

УДК 622.691.2+004.45

DOI: <https://doi.org/10.17721/3041-2323.2025.55-66>

Володимир ВОЛОВЕЦЬКИЙ, д-р філософії

ORCID ID: 0000-0001-8575-5143

e-mail: vvb11@ukr.net

Філія «Науково-дослідний інститут транспорту газу»

АТ «Укртрансгаз», Харків, Україна

Андрій БУГАЙ

ORCID ID: 0009-0006-2790-8651

e-mail: andrbug@gmail.com

АТ «Укртрансгаз», Київ, Україна

Оксана ЩИРБА

ORCID ID: 0000-0002-4584-7446

e-mail: omschyrba@ukr.net

Філія «Науково-дослідний інститут природних газів»

АТ «Укргазвидобування», Харків, Україна

Юлія РОМАНИШИН, д-р пед. наук, професор

ORCID ID: 0000-0001-7231-8040

e-mail: yulromanyshyn@gmail.com

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

Андрій ЛЕВИЦЬКИЙ

ORCID ID: 0009-0009-4400-797X

e-mail: andriy.m.levytskyu@ukd.edu.ua

Університет Короля Данила,

Івано-Франківськ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТУВАННЯ СВЕРДЛОВИН ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ ЗАСОБАМИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті розглянуто актуальне питання розроблення програмного забезпечення для визначення основних показників експлуатування свердловин підземних сховищ газу. За допомогою програмного забезпечення можна визначити тиск свердловин від вибою до установки системи збирання і підготовки газу, а також їхню продуктивність за умови задавання різних параметрів. Використовування розробленого програмного забезпечення дає змогу

визначати різні режими експлуатування свердловин підземних сховищ газу та обрати оптимальний.

Ключові слова: підземне сховище газу, експлуатування, режими, програмне забезпечення.

Вступ

Газотранспортна система (ГТС) України є надійним транзитером газу до європейських країн і постачальником для споживання газу на внутрішньому ринку. Для забезпечення стабільного експлуатування ГТС важливо запобігати зниженню тиску в системі за рахунок своєчасного подавання газу із підземних сховищ газу (ПСГ), розміщених у різних регіонах країни. Варто зазначити, що ПСГ є складним об'єктом, до якого входить підземна та наземна інфраструктура, яка забезпечує зберігання, підготовляння природного газу до транспортування відповідно до Кодексу ГТС (Кодекс ГТС, 2015) та подавання його через наявні під'єднані газопроводи споживачам.

ПСГ України мають значні потужності зберігання активного газу, це близько 32 млрд м³ (Сторчак, Заєць, 2016).

Основне завдання ПСГ – забезпечувати стабільне постачання газу споживачам, тобто регулювати сезонні потреби у споживанні газу та забезпечувати газом у непередбачуваних випадках, таких як аварії або зменшення обсягів під час транспортування магістральними газопроводами. ПСГ під'єднані до системи газопроводів, яка забезпечує подавання його на експорт, споживання на внутрішньому ринку, а також отримання від реверсного надходження для закачування в газосховища.

Під час експлуатування свердловин ПСГ можуть виникати ускладнення, зокрема накопичення рідини в стовбурі та у внутрішній порожнині шлейфів. Для об'єктивного оцінювання ефективності експлуатування свердловин доцільно використовувати моделювання (Volovetskyi et al., 2025). Окрім цього, в процесі експлуатування свердловин під час зміни термодинамічних умов уздовж шляху руху газу можливе утворення гідратів (Volovetskyi et al., 2023). Ці ускладнення потребують негайного усунення. У зв'язку з цим для надійного експлуатування свердловин газосховищ уживають різних заходів, спрямованих на збільшення швидкості газового потоку та

запобігання накопичення рідини. З огляду на це важливим на газосховищах є прогнозування режиму їх експлуатування за різних умов, визначення оптимальних параметрів режиму роботи свердловин, а також досягнення максимальної продуктивності свердловин.

Основна частина і результати

Під час закачування газ із магістрального газопроводу надходить на установку очищення II ступеня (пиловловлювачі або сепаратори) для запобігання потраплянню різних забруднень (рідинних та твердих). Очищений газ надходить на пункт вимірювання витрат газу (ППВГ) для обліковування, у разі потреби – на дотискувальну компресорну станцію (ДКС) для компримування, а відтак його подають на вузол від'єднувальних пристроїв. Далі газ підземними шлейфами, що можуть мати висхідні, низхідні та прямолінійні ділянки, різні місцеві опори (відводи, трійники, котушки тощо), надходить до свердловин і наземним гирловим обладнанням (через засувки, відводи, трійники, котушки тощо) та ліфтовою колоною – у продуктивний горизонт. На рис. 1 подано принципову технологічну схему руху газу під час закачування в ПСГ.



