

УДК 622.692.24

**ЗНАЧЕНИЕ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ И  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА**

*Хабибуллаев Саидазиз Шохсуварович*

*Доцент, ТГТУ, тех.н. PhD, тел: +998998071574,*

*Муродов Абдулазиз Илхом угли*

*Докторант, Каршинский инженерно-экономический институт,*

*тел: +998903578600*

*Маматова Нигора Наврўз қизи - магистр ТГТУ*

**Аннотация**

Тадқиқотнинг мақсади Газни ер ости сақлаш иншоотларини ташкил этиш ва уни ишлатишда қатлам босимини аҳамиятини аниқлаш. Газни ер остида сақлаш омборларини барпо этишда қатлам босимининг қийматига қараб барча технологик объектлар ва технологик жараёнлар лойиҳаланади. Қатлам босимининг ўзгариши орқали қудуқларнинг маҳсулдорлиги ўзгариб боради. Қатлам босимини аниқлаш ифодалари келтирилган. Шунингдек Хўжаобод Газни ер ости сақлаш иншоотларида сақлаш иншоотининг XIX горизонтини ишлатишдаги параметрларга боғлиқ равишда қатлам босимининг қийматлари келтирилган.

Цель исследования представлен значени пластового давления в организации и использовании газохранилищ под землей. При восстановлении газохранилищ под землей все технологические сооружения и технологические процессы проектируются в зависимости от величины пластового давления. За счет изменения пластового давления изменяется производительность скважин. Приведено выражение для определения давления слоя. Также приведены значения пластового давления в зависимости от параметров при использовании XIX горизонта хранилища в Худжаабадских газохранилищах.

The purpose of the article to present the importance of layer pressure in the organization and use of gas storage facilities under the ground. When restoring gas storage tanks under the ground, all technological facilities and technological processes are designed depending on the value of the layer pressure. Through the change in layer pressure, the productivity of wells varies. The expression for determining the pressure of a layer is given. Also, the values of layer pressure are given depending on the parameters in the use of the XIX horizon of the storage facility in Khujaabad gas storage facilities.

**Калит сўзлар:** газни ер остида сақлаш иншоотлари, геологик қирқим, кон-геологик назорати, гидродинамик тадқиқотлар, газодинамик тадқиқотлар, изобарлар картаси, эксплуатацион қудуқлар.

**Ключевые слова:** подземное хранилище газа, геологик разрез, горно-геологический контроль, гидродинамические исследования, газодинамические исследования, карта изобары, эксплуатационные скважины.

**Key words:** underground gas storage, geological profile, mining and geological control, hydrodynamic researches, gas dynamic researches, isobars map, production wells.

В настоящее время природный горючий газ является одним из важнейших видов топлива, необходимых для функционирования инфраструктуры страны. В современных условиях развитие народного хозяйства связано со значительным увеличением потребления газа. Природные горючие газы являются экономичным и универсальным топливом, способным заменить твердое и жидкое топливо в бытовых, городских и энергетических объектах, промышленности и на транспорте. Несмотря на развитие транспортной и газопотребляющей инфраструктуры и создание системы экспорта газа за границу по магистральным газопроводам, в процессе роста потребления в нашей стране возникла проблема «сезонного неравенства» в использовании газа.

Сезонное неравенство означает значительный рост потребления природного газа зимой, в то время как в отличие от жаркого сезона добыча в холодное время года, наоборот, несколько снижается. Для решения этой задачи разработана и используется технология строительства оптимальных хранилищ природного газа. В настоящее время строительство ПХГ дает наибольший результат. Таким образом, основным направлением любых исследований ПХГ является анализ способов их эффективного использования.

ПХГ входит в систему газоснабжения страны, предназначенная для нормирования неравномерности потребления газа, формирования долгосрочных и оперативных запасов газа. Процесс их строительства и эксплуатации может варьироваться в зависимости от развития газотранспортной системы, периода повышенного спроса на газ и других условий. В ПХГ осуществляются технологические процессы приема, хранения и добычи природного газа.

