

АНАЛІЗ ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ВУГЛЕВОДНЕВИЛУЧЕННЯ НА ПІЗНІХ СТАДІЯХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ РОДОВИЩ

Руслан Владимиров

*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, Харків, Україна, 61022
e-mail: postgraduate241991@gmail.com*

У статті досліджуються геологічні умови вуглеводневилучення на пізніх стадіях експлуатації газоконденсатних родовищ із використанням тривимірного комп'ютерного моделювання. Проведений огляд літературних джерел і наукових досягнень із тематики статті. Основна увага приділяється вивченню впливу зниження пластового тиску, зміни фазового складу, водовіддачі й інших геологічних чинників на видобуток вуглеводнів.

Розглядаються переваги тривимірного геологічного моделювання за допомогою платформи “Petrel” для оптимізації розробки вуглеводневих родовищ. Основна увага приділяється інтеграції різних типів даних, створенню детальних моделей резервуарів і реалізації результатів моделювання для планування буріння та видобутку.

На основі аналізу геологічних умов на пізніх стадіях експлуатації газоконденсатних родовищ наведені рекомендації щодо оптимізації процесу вуглеводневилучення. Пропонуємо впровадження новітніх технологій гідророзриву пласта, підвищення тиску за допомогою ін'єкції газу або води, а також застосування інгібіторів гідратів і водовіддачі.

Особливу увагу приділено дослідженню впливу геологічних чинників на ефективність вилучення вуглеводнів, оскільки це дозволяє збільшити кінцеві коефіцієнти вилучення в умовах виснаження ресурсів, що особливо актуально для України, яка стикається з дефіцитом вуглеводневої сировини.

Проведене дослідження вказує на важливість використання точних геофізичних методів, як-от гамма-каротаж, для створення надійних моделей вуглеводневих родовищ. Представлено графічну реалізацію методів нормалізації результатів гамма-каротажу для створення літолого-фаціальної моделі стратиграфічного комплексу у програмі “Petrel”. Отримані результати присвячені нормалізації даних, демонструють підвищену ефективність і точність прогнозування літології для майбутніх наукових відкриттів.

Ключові слова: вуглеводневилучення, оптимізація вилучення конденсату, газоконденсатні родовища, нормалізація геофізичних параметрів, гамма-каротаж, геологічне моделювання, Petrel, літолого-фаціальна модель.

Постановка проблеми. Газоконденсатні родовища (далі – ГКР) є джерелом вуглеводнів, які використовують в енергетичній, хімічній та інших галузях промисловості. Експлуатація ГКР проходить кілька стадій, і пізніші стадії потребують особливої уваги до геологічних умов, які можуть значно вплинути на ефективність видобутку. Розуміння цих умов і їхній вплив на процес вуглеводневилучення є критичними для забезпечення стабільного й економічно вигідного видобутку газу і конденсату та потребує залучення комп'ютерного моделювання [1; 5; 8].

Тривимірне геологічне моделювання є інструментом дослідження та розробки вуглеводневих родовищ. Petrel – це одна із провідних програмних платформ, яка використовується для створення тривимірних моделей підземних резервуарів. Ця платформа дозволяє об'єднати різні типи даних і забезпечити інтеграцію різних етапів моделювання, від сейсмічної інтерпретації до симуляційного видобутку.

У зв'язку з тим, що на пізніх стадіях використання газоконденсатних родовищ сприяє низку проблем, пов'язаних зі зниженням пластового тиску, зміною фазового складу добуваних вуглеводнів, зростанням водовіддачі й іншими чинниками, індивідуальний аналіз геологічних умов дозволяє деталізувати проблеми, що є ключовим для розроблення ефективних технологій вуглеводневилучення. Вивчення геологічних умов на пізніх стадіях передбачає зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та також підвищує загальну ефективність виробництва.

Оскільки комп'ютерне моделювання стало невід'ємною частиною процесу розвідки та розробки нафтових і газових родовищ, то застосування програмного комплексу "Petrel" дозволяє значно підвищити точність моделювання, зменшити ризики та витрати, пов'язані з бурінням і видобутком, а також оптимізувати експлуатацію родовищ. Це особливо важливо в умовах складних геологічних структур та на пізніх стадіях експлуатації родовищ [1].