Рис. 1. Принципова технологічна схема руху газу під час закачування в ПСГ

Після завершення закачування або відбирання газу в підземному сховищі газу ПСГ передбачається виведення газосховища в нейтральний період. Під час нейтрального періоду на ПСГ виконують дослідження і роботи, передбачені технологічним проектом і регламентом з контролю за експлуатацією та герметичністю газосховища, ремонти тощо. Тривалість нейтрального періоду визначають індивідуально для

кожного ПСГ. Відповідно до Кодексу ПСГ нейтральний період не може перевищувати 30 діб (Кодекс газосховищ, 2015).

Під час відбирання газ із продуктивного горизонту надходить до вибою свердловин, а далі ліфтовою колоною піднімається вгору на гирло. Далі газ проходить наземним гирловим обладнанням свердловини (через засувки, відводи, трійники, котушки тощо) і підземним шлейфом, що може мати висхідні, низхідні та прямолінійні ділянки, різні місцеві опори (відводи, трійники, котушки тощо), надходить на вузол від'єднувальних пристроїв та установки системи збирання і підготовки газу. Разом з газом може відбуватися і рух рідини, яка може поступово накопичуватися на різних ділянках. Спочатку газ надходить у вузол очищення I ступеня (сепаратори), де його очищують (Volovetskyi et al., 2022) від рідини та механічних домішок. Далі газ надходить на установку очищення II ступеня (пиловловлювачі або сепаратори), де його додатково очищують від рідини. Очищений газ надходить на осушування (абсорбери), ПВВГ для обліковування, у разі потреби на ДКС для компримування та його подають через наявні під'єднані магістральні газопроводи споживачам (Бугай, Воловецький & Пономарьов, 2019).

Залежно від наявної інфраструктури газосховищ, принципова технологічна схема може дещо відрізнятись, наприклад, наявним обладнанням і процесом. Як відбирання газу, так і закачування його у газосховище на більшості ПСГ може відбуватися компресорним і безкомпресорним способом, що залежить від величини пластового тиску та тиску в магістральному газопроводі (Воловецький, Бугай & Пономарьов, 2018). На рис. 2 подано принципову технологічну схему руху газу під час відбирання з ПСГ.

Проте, є ПСГ на яких відбирання газу відбувається тільки безкомпресорним способом, а закачування тільки компресорним способом, тому представлені на рис. 1 та рис. 2 принципові технологічні схеми будуть інші.



Рис. 2. Принципова технологічна схема руху газу під час відбирання з ПСГ

Контролює режим закачування та відбирання газу в/з ПСГ диспетчерська служба АТ «Укртрансгаз». У разі різкого зниження температури навколишнього середовища та відповідно зростання номінацій на відбір газу від замовників послуг, фахівці ухвалюють рішення збільшити відбирання газу з ПСГ.

У цей час для контролювання параметрів будь-якого технологічного процесу активно використовують, як сучасне програмне забезпечення (ПЗ), так і нові розробки фахівців. У (Volovetskyi et al., 2021) на основі CFD моделювання у програмному комплексі ANSYS встановлено, що накопичення в понижених ділянках газопроводів рідинних забруднень чинить вплив на газодинамічні процеси і призводить до втрат тиску понад передбачені технологічним режимом значення.

У науковій праці (Воловецький, Романишин, & Райтер, 2024) розроблено систему прогнозування утворення гідратів на підземних сховищах газу з використанням технологій штучного інтелекту. Цей підхід дасть змогу забезпечувати, як стабільне експлуатування свердловин, так і ПСГ у цілому.

У публікації (Воловецький & Романишин, 2024) розроблено ПЗ «Режим ПСГ» за допомогою якого можна забезпечувати розв'язання таких задач, як-от: визначення мінімальної та максимальної продуктивності свердловин за зміни різних параметрів експлуатування ПСГ; визначення оптимальної кількості свердловин та послідовність пуску їх в експлуатацію під час відбирання газу для досягнення заданої продуктивності; прогнозування різних режимів ПСГ за умови зміни тиску в магістральному газопроводі.

