadə zamanı orada quraşdırılmış avadanlığın xüsusiyyətləri köhnə avadanlıqların vəziyyətindən və obyektin geoloji və istismar şəraitindən asılıdır [9].

Saxlamanın təşkili diaqramına (şəkil) əsasən, magistral qaz kəməmindən 1 qaz təchizatı manifoldu vasitəsilə kompessor stansiyasına 2 daxil olur, əvvəllər skrubberlərdə 3 təmizlənir. Qaz kəmərinde təzyiq kifayət qədər yüksəkdirsə, kompessor

qaz vurularkən stansiyadan istifadə edilə bilməz. Sıxılmış isti qaz separatorlarda 4 neftdən təmizlənir, soyuducu qüllədə 5 soyudulur və neft separatorlarından 6 keçir.



Şəkil – Saxlama qurğusunun iş rejiminin müəyyən edilməsi

Figure – Determining the mode of operation of the storage device

Qazın təmizlənməsinə çox diqqət yetirilməlidir. Qazda toz, şkala və neft hissəciklərinin olması dib zonasının tıxanmasına və quyunun inyeksiya qabiliyyətinin azalmasına səbəb olur. Bunu nəzərə alaraq, sxemə tez-tez yağ ayırıcılarından əlavə, yağın tam çıxarılması üçün karbon adsorberləri və kömür tozunu tutan keramika filtrləri daxildir [10].

Kollektor 7 vasitəsilə təmizlənmiş qaz hidravlik qırılma üçün qaz paylama məntəqəsinə verilir, burada quyular arasında paylanır və debitometrlərlə ölçülür. Hidravlik sındırma qurğusu kompessor stansiyasının (KS) ərazisində və ondan əhəmiyyətli məsafədə yerləşə bilər [11].

Anbarda qaz paylama sistemi adətən radial şəkildə həyata keçirilir. Kompessorlar dayandırıldıqda qazın geri axmasının qarşısını almaq üçün yoxlama klapanları quraşdırılır

Qaz anbardan götürüldükdə birinci mərhələ separatoruna göndərilir, burada damcı su və bərk hissəciklər ayrılır, daha sonra qaz kəməri sisteminin təzyiqində işləyən ikinci

mərhələ separatoruna daxil olur. Bundan sonra qaz bir debitometrdən, yoxlama klapanından keçir və manifolda 10 daxil olur, qurutma qurğusuna 8 aparır. Quruduqdan sonra qaz axını ümumi debitometr 9 ilə ölçülür, sonra qaz təchizatı qaz kəmərinə daxil olur.

Sistemin aşağı təzyiqli hissəsində təzyiqin qəbuledilməz artması halında manifold 10-da təhlükəsizlik klapan quraşdırılır.

Hidrat formalaşması ilə mübarizə aparmaq üçün qaz yataqlarının istismarı zamanı olduğu kimi eyni tədbirlər görülür.

Qaz anbardan kompressor stansiyasından istifadə edilərək götürülsə, təmizləndikdən və sıxıldıqdan sonra qurutma qurğusuna, sonra isə tədarük qaz kəmərinə verilir.

Sulu laylarda yaradılan bütün anbarları, eləcə də su-təzyiq və elastik-təzyiq rejimləri ilə səciyyələnən tükənmiş neft-qaz yataqları əsasında yaradılan anbarlar hətta su lay sularının hərəkəti nəzərə alınmaqla hesablanmalıdır [12].

Aktiv lay suları olan qaz anbarının dayanıqlı işləməsinin əsas şərti əlaqə ilə ifadə olunur:

$$p_{cp} - \frac{1}{T} \int_0^T p(t) d(t) = 0 \quad (7)$$

burada p_{cp} -laydakı təzyiqdir, qaz-su interfeysinə orta səviyyəsinə endirilir;

T bir ilə bərabərdir və ya bir ilin qatlarıdır.

(7) ifadəsinin mənası ondan ibarətdir ki, dövriyyələrin sayının qatı olan bir müddət ərzində saxlama anbarında vaxtla çəkilmiş orta təzyiq qaz-su interfeysinə endirilən laydakı ilkin təzyiqə bərabər olmalıdır.