Аналіз досліджень. У науковій літературі висвітлюється широкий спектр досліджень, присвячених вивченню геологічних умов використання ГКР. До пріоритетних напрямів дослідження можна віднести такі: вивчення впливу зниження пластичного тиску на фазовий стан газу і конденсату, що впливає на видобуток; розроблення методів підвищення видобутку газу завдяки впровадженню новітніх технологій гідророзривного пласта й інтенсифікації видобутку; аналіз впливу водовіддачі на продуктивність свердловин і пошук рішень щодо мінімізації цього впливу [6].

Отримані в цьому, досить актуальному, напрямі результати можна знайти у працях А.А. Askari, V. Bandle, G. Bashiri, G. Chen, V. Dantas, L.J. Guimaraes, F. Horowitz, M.R. Kamali, H. Zeng, B.C. Бондарчук, О.П. Варавіна, О.Р. Кондрат, С.В. Матківського, Я.О. Расвського, М.І. Фик та багатьох інших [2; 5; 7].

Наприклад, у працях С.В. Матківського отримані результати моделювання показали, що впровадження технології нагнітання вуглекислого газу є високоефективним для контролю процесу утворення продуктивних пластів і добування свердловин. Використання вторинних і третинних методів підвищення вилучення вуглеводнів за допомогою діоксиду вуглецю зменшує вплив на довкілля та підвищує ефективність розробки вже розвіданих запасів в умовах дефіциту вуглеводневої сировини в Україні [7].

Дослідження останніх років свідчать про ефективність використання Petrel у різних геологічних умовах, а саме для моделювання складних карбонатних резервуарів. Інші дослідження, як-от праці K. Li, A. Keganwa, C. Uchebuakor, показують, як тривимірне моделювання дозволяє оптимізувати розробку родовищ і підвищити видобуток вуглеводнів. Описані теоретичні дослідження для оптимізації вилучення конденсату з використанням удосконаленої технології (газовий цикл). Тобто передбачається залучення аналітичного підходу для оцінювання потенціалу різних виробничих технологій із різними швидкостями та тисками впорскування. У результаті отримана модель прогнозування вилучення конденсату інтегрує експериментальний план, склад колектора та характеристики рідини. Зазначимо, що саме параметричне дослідження дозволило визначити оптимальну схему, яка обіцяє максимальний видобуток конденсату [1].

Тому становить інтерес використання програмного комплексу "Petrel" для моделювання реальних геологічних об'єктів із підвищеною точністю, завдяки нормалізації геологічних параметрів.

Мета. Дослідити геологічні умови вуглеводневилучення на пізніх стадіях експлуатації газоконденсатних родовищ із залученням методів тривимірного комп'ютерного моделювання та впровадження підходів нормалізації геофізичних параметрів.

Виклад основного матеріалу. Під час завершальних стадій розробки вуглеводневих родовищ важливо враховувати вплив геологічних чинників для забезпечення максимальної ефективності вилучення ресурсів. Розуміння цих чинників допомагає оптимізувати процес видобутку та зменшити екологічні ризики.

На пізніх стадіях за використання ГКР часто спостерігається значне зниження пластичного тиску, яке призводить до зміни фазового стану вуглеводнів. Це може призвести до утворення конденсатної фази, яка ускладнює видобуток. Для вирішення цієї проблеми застосовуються різні методи, як-от підвищення тиску за допомогою ін'єкції газу або води, а також використання гідророзривної пластмаси для покращення проникнення [3; 4].

Якщо говорити про ефективність виробництва загалом, то зміна фазового складу виготовлених вуглеводнів є вагомим чинником впливу. Водночас зниження температури або тиску може призвести до конденсації газу, що ускладнює його видобуток. Для запобігання цьому використовують різні технології, як-от підтримка оптимальних температурних і тискових умов, а також застосування інгібіторів гідратів.

Окрім цього, зростання водовіддачі на пізніх стадіях експлуатації є однією з головних проблем, з якою стикаються видобувні компанії. Вода, що надходить у свердловини, може зменшити продуктивність видобутку та призвести до корозії обладнання. Для мінімізації впливу водовіддачі застосовують такі методи, як відокремлення води на поверхні, використання водовіддачних інгібіторів і герметизація пластів.