При выборе ПХГ учитываются геологические характеристики пласта, магистральная газопроводная сеть хранилища и географическое положение города, в который планируется подавать газ, а также производительность объектов, их технико-экономические расчеты. Пластовое давление играет важную роль в технологических процессах хранения природного газа в подземных хранилищах газа. Например, гидростатическое давление  $1 \text{ кг/см}^2$

эквивалентно давлению 6 метровой горной породы. Имея это в виду, сжиженный бутан следует хранить на глубине 40-60 м, а пропан - на глубине 80-100 м. Мировой опыт показывает, что в создании ПХГ оптимальная глубина залегания газа в пласте при формировании ПХГ составляет 300-400 м [1].

В большинстве случаев в районе крупного центра потребления газа, подходящего для формирования ПХГ, нет используемых или разрабатываемых газовых или нефтяных месторождений, но когда мы наблюдаем геологический сдвиг структуры этого района, можно определить наличие водоносного горизонта. Это, в свою очередь, указывает на возможность организации ПХГ в этих слоях [1].

Зарубежные ученые Лурье М.В., Дудникова Ю.К., Фык М.И., Хрипко Е.И., Лобанова А.Н, Русакова В.В. работали над организацией подземных хранилищ газа и их проблемами. В России создаются подземные хранилища газа, в основном в водоносных горизонтах и остатках соляных пород. В нашей Республике также проводились исследования водоносных горизонтов. Полностью изучено и технически обосновано строительство подземного хранилища газа в водоносном слое на территории Алимкента.

Требуется бурение нескольких рабочих скважин, необходимых для закачки и откачки газа в подземные хранилища, при закачке и откачке газа в ПХГ необходимо установление ряда установок для очистки от твердых и жидких смесей, устройств для осушки газа перед отправкой потребителям. По правилам в горизонтальной части пласта бурятся забойно-эксплуатационные скважины, а в его створках – контрольные [1].

Повышение давления во время закачки сокращает время, необходимое для формирования ПХГ, уменьшает количество проводящих скважин, увеличивает объем газа в хранилище и продуктивность скважин, увеличивает время работы без компрессора при отправке газа из хранилища к потребителям, а также сформирование ПХГ на отработанном нефтяном месторождении способствует увеличению коэффициента нефтеотдачи месторождения, снижению мощности компрессорной станции при добыче газа.

Превышение допустимого расчетного давления может привести к следующим последствиям:

- образованию новых трещин в крышке хранилища;
- подземной потери газа;
- пожарам и взрывам в результате скопления газа в зданиях и сооружениях;
- приводит к образованию в скважинах гидрокристаллов углеводородных газов [2].

Давление газа в ПХГ всегда меньше горного давления. Определяется в зависимости от забойного давления скважины. На практике пластовое давление

равно гидростатическому давлению,  $L$  [м] является произведением глубины скважины и удельного веса воды  $\gamma_c$  [кг·м/с<sup>2</sup>] [3]

$$p_{\text{пласта}} = \alpha \gamma_c L / 10^6 \text{ [МПа]} \quad (1)$$

Где  $p_{\text{пласта}}$  - давление пласта,  $\alpha$  – коэффициент дисбаланса, его значение колеблется от 0,8 до 1,2 [4].

Немаловажное значение имеет и норма повышения давления в ПХГ: чем меньше норма повышения давления в ПХГ, тем большее значение может иметь повышение давления.

Максимальное допустимое давление для ПХГ зависит от:

- глубины залегания и размеров площадки для хранения газа;
- объемной массы пластовых пород над зоной хранения газа;
- структурных и тектонических особенностей пластов, пластовых покровов и пластовых отложений на покровах;
- прочности, плотности и пластичности слоя покрытия [5].

Максимальное допустимое для хранилища давление, предотвращающее открытие вертикальных трещин в крышке ПХГ, может быть определено по формуле:

$$p_{\text{макс}} \leq \eta p_{\text{гп}}, \quad (2)$$

Где  $\eta$  – коэффициент для пластичных пород, который определяется по следующему уравнению