Nəticə

Beləliklə, əgər anbarda orta təzyiq daha yüksəkdirsə, zaman keçdikcə qaz lay suyunu itələyərək və tələdən kənara çıxı bilər. Orta təzyiq daha az olarsa, su tədricən bütün anbarı dolduracaqdır.

Məsələli laylarda yaradılmış yeraltı qaz anbarlarını dövrü olaraq istismar olunan süni qaz yataqları hesab etmək olar.

Saxlama anbarının tsiklik işinin hesablanması əsas texnoloji göstəricilərin - anbarda minimum p_{min} və maksimum p_{max} təzyiqinin, aktiv Q_{akm} və bufer $Q_{byf.}$ və həcmələrinin, maksimum Ω_{max} və minimum Ω_{min} müəyyən edilməsindən ibarətdir.

Səth strukturları sistemində maksimum təzyiqlərin dəyərlərini də müəyyən etmək lazımdır. Eyni zamanda məsələli mühitlərdə yeraltı qaz anbarlarının yaradılması lay sularının hərəkəti nəzərə alınmaqla hesablanmalıdır.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Ismayilov F.S., Abbasov E.M., Gadirov Z.S.** Determination of well operation mode at the initial stage of gas injection process to Garadagh underground gas storage, *Azerbaijan Oil Economy*, 2018, №12, pp.14-17
2. **Aslanov V.D.** Geological bases of creation of underground gas storages and relations with the solution of gas supply problems, Baku, 2001, pp.43-49
3. **Aliyeva O.A., Aliyev A.S.** Modeling of cyclic geomechanical impact on the carbonate reservoir Collection of materials of the V International scientific and practical conferences, Achievements, problems and development prospects oil and gas industry, Volume 1, State Budget Educational Institution of Higher Education "Almetyevskiy State Oil institute" 2020, № 12, pp. 9-13
4. **Mustafayev S.D., Aliyeva O.A., Aliyev A.S.** Influence of the movement of heel water collected in the water trap on the working mode of underground gas storages, "Azerbaijan Oil Economy" 2019, №8, pp.19-21
5. Website of JSC "Gazprom" - URL: <http://www.gazprom.ru> (Date of Appeal 10.03.2020)
6. **Aliyeva O.A., Aliyev A.S.** Calculation of the Flow Rate of a Gas Dynamically Imperfect Production Well According to the Degree of Formation Penetration in Underground Gas Storages (UGS). *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*, Vol 15, №2, 2023, p.59-63,
7. **Akhundova N.R., Rzazade S.A., Aliyeva O.A., Bahshaliyeva S.O.** Compression of liquids from the perating wells to the surface applying the sequential approximation, today we finally received the third review for your article. The review is positive, so the article will be published *Nafta-gaz*. 10.18668/NG.2023.03.04,2023, no. 3, pp. 184-189, <https://www.inig.pl/en/nafta-gaz-en/abstracts>
8. **Salavatov T.S., Ismayilov. F.S., Bayramov B.A.** Technology of oil extraction by wells, Baku, 2012, pp.60-67
9. **Aliyeva O.A.** About the need to create underground gas storage facilities *hodja Akhmet yassawı*. International Congress on Scientific Research Mingachevir State University, Azerbaijan, February 24-25, Congress Program, 2023, №2, pp.262-266.
10. **Aliyeva O.A.** Inequality of gas consumption and methods of their regulation, 8th international icontech congress on innovative surveys in positive sciences viii international. icontech conference on innovative surveys in positive sciences proceedings book march 16-18, Azerbaijan Cooperation University, Baku, 2024, pp.280-283. ISBN: 978-625-8254, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9071-5154>
11. **Aliyeva O.A.** Inequality of gas consumption and methods of their regulation 8th International Icontech congeress on Innovative Surveys in Positive Sciences Azerbaijan Cooperation University, mart16-18, Congress program 2024, pp. 222-225.
12. **Aliyeva O.A., Aliyev A.S.** Qaz anbarlarında geoloji-fiziki şəraitlərin öyrənilməsi məqsədilə laboratoriya eksperimental və mədən tədqiqatlarının aparılması. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*. 2024, C.16, №1, s. 70-78.