

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗ ЗАКАЧУВАННЯ ПОВІТРЯ У ВОДОНОСНИЙ ПЛАСТ ЗНИЖЕНОГО ТИСКУ ПЛАСТОВОЇ ВОДИ

Отримано 10 жовт. 2025 р.; рекомендовано до публікації 09 груд. 2025 р.
Доступно онлайн 31 груд. 2025 р.

Морозов Ю. П.¹, Бачеріков О. В.², Барило А. А.³,
Олійніченко В. Г.⁴, Севрюк В. В.⁵,
Лобанова І. В.⁶, Сорока А. В.⁷

Автор для кореспонденції: Морозов Юрій,
e-mail: geotherm@ukr.net

¹ д-р. техн. наук
<https://orcid.org/0000-0003-1632-9735>

² канд. техн. наук
<https://orcid.org/0000-0003-0939-8804>

³ наук. співроб.
<https://orcid.org/0000-0001-7981-6464>

⁴ наук. співроб.
<https://orcid.org/0000-0003-4651-9628>

⁵ інж. І к.

⁶ мол. наук. співроб.
<https://orcid.org/0009-0007-0625-8052>

⁷ пров. інж.
<https://orcid.org/0009-0007-00388-5704>

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Інститут відновлюваної енергетики
НАН України, м. Київ, Україна

Стаття присвячена проблемі підземного зберігання водню. Наведені результати досліджень, спрямованих на оцінку можливості закачування та зберігання значних обсягів водню у водоносних горизонтах з пониженим пластовим тиском. З міркувань безпеки під час проведення експериментів замість водню використовувалося повітря. Обґрунтованість такої заміни підтверджено двома критеріями подібності. Експерименти проводились на ділянці Інституту відновлюваної енергетики НАН України на базі свердловини № 8, яка була пробурена на глибину 50 м та розкрила Полтавський водоносний горизонт з пониженим пластовим тиском. Закачування повітря в Полтавський горизонт виконувалося компресором. Результати дослідження показали можливість закачування великих об'ємів газу за низьких пластових тисків за рахунок розтікання повітря в ненасиченій водою частині водоносного горизонту.

Ключові слова: зберігання водню, водоносний горизонт, низький тиск, критерії подібності.

Вступ. Проблема зберігання водню зростає у зв'язку з розширенням його застосування, переважно у галузі енергетики. Цій тематиці присвячено багато робіт [1–3].

Одним з перспективних напрямів є підземне зберігання газу в пористих породах. В Україні існує досвід зберігання природного газу у виснажених газових родовищах та водоносних пластах, який може бути застосований для підземного зберігання водню

Відомий деякий практичний досвід підземного зберігання водню, який, однак, вважається досить обмеженим. Сховище чистого водню створено у Великій Британії в трьох соляних кавернах на глибині 400 м, де зберігається 1 млн т газу під тиском 5 МПа. Відомо також підземне сховище водню в Техасі (Praxair and Conoco Philips) [4–7].

Мета роботи

Мета роботи полягає у проведенні експерименту з дослідження можливості закачування водню у водоносних пластах з пониженим тиском (безнапірних водоносних горизонтах).

Дослідження закачування повітря у виснажений водоносний горизонт проводилися на експериментальній

свердловині інституту відновлюваної енергетики НАН України.

У проведених експериментах замість водню використовувалося повітря, яке моделює поведінку водню при закачуванні в пористі середовища

1. Гідрогеологічні умови ділянки дослідження та технічні характеристики експериментальної свердловини

У геологічному відношенні ділянка дослідження розташована в межах північно-східного пологого схилу Українського щита, що занурюється під область Дніпровсько-Донецької западини. Земні надра в цьому районі мають двоповерхову будову: нижній поверх – кристалічний фундамент, що складається з кристалічних і метаморфічних порід докембрію, верхній поверх є потужною (до 400 м) товщою палеозойських, мезозойських і кайнозойських осадових порід [8].

Сприятливі умови водообміну на пологому схилі кристалічного щита створили можливість для утворення зони прісних підземних вод, що охоплює весь розріз осадової товщі. Практичне значення мають водоносні горизонти й комплекси, приурочені до юрських, сеноманських, бучацько-канівських і харківсько-полтавських відкладень.