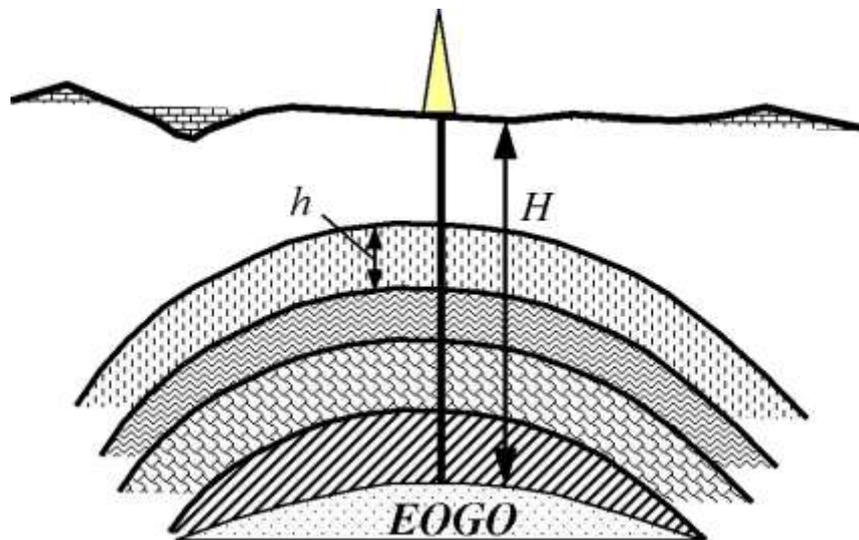
$$\eta = \frac{1,73 - \text{tg}\varphi}{1,73 + 2\text{tg}\varphi} \quad (3)$$

$\varphi$  – угол внутреннего трения слоистых пород, если  $\varphi > 60,4^\circ$ , то  $\text{tg}\varphi > 1,73$ , и приведенное выше уравнение теряет смысл;  $p_{\text{гп}}$  – давление горных пород, образующих верхнюю оболочку крышки хранилища, равное следующему

$$P_{\text{гп}} = \sum_{i=1}^n \rho_i g h_i = \rho_{\text{ср}} g H,$$

Где,  $\rho_i$  – средняя объемная плотность горных пород;  $h_i$  – толщина слоя горных пород;  $\rho_{\text{ср}}$  – средняя плотность пород, образующих срез,  $\rho_{\text{ср}} = 2,65 \text{ т/м}^3$ ;  $H$  – суммарная толщина горных пород в разрезе крышки хранилища,  $g$  – ускорение свободного падения  $9,8 \text{ м/с}^2$ , приведена на рис.1 [6-10].

При искусственном вскрытии водного слоя с помощью вязкой жидкости градиент давления изменяется от 0,137 до 0,174 кгс/см<sup>2</sup>·м. Образование ПХГ происходит при градиенте давления 0,154 кгс/см<sup>2</sup>·м, т. е. значение нормального гидростатического давления увеличивается до 1,54 раза. В некоторых случаях верхний предел давления - это величина горного давления на глубине, на которой расположен пласт. Если пласт имеет глинистый слой толщиной более 5 метров, максимально допустимое давление может быть в 1,3-1,5 раза больше гидростатического давления на глубине пласта [8].



**Рис.1.Подземное хранилище газа в разрезе.**

В результате превышения давления в пласте над начальным гидростатическим давлением в пластовой оболочке образуется разность давлений, которого в некоторых случаях является достаточным для преодоления давления, создаваемого капиллярными силами пористых каналов малого радиуса в предыдущем слое. В этом случае газ выдавливает воду из пористых каналов, и оболочка теряет свою плотность.

«Средний» радиус пористых каналов входит в один из самых редких горных пород. Поскольку величина капиллярного давления обратно пропорциональна «среднему» радиусу пористых каналов, величина капиллярного давления может иметь большой показатель [9].

ПХГ размещается в основном в районах вблизи трассы магистрального газопровода и потребительских центров. Хранилища газа в нашей стране расположены в непосредственной близости от магистральных газопроводов и потребителей. В частности, подземные хранилища газа «Северный Сох» и «Ходжаабад» расположены в наиболее густонаселенной части страны, а именно в Ферганской долине, а подземные хранилища газа «Газли» -вблизи магистральных трубопроводов «Средняя Азия-Центр» и «Узбекистан-Китай».

При эксплуатации подземных хранилищ газа одним из основных его параметров является пластовое давление. Во время эксплуатационного периода давление слоя изменяется. Например, в Ходжаабадском подземном хранилище газа пластовое давление при закачке составляло 250 атм, а при откачке газа 110-118 атм., в некоторых случаях разница давлений по годам на закачке и откачке газа колеблется в пределах 2-5 атм [10-13].

В таблице 1 представлены основные показатели по XIX горизонту Ходжаабадского подземного хранилища газа.