У (Volovetskyi & Romanyshyn, 2024) наведено, що однією із важливих проблем залишається забезпечення підвищення продуктивності свердловин ПСГ. Для розв'язання цієї проблеми розробляють та уживають різних заходів. Автори розробили комплексні заходи, які передбачають:

а) контролювання та аналізування експлуатаційних параметрів свердловин і трубопроводів установленням давачів тиску і температури в контрольних місцях. Виконання дистанційного комп'ютерного моніторингу експлуатаційних параметрів у реальному часі та моніторинг архівних даних з бази даних за минулий період і протягом року та їх співставлення. Зберігання архівних даних пропонується здійснювати на окремому сервері;

б) розробити електронний «Паспорт свердловин» у якому будуть зберігатися всі геолого-промислові дані стосовно свердловини: конструкція, експлуатаційні параметри (тиски, температура, продуктивність), результати гідрогазодинамічних і промислово-геофізичних досліджень, результати виконання капітального та поточного ремонту тощо, що дасть змогу оперативно аналізувати всю необхідну інформацію щодо свердловини;

в) виконувати дослідження свердловин і відображати їх у розробленому електронному «Паспорті свердловин»:

– щомісячно проводити індивідуальний замір дебіту свердловин;

– щомісячно проводити відбір води із свердловин та сепараційного обладнання вимірювальної лінії для проведення лабораторного аналізу;

– вимірювати накопичення рідини на вибої та у стовбурі ехолотами-рівнемірами. Контролювати динаміку зміни рівня рідини на свердловинах, у яких фактичний дебіт менший за мінімально-необхідний для винесення рідини на поверхню. Дослідження рівнів рідини у свердловинах дозволить визначити оптимальний режим роботи свердловин для різних періодів експлуатування газосховища.

Вочевидь для контролювання технологічного процесу закачування та відбирання газу в або з ПСГ потрібно

використовувати сучасне ПЗ, яке дасть змогу персоналові ухвалювати оперативні рішення.

З огляду на вище зазначене запропоновано розробити ПЗ «Режим свердловин» для проведення газодинамічних розрахунків за різних умов експлуатування свердловин. Екранні форми ПЗ запропоновано зробити у формі таблиць, які дадуть змогу вносити фактичні дані за весь період експлуатування ПСГ та в інтерактивному режимі отримувати числові значення, розраховані на підставі заздалегідь розроблених алгоритмів.

За допомогою ПЗ «Режим свердловин» передбачається забезпечувати розв'язання таких задач:

- визначення тиску за напрямком руху газу від вибою до вузла від'єднувальних пристроїв у контрольних точках;
- визначення продуктивності свердловин за умови задавання різних параметрів експлуатування ПСГ;
- визначення безгідратного режиму експлуатування свердловин;
- визначення режиму експлуатування свердловин за умови винесення рідини зі свердловини та шлейфів;
- визначення оптимального режиму експлуатування свердловин за заданого режиму експлуатування ПСГ.

Створене ПЗ «Режим свердловин» має такі основні складники:

- базу даних результатів газодинамічних, геофізичних і газогеохімічних досліджень свердловин у різних форматах за період їх експлуатування;
- базу даних з технічними характеристиками свердловин і шлейфів;
- базу даних із фактичними експлуатаційними параметрами;
- алгоритми розрахунків, розроблених на основі відомих методик;
- клієнтську частину з екранними формами, на яких відображають вихідні дані та результати розрахунків.

Встановлення ПЗ на персональному комп'ютері користувача, дасть змогу фахівцям виконувати моніторинг режиму роботи свердловин. У ПЗ передбачено різні модулі, які забезпечують аналізування наявної інформації, задавання параметрів, виконання розрахунків та відображення результатів,

візуалізованих на технологічній схемі руху газу на моніторі користувача.

ПЗ передбачає можливість: вводити та коригувати наявну та довідкову інформацію; формувати (створювати, редагувати, зберігати) технологічні схеми руху газу на ПСГ; визначати оптимальні режими експлуатування свердловин.

Для розширення функціональності ПЗ доцільно його інтегрувати з різними базами даних, а також періодично актуалізувати наявну інформацію.

Дискусія і висновки

Упровадження ПЗ «Режим свердловин» на виробництві дасть змогу оперативно виконувати розрахунки різних режимів експлуатування свердловин та обрати оптимальний.

Список використаних джерел

Бугай, А., Воловецький, В., & Пономарьов, Ю. (2019). Інтелектуальна система контролювання та регулювання режиму експлуатування свердловин газосховищ в умовах гідратування: зб. *матеріалів 8-ої Міжнародної науково-технічної конференції "Інформаційні системи та технології ICT-2019" (09-14 вересня 2019 р.)*, 26-29. Харків: ХНУРЕ.