Від поверхні землі залягають такі водоносні горизонти:

1. Алювіально-делювіальні відклади першої надзаплавної тераси – кварцові піски з лінзами та проверстками суглинків. Цей горизонт, так звана верховодка, має сезонний характер і дуже залежить від кількості атмосферних опадів. Залягає на глибині від 8 до 12 м.
2. Водоносний горизонт у відкладах межигірської, берекської та новопетрівської світ олігоцен-міоцену (полтавська і харківська серії). Залягає на глибині від 32 до 50 м. Складається з сірого дрібнозернистого піску, що перекритий потужною товщою (до 20 м) строкатих глин неогену. Статичні рівні встановлюються на глибині кривлі горизонту, тобто горизонт напірно-безнапірний.
3. Бучаксько-канівський водоносний горизонт залягає на глибині від 90 до 117 м, складається мілким та дрібнозернистим піском. Горизонт сильно виснажений через активне використання його для водопостачання і для господарських цілей. Статичні рівні встановлюються на відмітках 96 м, тобто верхня частина горизонту «суха». Горизонт безнапірний.

Експериментальне дослідження було проведене на раніше пробуреній свердловині № 8, яка розташована на території ІВЕ НАН України (03143, м. Київ, вул. вул. Метрологічна, 50). Гідрогеологічний розтин ділянки та конструкція свердловини наведені на рис. 1.

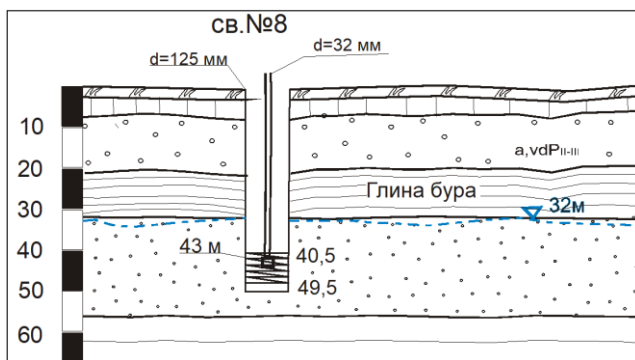


Рис. 1. Розріз свердловини № 8

Глибина свердловини № 8 становить 50 м, а діаметр буріння – 215 мм. Свердловина по всій глибині закріплена обсадними трубами діаметром 125 мм, в інтервалі глибин 40,5–49,5 м встановлений поліпропіленовий фільтр такого самого діаметра. Нижня частина свердловини обладнана відстійником завдовжки 0,5 м з заглушкою з нПВХ.

У свердловині на водопідйомних трубах діаметром 32 мм на глибині 43 м встановлений електрозанурювальний нас 8 продуктивним є горизонт відкладів полтавської і харківської серії. Водовмісні породи представлені піском тонко- та дрібнозернистим світло-сірим. Рівень води в горизонті на момент проведення експерименту

встановлений на глибині 40,9 м. Продуктивність свердловини під час пробної відкачки становила 3,5 м³/год зі зниженням рівня на 9,0 м [8].

2. Дослідження із закачування повітря у водоносний горизонт з низьким тиском

Метою дослідження є перевірка можливості закачування водню у водоносні пласти з пониженим тиском (безнапірні водоносні горизонти).

У проведених експериментальних дослідженнях з міркувань безпеки замість водню використовувалось повітря. Заміна водню на повітря обґрунтовано такими критеріями подібності.

Критерій полей свобідної течії G_a (критерій Галілея)

$$\frac{gl^2}{v^2} = \frac{Re^2}{F_2}$$

є мірою відношення сил молекулярного тертя і течіння в потоці. Характеризує взаємодію сил молекулярної й питомої сили, обумовленої різністю щільностей в окремих точках потоку [9].

Цей критерій на різності щільностей рідини в різних її

точках у відносних одиницях $\frac{\rho_0 - \rho_i}{\rho}$ (ця різниця є причиною виникнення конвективних потоків) – отримуємо

новий критерій – критерій Архімеда $A_r = G_r \frac{\rho_0 - \rho}{\rho}$

[10].