Таблица

1

**Объемы пространства, освободившегося от скважины по XIX горизонту (цикл добычи газа 2019-2020 гг.)**

Горизонт	Номера скважин	$\Delta$ давление пласта, кгк/см <sup>2</sup>	$\Delta$ объем полученного газа, 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	$\Delta Q$ , 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	$\Delta Z$	$\Delta P/Z$
XIX	825	146	4211	8414	0,87	155,75
	826	151	3662	6233	0,89	155,75
	854	138	2787	4693	0,90	143,75

Данные в таблице 1 показаны в графическом виде на рисунке 2.



**Рисунок 2. Объемы пространства, освободившегося от скважин по XIX горизонту на Ходжаабадском ПХГ**

В Ходжаабадском ПХГ до окончания времени закачки максимальное давление повышается с 21,7 до 25,0 МПа. Минимальные значения поверхностного давления скважины принимают на уровне 4,4 МПа и 3,0 МПа, что достаточно для обеспечения готовности газа к удалению жидкой фазы из состава газа.

В таблице 2 приведены прогнозные показатели хранилища в Ходжаабадском подземном хранилище газа [12, 13].

**Таблица 1**

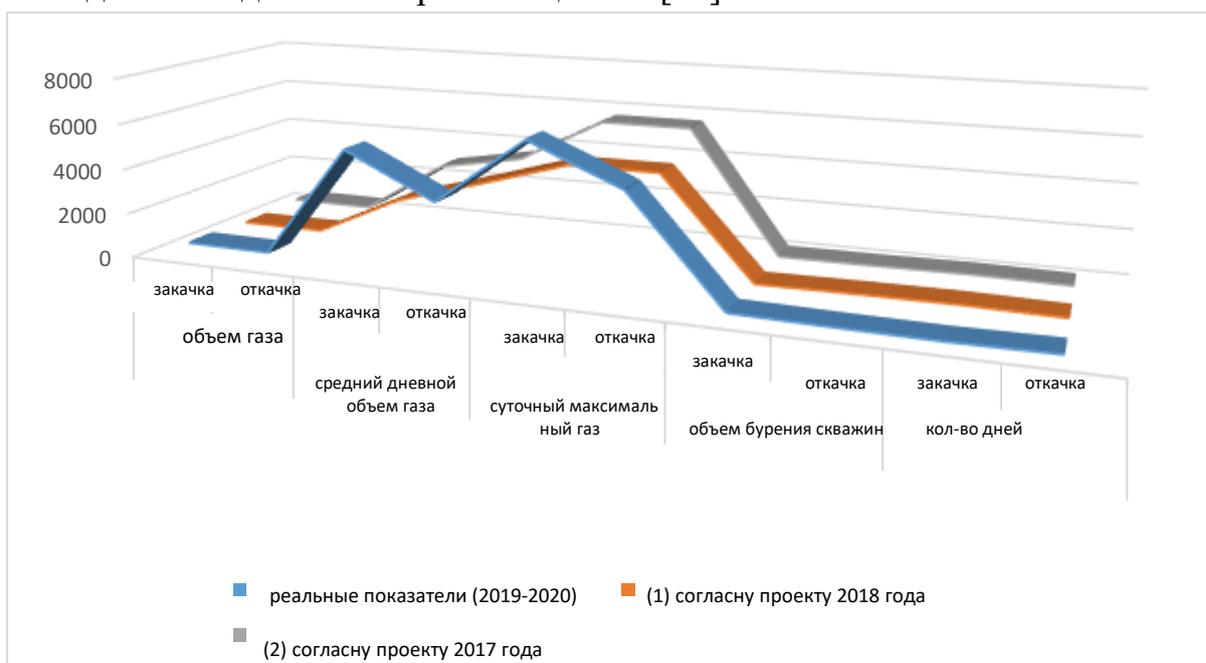
**Исходные данные для расчета прогнозных показателей Ходжаабадского подземного хранилища газа (XIX горизонт)**

№	Название параметров	Обозначение параметров	Единица измерения параметров	Значение параметров
1	Максимальный объем газа в хранилище на начало прогнозирования, включающий: остаточные запасы газа на газохранилищах -29,32·10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	$V_0$	10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	1098,54