Воловецький, В., & Романишин, Ю. (2024). Особливості програмного забезпечення для визначення режимів експлуатування підземних сховищ газу: зб. *тез VIII Міжнародної науково-практичної конференції "Прикладні інформаційні системи та технології в цифровому суспільстві" (01 жовтня 2024 р.)*, 46-50. Київ: Київський національний університет ім. Тараса Шевченка.

Воловецький, В., Бугай, А., & Пономарьов, Ю. (2018). Критерії побудови оптимальної системи прогнозування параметрів роботи підземних сховищ газу: зб. *матеріалів 7-ої Міжнародної науково-технічної конференції "Інформаційні системи та технології ICT-2018" (10-15 вересня 2018 р.)*, 94-96. Харків: ХНУРЕ.

Воловецький, В., Романишин, Ю., & Райтер, П. (2024). Прогнозування гідратування на підземних сховищах газу з використанням технологій штучного інтелекту: зб. *матеріалів XII Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-ОДЕСА-2024)" (23-25 вересня 2024 р.)*, 280-283. Одеса: Національний університет "Одеська політехніка".

Кодекс газосховищ, затверджений постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30.09.2015 №2495, зареєстрованою в Міністерстві юстиції України 06.11.2015 за №1380/27825.

Кодекс газотранспортної системи, затверджений постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30.09.2015 №2493, зареєстрованою в Міністерстві юстиції України 06.11.2015 за № 1378/27823.

Сторчак, С.О., & Заєць, В.О. (2016). Підземні сховища газу України – надійна основа для створення Східноєвропейського газового хабу. *Нафтогазова галузь України*. 3, 24-25.

Volovetskyi, V.B., Bugai, A.O., Levin, O.A., Serediuk, M.D., Romanyshyn, Y.L., & Shchyryba, O.M. (2025). Developing a gas-dynamic model of an underground gas storage facility. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 128(1), 18-32. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.0342>.

Volovetskyi, V.B., & Romanyshyn, Y.L. (2024). Software for planning measures to increase the productivity of wells in underground gas storage facilities. *Modern Challenges as an Impetus for Technical Innovations: proceedings of International Scientific Conference (October 3-4, 2024, Riga, Republic of Latvia)*, 5-8. Riga: Baltija Publishing.

Volovetskyi, V.B., Doroshenko, Ya.V., Matkivskyi, S.V., Raiter, P.M., Shchyryba, O.M., Stetsiuk, S.M., & Protsiuk, H.Ya. (2023). Development of methods for predicting hydrate formation in gas storage facilities and measures for their prevention and elimination. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 117(1), 25-41. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.5955>.

Volovetskyi, V.B., Doroshenko, Ya.V., Bugai, A.O., Kogut, G.M., Raiter, P.M., Femiak, Y.M., & Bondarenko, R.V. (2022). Developing measures to eliminate of hydrate formation in underground gas storages. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 111(2), 64-77. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.9996>.

Volovetskyi, V.B., Doroshenko, Ya.V., Doroshenko, J.I., & Shchyryba, O.M. (2021). Modeling of gas-dynamic processes in the inner cavity of gas gathering pipelines. *Proceedings of the 10-th International Scientific and Technical Conference "Information systems and technologies IST-2021" (September 13-19, 2021)*, 347-352. Kharkiv – Odesa. Ukraine.

References

Bugai, A., Volovetskyi, V., & Ponomarev, Y. (2019). Intelligent Control and Regulation System of the Operation Mode of Gas Storage Wells During Hydrate Formation: *proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference "Information systems and technologies IST-2019" (09-14 September 2019)*, 26-29. Kharkiv: NURE [in Ukrainian].

Volovetskyi, V., & Romanyshyn, Y. (2024). Features of the software for determining the operating modes of underground gas storage facilities: *proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference "Applied Information Systems and Technologies in the Digital Society" (01 October 2024)*, 46-50. Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Ukrainian].

Volovetskyi, V., Bugai, A., & Ponomarev, Y. (2018). Criteria for Developing the Optimal Parameter Prediction System for the Underground Gas Storage Facilities Operation: *proceedings of the 7th International Scientific and Technical Conference*

"Information systems and technologies IST-2018" (10-15 September 2018), 94-96. Kharkiv: NURE [in Ukrainian].