З метою закачування повітря у свердловину № 8 був зібраний лабораторний пристрій у складі повітряного компресора з такими характеристиками:

- продуктивність – 190 л/хв;
- споживана електрична потужність – 1100 Вт;
- максимальний тиск – 8 атм;
- маса – 18 кг;
- наявні манометр, запобіжний клапан, реле регулювання тиску, ресивер стисненого повітря.

Схема проведення експерименту наведена на рис. 2.

На рис. 3 наведено фото експериментальної установки для закачування повітря у водоносний горизонт з низьким тиском.

Були проведені попередні випробування пристрою у зборі з необхідними фітингами та гнучким рукавом.

Випробування виявили занадто низьку чутливість штатного манометра. Цетакож свідчило про надто низький ріст тиску в обсадній трубі свердловини навіть за максимальної продуктивності компресора, що становить 190 л/хв.

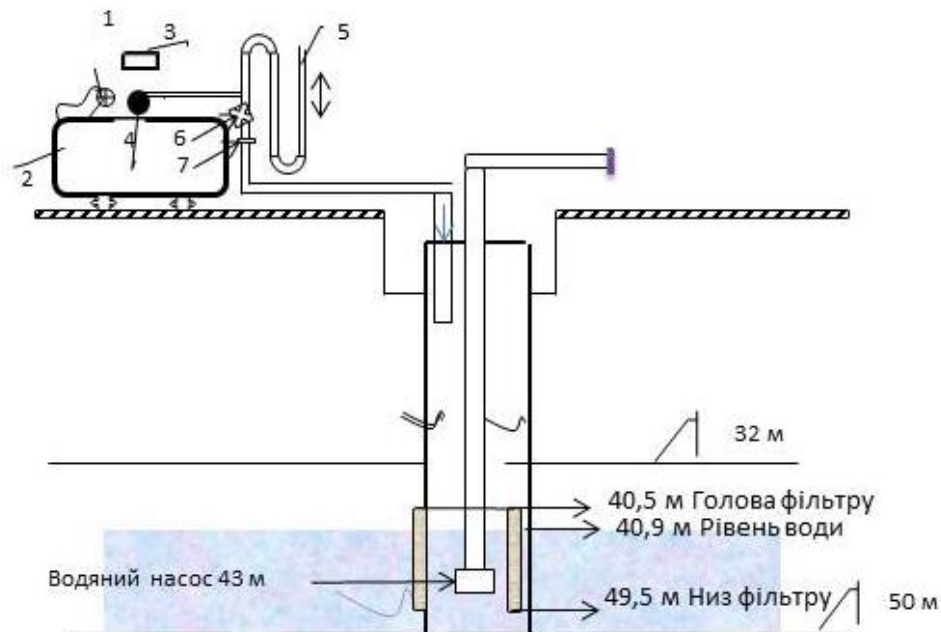


Рис. 2. Експеримент із закачування повітря у водоносний горизонт з низьким тиском



Рис. 3. Фото експериментальної установки із закачування повітря у водоносний горизонт з низьким тиском

Щоб зафіксувати мінімально можливе зростання тиску, довелося виготовити та під'єднати до вихідного патрубку компресора U-подібний манометр з підфарбованою водою як робоче тіло. Різницю між рівнями води в

лівій та правій «гілках» такого манометра визначали з використанням рулетки з ціною поділок в 1 мм. Максимальний тиск, який можливо виміряти цим манометром, становить 500 мм водяного стовпа.

Проходячи повз манометр, повітря далі прямувало через швидкокороз'ємну муфту до свердловини по гнучкому рукаву з діаметром 1/2', тобто зі збільшеним перерізом щодо діаметра фітингів, щоб не збільшувати суттєво супротив усього повітряного тракту: від випускного шарового крана з діаметром 1/4' аж до входу у свердловину через згін діаметром 3/4'.