Подальше дослідження геологічних умов вуглеводневилучення на пізніх стадіях експлуатації газоконденсатних родовищ полягає в залученні комбінованих підходів для корекції та стандартизації геофізичних параметрів, отриманих із різних джерел і методів дослідження, з метою підвищення точності й узгодженості моделей.

Запропонована авторська методика, яка передбачає застосування програмного комплексу “Petrel”, що забезпечує інтеграцію геофізичних даних, як-от результати гамма-каротажу (далі – GR) і сейсмічної інверсії (далі – SI), для створення високоточних моделей. Також беруться до уваги варіації природної радіоактивності залежно від літологічних особливостей порід, що дозволяє більш точно визначати границі та характеристики стратиграфічних комплексів.

Використання модулів Petrel для структурного моделювання (Structural Modeling) і петрофізичного аналізу (Petrophysical Analysis) сприяє підвищенню точності інтерпретацій і прогнозів завдяки нормалізації ключових параметрів дослідження. Як приклад розглянемо візуалізацію графічних даних гамма-каротажу на рис. 1, де ліва частина характеризується значною розбіжністю кривих, тоді як права частина ілюструє значну нормалізацію геологічних даних.

Під час побудови літолого-фаціальних моделей у програмі “Petrel” відбувається точний аналіз і нормалізація даних гамма-каротажу для правильного відображення стратиграфічних комплексів. Для цього в модулі Structural Modeling створюється структурна модель з урахуванням розломів і глибин пластів. Літологічне та фаціальне моделювання виконуються в Lithology Modeling і Facies Modeling, де визначаються та розподіляються типи порід і фації. Наприкінці за допомогою модулів Petrophysical Modeling і Reservoir Simulation моделюються петрофізичні властивості та гідродинаміка пласта з метою оптимізації розробки родовища.

Узагальнимо основні етапи нормалізації результатів гамма-каротажу для створення літолого-фаціальної моделі стратиграфічного комплексу у програмі “Petrel” у Таблиці 1.

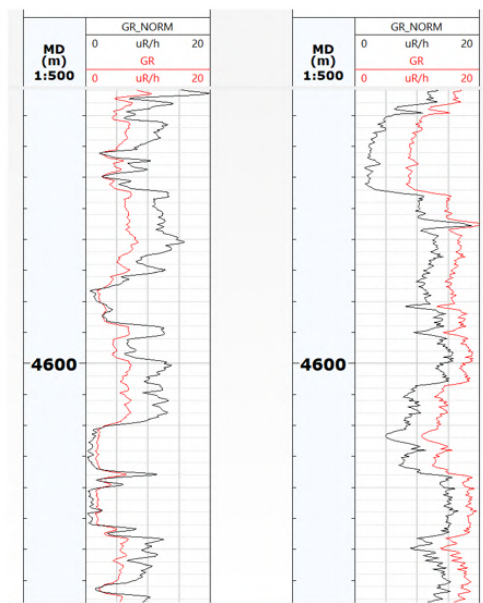


Рис. 1. Порівняльний аналіз для кривих гамма-каротажу

Таблиця 1

Основні етапи нормалізації результатів гамма-каротажу для створення літолого-фаціальної моделі стратиграфічного комплексу у програмі “Petrel”

Назва етапу	Опис
Нормалізація даних гамма-каротажу	– використання програмних інструментів для очищення та нормалізації даних гамма-каротажу; – застосування алгоритмів для корекції впливу чинників, що спотворюють дані.
Побудова літолого-фаціальної моделі	– інтеграція нормалізованих даних у програму “Petrel”; – використання нормалізованих даних для підвищення точності фаціальної інтерпретації; – аналіз і візуалізація стратиграфічних комплексів з урахуванням нормалізованих даних.
Оптимізація геологічного моделювання	– використання нормалізованих даних для покращення моделювання літологічних зон; – підвищення точності прогнозування розподілу вуглеводневих ресурсів.

Запропоновані методи оптимізації досліджень, з використанням нормалізації результатів гамма-каротажу, є критично важливим чинником для подальшої побудови достовірних моделей, що дозволяє оптимізувати видобуток ресурсів і покращити розуміння геологічної структури родовища.