Volovetskyi, V., Romanyshyn, Y., & Raiter, P. (2024). Predicting of hydrate formation in underground gas storage facilities using artificial intelligence technologies: *materials of the XII International Scientific and Practical Conference "Information Control Systems and Technologies (ICST- ODESA – 2024)" (23-25 September 2024)*, 280-283. Odesa: Odesa Polytechnic National University [in Ukrainian].

Gas Storage Facilities Code, approved by Resolution of the National Energy and Utilities Regulatory Commission of 30.09.2015 No. 2495, registered with the Ministry of Justice of Ukraine on 06.11.2015 under No. 1380/27825 [in Ukrainian].

Gas Transmission System Code, approved by the Resolution of the National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities of September 30, 2015, No. 2493, registered in the Ministry of Justice of Ukraine on November 6, 2015 under No. 1378/27823 [in Ukrainian].

Storchak, S., & Zaiets, V. (2016). Underground gas storage facilities of Ukraine are a reliable basis for the formation of an Eastern European gas hub. *Oil and Gas Industry in Ukraine*. 3, 24-25 [in Ukrainian].

Volovetskyi, V.B., Bugai, A.O., Levin, O.A., Serediuk, M.D., Romanyshyn, Y.L., & Shchyryba, O.M. (2025). Developing a gas-dynamic model of an underground gas storage facility. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 128(1), 18-32. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.0342>.

Volovetskyi, V.B., & Romanyshyn, Y.L. (2024). Software for planning measures to increase the productivity of wells in underground gas storage facilities. *Modern Challenges as an Impetus for Technical Innovations: proceedings of International Scientific Conference (October 3-4, 2024, Riga, Republic of Latvia)*, 5-8. Riga: Baltija Publishing.

Volovetskyi, V.B., Doroshenko, Ya.V., Matkivskyi, S.V., Raiter, P.M., Shchyryba, O.M., Stetsiuk, S.M., & Protsiuk, H.Ya. (2023). Development of methods for predicting hydrate formation in gas storage facilities and measures for their prevention and elimination. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 117(1), 25-41. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.5955>.

Volovetskyi, V.B., Doroshenko, Ya.V., Bugai, A.O., Kogut, G.M., Raiter, P.M., Femiak, Y.M., & Bondarenko, R.V. (2022). Developing measures to eliminate of hydrate formation in underground gas storages. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 111(2), 64-77. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.9996>.

Volovetskyi, V.B., Doroshenko, Ya.V., Doroshenko, J.I., & Shchyryba, O.M. (2021). Modeling of gas-dynamic processes in the inner cavity of gas gathering pipelines. *Proceedings of the 10-th International Scientific and Technical Conference "Information systems and technologies IST-2021" (September 13-19, 2021)*, 347-352. Kharkiv – Odesa. Ukraine.

Отримано редакцією журналу / Received: 04.09.25

Прорецензовано / Revised: 09.09.25

Схвалено до друку / Accepted: 01.10.25

Volodymyr VOLOVETSKYI, PhD
ORCID ID: 0000-0001-8575-5143
e-mail: vvb11@ukr.net
Branch "Research Institute of Gas Transportation"

JSC "Ukrtransgaz", Kharkiv, Ukraine

Andrii BUGAI
ORCID ID: 0009-0006-2790-8651
e-mail: andribug@gmail.com
JSC "Ukrtransgaz", Kyiv, Ukraine

Oksana SHCHYRBA
ORCID ID: 0000-0002-4584-7446
e-mail: omschyrba@ukr.net
Branch "Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases"
JSC "Ukrgasvydobuvannya", Kharkiv, Ukraine

Yulia ROMANYSHYN, Dr. Sci., Prof.
ORCID ID: 0000-0001-7231-8040
e-mail: yulromanyshyn@gmail.com
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine

Andrii LEVYTSKYI,
ORCID ID: 0009-0009-4400-797X
e-mail: andriy.m.levytskyy@ukd.edu.ua
King Danylo University
Ivano-Frankivsk, Ukraine

DETERMINING OPTIMAL OPERATING MODES FOR UNDERGROUND GAS STORAGE WELLS USING SOFTWARE

The article considered the current issue of software development for determining the main operational indicators of underground gas storage wells. The software can be used to determine the pressure in the wells from the bottom hole to the gas collection and preparation system, as well as their productivity under various parameters. Using the developed software makes it possible to determine the different operating modes of underground gas storage wells and select the optimal one.

Keywords: *underground gas storage facility, operation, modes, software.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.