2	Минимальное давление пласта в хранилище газа	Pn	МПа	6,8
3	Максимальное давление пласта в хранилище газа	Pk	МПа	21,7
4	Температура пласта в хранилище газа	Tr	°К	345
5	Температура над скважиной	Ty	°К	299
6	Критическое давление	Pkr	МПа	4,76
7	Критическая температура	Tkr	°К	203,42
8	Количество рабочих скважин	Nc	D	25
9	Продолжительность периода извлечения газа из пласта	Totb	D	162
10	Продолжительность цикла закачки	Tzak	D	184
11	Количество месяцев в сезоне откачки газа	Kmo	d	6
12	Количество месяцев в сезоне закачки газа	Kmz	d	6

В конце сезона откачки по горизонту XIX пластовое давление составляет 12,3 МПа, а минимальное давление в хранилище газа - 6,85-7,5 МПа.

На графике на рис. 3 показаны основные показатели работы Ходжаабадского подземного хранилища газа [13].



**Рисунок 3. Основные показатели производительности в подземных хранилищах газа.**

В таблице 3 представлены основные показатели работы Ходжаабадского подземного хранилища газа.

**Показатели эффективности в подземных хранилищах газа**

Рабочие параметры	Объем газа		Среднесуточный объем газа, 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>		Максимальный суточный объем газа, 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>		Объем бурения скважин, 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>		Количество дней, d	
	Закачка	Откачка	Закачка	Откачка	Закачка	Откачка	Закачка	Откачка	Закачка	Откачка
Реальные показатели (2019-2020)	529,3	506,3	5401	3516	6420	4728	208	141	98	144
(1) согласно проекту 2018 года	400,0	400,0	2222	3333	4500,0	4500,0	101	152	180	120
(2) согласно проекту 2017 года	520,0	500,0	2889	3571	5600,0	5600,0	103	128	180	140

**Заключение**

При эксплуатации ПХГ было установлено, что изменение пластового давления зависит от сезона закачки газа в хранилище и откачки газа из хранилища. Сезон закачки газа длится с марта по октябрь, давление газа повышается, минимальное давление падает до 110-125 атм в начале периода закачки, а максимальное давление повышается до 230-250 атм в конце. Падение давления в пласте зависит от объема добычи газа и определяется величиной продуктивности. Эмпирические выражения также используются для определения пластового давления в хранилище газа. Каждое выражение разрабатывается в соответствии с параметром хранилища газа. Анализируя изменение пластового давления, можно определить оптимальные объемы закачки и откачки газа по скважинам.

**Литература**

1. Ҳабибуллаев С.Ш., Бурунов М.Д. Газни сақлаш объектларини лойиҳалаштириш ва куриш. Ўқув қўлланма. Тошкент, 2020. – 46-50 б.
2. М.В. Лурье. Механика подземного хранения газа в водоносных пластах. Москва 2001 г.
3. Ю.К. Дудникова, Оперативное и стратегическое управления работой ПХГ / Газовая промышленность. - 2013.-№4.-С . 64-77
4. Фык М.И., Хрипко Е.И., Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. Учебник. Харьков, 2015. – 122-124 б.
5. А.Н Лобанова, Геолого-технологические условия повышения эффективности создания и эксплуатации подземных хранилищ газа.

Диссертация. Москва-2007

6. Ю.К. Дудникова, Активные методы регулирования создания и эксплуатации подземных хранилищ газа в водоносных пластах. Диссертация. Москва-2017

7. Фарманов Ш.Б. Газни ер остида сақлаш. Дарслик, Тошкент, 2015.– 57-64 б.

8. В.В.Русакова, Разработка научно-методологических основ формирования стратегии развития газовой отрасли. Диссертация. Москва 2010

9. Evans Bill and Gray K.F. Effect of bentonitic fluid properties on drilling rate. – J. Petrol. Technol., 1972, VI, Vol. 24.

10. Percins H.W. A Report on Oil Emulsion Drilling Fluids. SW. Dist., API Div. of Prod., Beaumont, Texas., March 1951.

11. Назаров У.С., Назаров А.У., Махмудов Ф.М. Подземные хранилища газа. Оперативный анализ и контроль эксплуатации. // Руководящий документ. – Ташкент, 2014. – Oz RH 39.0.

12 Назаров А.У. Исследование возможностей до извлечения остаточных запасов из нефтяных оторочек Ходжабадского ПХГ // Современные проблемы и пути освоения нефтегазового потенциала недр. Международная научно-техническая конференция. – Ташкент. 22 ноября, 2012. – С. 147-155.