3. Хід експерименту

При відкритому повністю випускному крані подавали живлення на електродвигун компресора, повітря вільно поступало в напрямку обсадної труби, але не подавалось безпосередньо до неї, а вільно виходило в атмосферу. Водяний манометр в такому режимі показував деякий перепад між рівнями в лівій та правій «гілках». У середньому це становило 250 мм водяного стовпа. Потім вихідний рукав приєднувався до згону, і все подане компресором повітря потрапляло в обсадну трубу свердловини. Зростання різниці рівнів води в манометрі становило 22–25 мм водяного стовпа. Це свідчить про те, що спрямування всього струменя повітря від компресора у свердловину супроводжується невеликим супротивом, тобто повітря входить і розподіляється по внутрішньому просторі обсадної труби майже безперешкодно. Далі повітря виходить через верхні отвори фільтра на глибині 40,5 м (при рівні води в свердловині 40,9 м) і після виходу з фільтра у заколонний простір повітря підіймалося по затрубному просторі, імовірно, потрапляло у верхню частину водоносного пласта між покрівлею і рівнем води. А проте виходу повітря на поверхню поза обсадною колоною в процесі

експерименту не спостерігалось. Причиною цього може бути герметизація верхньої частини затрубного простору через розбухання глинистих порід, що залягають над водоносним горизонтом (див. рис. 1). Як було вище зазначено, згідно з технічними характеристиками компресора обсяг закачаного повітря становить 190 л за 1 хвилину.

Висновки

1. Вперше проведені експериментальні дослідження закачування газу (повітря) у виснажені водоносні пласти з пониженням тиском.
2. Стабілізація тиску нагнітання повітря у водоносний пласт на рівні 22–5 мм водяного стовпа за витрати повітря 190 л/хв свідчить про низький опір руху повітря в пласті, що можливе при розтіканні його по частині водоносного пласта вище рівня води в свердловині.
3. Зберігання газу в такому водоносному пласті, з пониженням тиском, можливе в частині пористого середовища пласта між його покрівлею та рівнем води.
4. Зберігання газу в такому водоносному пласті, з пониженням тиском, буде забезпечувати менші витрати на нагнітання газу в підземні сховища.

ПОСИЛАННЯ

1. Гімер Р. Ф., Гімер П. Р., Деркач М. П. Підземне зберігання газу. Частина I: Створення підземних сховищ газу. Львів: Центр Європи, 2007. 224 с.
2. Говдяк Р. М. Стан та перспективи будівництва підземних сховищ природного газу в Україні. Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. 2013. № 3(48). С. 7–13.
3. Морозов Ю. П., Жохін А. С. (2023). МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СХОВИЩА ВОДНЮ У ВОДОНОСНОМУ ПЛАСТІ. Відновлювана енергетика. (4(75)), 85–92. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.4\(75\).85-92](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.4(75).85-92).
4. Davison J. Co-production of hydrogen and electricity with CO₂ capture / J. Davison, S. Ananti, P. Cotone and L. Mansueto. *Energdy Procedia*. Vol. 1. 2009. P. 4063–4070.
5. Panfilov M., Graver G., Fillacier S. Underground storage of H₂-CO₂-CH₄ mixtures. *Proc. ECMOR-X: 10th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery*, 4 September 2006. Amsterdam, the Netherlands: Ed. EAGE. 2006. P. A003.
6. Lindblom U. E. A conceptual design for compressed hydrogen storage in mined caverns. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1985. Vol. 10. Issue 10. P. 667–675.
7. Paterson L. The implications of fingering in underground hydrogen storage. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1983. Vol. 8. Issue 1. P. 53–59.
8. Звіт ДНВП «Отчет по детальной разведке подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Киева (участок Бортничих I-II) за 1980-1984 гг.» ГО «Севукреология», Правобережная геологоразведочная экспедиция, фондові матеріали № 46506, в 7 томах. Т. I, 1984.
9. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. М., 1962. 456 с.
10. Касаткін А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., 1971. 784 с.