Отже, використання Petrel для тривимірного геологічного моделювання дозволяє значно підвищити точність прогнозів щодо поведінки резервуара, знизити ризики та витрати, пов'язані з розробкою родовищ, оптимізувати процес видобутку. Інтеграція різних типів даних і створення детальних моделей резервуарів забезпечують більш точне розуміння геологічних умов і їхнього впливу на видобуток.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У статті досліджується аналіз геологічних умов на пізніх стадіях використання газоконденсатних родовищ, що є ключовим для забезпечення ефективного видобутку вуглеводнів. Оскільки зниження пластового тиску, зміна фазового складу та водовіддача можуть значно вплинути на продуктивність свердловини.

Науково аргументована думка, що впровадження сучасних технологій і методів дозволяє мінімізувати негативний вплив цих чинників і забезпечити стабільний і економічно вигідний видобуток газу та конденсату. Наприклад, застосування діоксиду вуглецю в нафтогазовій промисловості дозволяє суттєво знизити витрати на модернізацію енергоємних підприємств і підвищити кінцеві коефіцієнти залучення вуглеводнів із виснажених родовищ, що особливо важливо в умовах гострого дефіциту вуглеводневої сировини в Україні.

Зосереджується увага на актуальності використання тривимірного геологічного моделювання за допомогою платформи “Petrel”, яка є потужним інструментом для оптимізації розвідки та розробки вуглеводневих родовищ. Вказаний програмний комплекс дозволяє інтегрувати різні типи даних, створювати детальні моделі резервуарів і розробляти ефективні стратегії буріння та видобутку. Окрім цього, використання Petrel запобігає ризикам і витратам, пов’язаним із розробленням родовищ, та забезпечує стабільний і економічно вигідний видобуток вуглеводнів.

У роботі розглянуто та проілюстровано на прикладі використання методів нормалізації результатів гамма-каротажу для створення літолого-фаціальної моделі стратиграфічного комплексу у програмі “Petrel”.

Встановлено, що нормалізація результатів гамма-каротажу значно підвищує точність створення літолого-фаціальних моделей у програмі “Petrel”. Це дозволяє краще розуміти геологічну структуру родовищ і ефективніше планувати видобуток вуглеводнів. Використання нормалізованих даних у Petrel сприяє підвищенню надійності геологічного моделювання й оптимізації розробки родовищ для подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kerunwa A., Uchebuako C. Optimization of condensate recovery using gas recycling technique. *Petroleum & Coal*. 2020. № 57 (5). P. 565–572.
2. Impact of gas hydrates and long-term operation on fatigue characteristics of pipeline steels / L. Poberezhny et al. *Paper presented at the Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. P. 356–362. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.386>.
3. Enhanced Gas Recovery: Effect of Reservoir Heterogeneity on Gas-Gas Displacement / A.T. Turta et al. *Canadian International Petroleum Conference*, 16–18 June 2019, Calgary, Alberta. Calgary, 2019. P. 14. <https://doi.org/10.2118/2009-023>.
4. Напрями вирішення проблем розробки виснажених родовищ нафти і газу / В.М. Дорошенко та ін. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2007. № 4. С. 108–110.
5. Крупський Ю.З. Проблеми геологічної будови і перспективи пошуку вуглеводнів у Західному нафтогазоносному регіоні України. *Геологічний журнал*. 2018. № 2 (363). С. 5–13.
6. Кудря С.А. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні. *Вісник Національної академії наук України*. 2015. № 12. С. 19–26.
7. Матківський С.В. Дослідження ефективності витіснення защемленого газу неуглеводневими газами з обводнених газоконденсатних покладів. *Нафтогазова енергетика*. 2020. № 2 (34). С. 26–33. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-2\(34\)-26-33](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-2(34)-26-33).
8. Фик І.М. Розробка та експлуатація нафтових та нафтогазових родовищ. Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків, 2019. 149 с. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/64782>.