EXPERIMENTAL RESEARCH ON AIR INJECTION INTO AQUACIER OF REDUCED PRESSURE OF FORMATION WATER

Received Oct. 10, 2025; accepted Dec. 09, 2025
Available online Dec. 31, 2025

**Morozov Yu.¹, Bacherikov O.², Barilo A.³,
Olijnichenko V.⁴, Sevryuk V.⁵,
Lobanova I.⁶, Soroka A.⁷**

Автор для кореспонденції: Morozov Yurii,
e-mail: geotherm@ukr.net

¹ Dr. of Sciences (Tech.)
<https://orcid.org/0000-0003-1632-9735>

² PhD (Tech.)
<https://orcid.org/0000-0003-0939-8804>

³ Research Associate
<https://orcid.org/0000-0001-7981-6464>

⁴ Research Associate
<https://orcid.org/0000-0003-4651-9628>

⁵ Engineer, First Category

⁶ Junior Research Associate
<https://orcid.org/0009-0007-0625-8052>

⁷ Leading Engineer
<https://orcid.org/0009-0007-00388-5704>

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Institute of Renewable Energy of NAS
of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The article is devoted to the problem of underground hydrogen storage. The study presents the results of research aimed at assessing the feasibility of injecting and storing significant volumes of hydrogen in aquifers with reduced reservoir pressure. For safety reasons, air was used instead of hydrogen during the experiments. The validity of this substitution was justified using two similarity criteria. The experiments were carried out at the site of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, using Well No. 8, drilled to a depth of 50 m and penetrating the Poltava aquifer characterized by reduced reservoir pressure. Air injection into the Poltava aquifer was performed using a compressor. The results demonstrated the possibility of injecting large volumes of gas under low reservoir pressure conditions due to the spreading of air within the unsaturated zone of the aquifer.

Key words: hydrogen storage, aquifer, low pressure, similarity criteria.

Introduction. The problem of hydrogen storage is growing due to its expanding use, mainly in the energy sector. Many studies have been devoted to this topic [1, 2, 3].

One promising direction is underground gas storage in porous rocks. Ukraine has experience in storing natural gas in depleted gas fields and aquifers, which can be applied to underground hydrogen storage.

There is some practical experience in underground hydrogen storage, which, however, is considered to be quite modest. A pure hydrogen storage facility has been created in the UK in three salt caverns at a depth of 400 m, which store 1 million tons of gas at a pressure of 5 MPa. There is also an underground hydrogen storage facility in Texas (Praxair and Conoco Philips) [4, 5, 6, 7].

Purpose of the work

The purpose of the work is to conduct an experiment to study the possibility of injecting hydrogen into aquifers with reduced pressure (unconfined aquifers).

Research on pumping air into depleted aquifers was conducted at an experimental well belonging to the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine.

In the experiments, air was used instead of hydrogen to simulate the behavior of hydrogen when pumped into porous media.

1. Hydrogeological conditions of the study area and technical characteristics of the experimental well

Geologically, the study area is located within the northeastern gentle slope of the Ukrainian Shield, which dips into the Dnieper-Donets Basin. The earth's interior in this area has a two-layer structure: the lower layer is a crystalline foundation consisting of crystalline and metamorphic Precambrian rocks, and the upper layer is a thick (up to 400 m) layer of Paleozoic, Mesozoic, and Cenozoic sedimentary rocks [8].

Favorable conditions for water exchange on the gentle slope of the crystalline shield have created the possibility for the formation of a zone of fresh groundwater covering the entire section of the sedimentary strata. Aquifers and complexes associated with the Jurassic, Cenomanian, Buchach-Kaniv, and Kharkiv-Poltava deposits are of practical importance.

The following aquifers lie close to the surface:

1. Alluvial-deluvial deposits of the first floodplain terrace – quartz sands with lenses and intercalations of loam. This aquifer, known as the “upper aquifer,” is seasonal in nature and highly dependent on the amount of precipitation. It lies at a depth of 8 to 12 m.
2. Aquifer in the deposits of the Mezhygorsk, Bereksk, and Novopetrovsk formations of the Oligocene-Miocene (Poltava and Kharkiv series). It lies at a depth of 32 to 50 m. It consists of gray fine-grained sand covered by a thick layer (up to 20 m) of variegated Neogene clays. Static levels are established at the depth of the horizon roof, i.e., the horizon is pressure-free.
3. The Buchak-Kaniv aquifer lies at a depth of 90 to 117 m and consists of fine and fine-grained sand. The aquifer is severely depleted due to its active use for water supply and economic purposes. Static levels are set at 96 m, i.e., the upper part of the aquifer is “dry.” The aquifer is unconfined.

An experimental study was conducted on the previously drilled well No. 8, located on the territory of the Institute of Geochemistry and Hydrogeology of the National Academy of Sciences of Ukraine (50 Metrolohichna St, Kyiv, 03143). The hydrogeological section of the site and the well design are shown in Fig. 1.

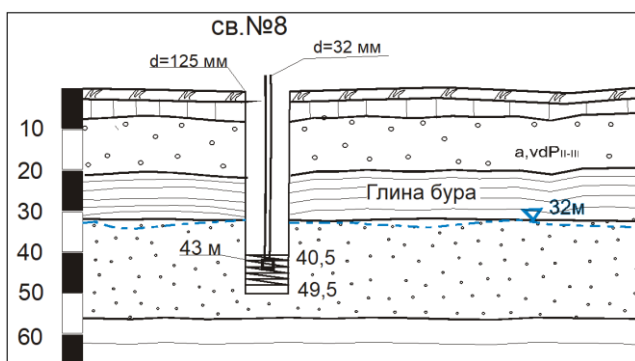


Fig. 1. Section of well No. 8

The depth of well No. 8 is 50 m, and the drilling diameter is 215 mm. The well is reinforced with casing pipes with a diameter of 125 mm throughout its entire depth, and a polypropylene filter of the same diameter is installed in the depth interval of 40.5–49.5 m. The lower part of the well is equipped with a 0.5 m long sedimentation tank with an nPVC plug.

A Vodoliiy 80 submersible electric pump is installed in the well on 32 mm diameter water-lifting pipes at a depth of 43 m.

For well No. 8, the horizon of deposits of the Poltava and Kharkiv series is productive. The water-bearing rocks are represented by fine- and small-grained light gray sand. At the time of the experiment, the water level in the horizon was set at a depth of 40.9 m. The productivity of the well during the test pumping was 3.5 m³/hour with a level decrease of 9.0 m [8].

2. Research on pumping air into low-pressure aquifers

The aim of the research is to test the possibility of pumping hydrogen into low-pressure aquifers (unconfined aquifers).

In the experimental studies conducted, air was used instead of hydrogen for safety reasons. The replacement of hydrogen with air is justified by the following similarity criteria.

The free flow field criterion G_a (Galileo criterion) is a measure of the ratio of molecular friction forces and flow in a stream. It characterizes the interaction of molecular forces and specific forces caused by differences in density at individual points in the stream [9].

This criterion is based on the difference in fluid density at different points in relative units (this difference is the cause of convective flows) – we obtain a new criterion – Archimedes' criterion [10].

In order to pump air into well No. 8, a laboratory device was assembled consisting of an air compressor with the following characteristics:

- Capacity - 190 l/min;
- Power consumption - 1100 W;
- Maximum pressure - 8 atm;
- Weight – 18 kg;
- Equipped with a pressure gauge, safety valve, pressure control relay, and compressed air receiver.

The experiment setup is shown in Fig. 2.

Fig. 3 shows a photo of an experimental setup for pumping air into a low-pressure aquifer.

Preliminary tests were conducted on the device assembled with the necessary fittings and a flexible hose.

The tests revealed that the standard pressure gauge was not sensitive enough. This, in turn, indicated that the pressure in the well casing was too low, even at the compressor's maximum capacity of 190 l/min.

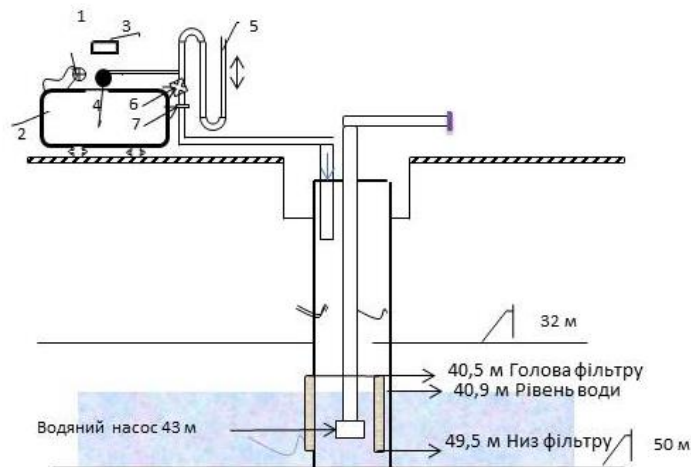


Fig. 2. Experiment on air injection into a low-pressure aquifer



Fig. 3. Photo of an experimental installation for injecting air into a low-pressure aquifer

To record the minimum possible pressure increase, we had to make and connect a U-shaped pressure gauge with colored water as the working fluid to the compressor outlet pipe. The difference between the water levels in the left and right “branches” of this pressure gauge was determined using a tape measure with 1 mm divisions. The maximum pressure that can be measured with this pressure gauge is 500 mm of water column.