REFERENCES

1. Kerunwa, A., Uchebuako, C. (2020). Optimization of condensate recovery using gas recycling technique. *Petroleum & Coal*. 57 (5). P. 565–572.
2. Poberezhny, L., Maruschak, P., Hrytsanchuk, A., Poberezhna, L., Prentkovskis, O., Stannetsky, A. (2017). Impact of gas hydrates and long-term operation on fatigue characteristics of pipeline steels. Paper presented at the *Procedia Engineering*. Vol. 187. P. 356–362. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.386>.
3. Turta, A.T., Sim, S.S.K., Singhal, A.K., Hawkins, B.F. (2019). Enhanced Gas Recovery: Effect of Reservoir Heterogeneity on Gas-Gas Displacement. *Canadian International Petroleum Conference*, 16–18 June 2019, Calgary, Alberta. Calgary. R. 14. <https://doi.org/10.2118/2009-023>.
4. Doroshenko, V.M., Yeher, D.O., Zarubin, Yu.O., Kondrat, R.M. (2017). Napriamky vyrishennia problem rozrobky vysnazhenykh rodovyshch nafty i hazu [Directions for solving the problems of developing depleted oil and gas fields]. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, № 4. S. 108–110 [in Ukrainian].
5. Krupskiy, Yu.Z. (2018). Problemy heolohichnoi budovy i perspektyvy poshuku vuhlevodniv u Zakhidnomu naftohazonosnomu rehioni Ukrainy [Problems of the geological structure and prospects for the search for hydrocarbons in the Western oil and gas region of Ukraine]. *Heolohichniy zhurnal*, № 2 (363). S. 5–13 [in Ukrainian].
6. Kudria, S.A. (2015). Stan ta perspektyvy rozvytku vidnovliuvanoi enerhetyky v Ukraini [The state and prospects for the development of renewable energy in Ukraine]. *Visnyk NAN Ukrainy*, № 12. S. 19–26 [in Ukrainian].
7. Matkivskiy, S.V. (2020). Doslidzhennia efektyvnosti vytisnennia zashchemlenoho hazu nevuhlevodnevyimy hazamy z obvodnennykh hazokondensatnykh pokladiv [Research on the efficiency of displacement of trapped gas by non-hydrocarbon gases from watered gas condensate deposits]. *Naftohazova enerhetyka*, № 2 (34). S. 26–33. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-2\(34\)-26-33](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-2(34)-26-33) [in Ukrainian].
8. Fyk, I.M. (2019). Rozrobka ta ekspluatatsiia naftovykh ta naftohazovykh rodovyshch [Development and exploitation of oil and gas deposits]. *Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekhn. in-t"*. Elektron. tekst. dani. Kharkiv. 149 s. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/64782> [in Ukrainian].

ANALYSIS OF GEOLOGICAL CONDITIONS OF HYDROCARBON EXTRACTION AT THE LATE STAGES OF EXPLOITATION OF GAS CONDENSATE DEPOSITS

Ruslan Vladimirov

*V.N. Karazin Kharkiv National University,
maidan Svobody, 4, Kharkiv, Ukraine, 61022
e-mail: postgraduate241991@gmail.com*

The article examines the geological conditions of hydrocarbon extraction at the later stages of exploitation of gas condensate fields using three-dimensional computer modeling. A review of literary sources and scientific achievements on the topic of the article was conducted. The main attention is paid to the study of the impact of a decrease in formation pressure, a change in the phase composition, water yield and other geological factors on the extraction of hydrocarbons.

The benefits of 3D geological modeling using the Petrel platform for optimizing the development of hydrocarbon fields are discussed. The focus is on integrating different types of data, creating detailed reservoir models, and implementing simulation results for drilling and production planning.

Based on the analysis of geological conditions at the later stages of operation of gas condensate fields, recommendations are given for optimizing the process of hydrocarbon extraction. as such, we offer the introduction of the latest hydraulic fracturing technologies, increasing pressure with the help of gas or water injection, as well as the use of hydrate and water release inhibitors.

Special attention is paid to the study of the influence of geological factors on the efficiency of hydrocarbon extraction, as it allows to increase the final coefficients of extraction in conditions of resource depletion, which is especially relevant for Ukraine, which is faced with a shortage of hydrocarbon raw materials.

The conducted research indicates the importance of using accurate geophysical methods, such as gamma logging, to create reliable models of hydrocarbon deposits. A graphical implementation of the methods of normalizing the results of gamma logging to create a litho-facies model of the stratigraphic complex in the Petrel program is presented. The obtained results are dedicated to data normalization, demonstrate increased efficiency and accuracy of lithology forecasting for further scientific discoveries.

Key words: hydrocarbon extraction, optimization of condensate extraction, gas condensate deposits, normalization of geophysical parameters, gamma logging, geological modeling, Petrel, lithologic-facies model.