Passing through the pressure gauge, the air then flowed through a quick-release coupling to the well through a

flexible hose with a diameter of 1/2", i.e., with an increased cross-section relative to the diameter of the fittings so as not to significantly increase the resistance of the entire air path: from the 1/4 "diameter ball valve to the well entrance through a 3/4" diameter joint.

3. Course of the experiment.

With the outlet valve fully open, power was supplied to the compressor's electric motor, and air flowed freely in the direction of the casing pipe, but was not supplied directly to it, instead escaping freely into the atmosphere. In this mode, the water manometer showed a slight difference between the levels in the left and right “branches.” On average, this was 250 mm of water column. Then the outlet hose was connected to the reducer, and all the air supplied by the compressor entered the well casing. The increase in the difference in water levels in the pressure gauge was 22–25 mm of water column. This indicates that the direction of the entire air jet from the compressor into the well is accompanied by slight resistance, i.e., the air enters and is distributed throughout the internal space of the casing pipe almost unhindered. The air then exits through the upper openings of the filter at a depth of 40.5 m (at a water level in the well of 40.9 m) and, after exiting the filter into the annular space, rises through the annular space, probably entering the upper part of the aquifer between the roof and the water level. At the same time, no air escape to the surface outside the casing was observed during the experiment. The reason for this may be the sealing of the upper part of the annular space by the swelling of clayey rocks lying above the aquifer (Fig. 1). As mentioned above, according to the technical characteristics of the compressor, the volume of injected air is 190 liters per minute.

Conclusions

1. For the first time, experimental studies were conducted on the injection of gas (air) into depleted aquifers with reduced pressure.
2. Stabilization of air injection pressure in the aquifer at a level of 22–25 mm water column at an air flow rate of 190

l/min indicates low resistance to air movement in the aquifer, which is possible when it spreads over part of the aquifer above the water level in the well.

3. Gas storage in such an aquifer with reduced pressure is possible in the porous medium of the aquifer between its roof and the water level.

4. Gas storage in such an aquifer with reduced pressure will ensure lower costs for gas injection into underground storage facilities.

REFERENCES

1. Himer R. F., Himer P.R., Derkach M.P. Underground Gas Storage. Part I: Construction of Underground Gas Storage Facilities. Lviv: Tsentr Yevropy, 2007. 224 p.
2. Hovdyak R. M. Current state and prospects of constructing underground natural gas storage facilities in Ukraine. Exploration and Development of Oil and Gas Fields. 2013 / No. 3(48). P. 7–13.
3. Morozov, YU. P., & Zhokhin, A. S. (2023). Mathematical model of a hydrogen storage facility in an aquifer. *Vidnovlyuvana enerhetyka*, 4(75), 85–92. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.4\(75\)](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.4(75)). P. 85-92.
4. Davison J. Co-production of hydrogen and electricity with CO₂ capture / J. Davison, S. Ananti, P. Cotone and L. Mansuco. *Energy Procedia*. Vol. 1. 2009. P. 4063–4070.
5. Panfilov M., Graver G., Fillacier S./ Underground storage of H₂-CO₂-CH₄ mixtures. Proc. ECMOR-X: 10th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery, 4 – September 2006. Amsterdam, the Netherlands: Ed. EAGE. 2006. P. A003.
6. Lindblom U. E. A conceptual design for compressed hydrogen storage in mined caverns. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1985. Vol. 10. Issue 10 P. 667–675.
7. Paterson L. The implications of fingering in underground hydrogen storage. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1983. Vol. 8. Issue 1. P.53–59
8. Report of the State Research and Production Enterprise “Geoinform”: Detailed exploration of groundwater for domestic and drinking water supply of the city of Kyiv (Bortnychi I–II site), 1980–1984. SE “Sevukrgeologia”, Right-Bank Geological Exploration Expedition, archival materials No. 46506, in 7 volumes. Vol. I, 1984.
9. Kutateladze S. S., Fundamentals of heat transfer theory, M., 1962. 456 p.
10. Kasatkin A.G., Main processes and apparatuses of chemical technology. M., 1971. 784 p.