

**ОЦІНКА СТАНУ ПРИВИБІЙНОЇ ЗОНИ ПЛАСТА СВЕРДЛОВИН
БОГОРОДЧАНСЬКОГО ПІДЗЕМНОГО СХОВИЩА ГАЗУ ЗА ДАНИМИ
ГАЗОДИНАМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА УСТАЛЕНИХ РЕЖИМАХ
ФІЛЬТРАЦІЇ**

О.М. Зазуляк¹, В.Б. Рушчак²

¹Дочірнє підприємство «Науково-дослідний інститут нафтогазової промисловості»
Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України»,
Вишневе, Київська область, Україна, E-mail: zazulyak1@gmail.com
Провідний інженер

²ГПУ «Львівгазвидобування» АТ «Укргазвидобування»,
Львів, Україна, E-mail: ruschark@gmail.com
Начальник сектора

Запропоновано спосіб оцінки стану привибійної зони пласта (ПЗП) газових свердловин за результатами інтерпретації газодинамічних досліджень на усталених режимах фільтрації (на прикладі горизонту IV Богородчанського підземного сховищу газу (ПСГ)).

Результати проведеної роботи дають можливість виділити об'єкти, на яких доцільно застосовувати методи інтенсифікації видобутку вуглеводнів та оцінювати ефективність проведених робіт без зупинення свердловин для реєстрації кривої відновлення вибійного тиску.

Ключові слова: свердловина, газодинамічні дослідження, коефіцієнт продуктивності

**STATE EVALUATION OF THE BOTTOMHOLE FORMATION ZONE OF
THE BOGORODCHAN UNDERGROUND GAS STORAGE WELLS
ACCORDING TO DATA OF GAS-DYNAMIC WELL TESTS ON THE
STEADY-STATE FILTRATION MODE**

Oleg Zazuliak¹, Vasyl Rushchak²

¹Scientific Research «Institute of Oil and Gas Industry» of National Joint-Stock Company
«Naftogaz of Ukraine»
Vyshneve, Kyiv region, Ukraine, E-mail: zazulyak1@gmail.com
Lead Engineer

²Branch «Lvivgasvydobuvannya» JSC «Ukrgasvydobuvannya»,
Lviv, Ukraine, E-mail: ruschark@gmail.com
Head of department

A method for estimating the condition of the bottomhole zone of a gas well formation based on the results of interpretation of gas-dynamic well tests on the steady-state filtration conditions (on the example of horizon IV of the Bohorodchany UGS) is proposed.



When planning activities to intensify hydrocarbon production, it is important to know the current and maximum capabilities of the formation at the point of its opening by the well. The indicators that characterize the relationship between current and potential opportunities include: skin effect, performance ratio, well perfection rate and the like. The values of these parameters are determined by the results of processing the pressure recovery curves

For UGS wells, gas-dynamic studies on unsteady filtration regime with registration of bottomhole pressure change over time are not performed, so there are difficulties in determining the estimated parameters of the bottomhole zone and the effectiveness of geological and technical measures for each well.

A method for determining the maximum productivity of gas wells on the example of horizon IV of the Bohorodchany UGS using the coefficient C, taking into account the productivity in the Rawlins equation, is proposed.

According to the results of the comparative analysis of productivity coefficients with the specific volume of the formation, it is established that there is a fairly good correlation between these parameters. This confirmed the assumption that the productivity factor reflects the filtration characteristics of the formation.

The condition of the bottomhole formation zone is estimated by the coefficient of productivity ratios (current to maximum). The decrease in the current productivity ratio below the maximum is due to a decrease in the permeability of the formation in the bottomhole area in the absence of a blockage at the bottom or a column of liquid.

The results of this work allow us to identify facilities where it is advisable to apply methods of intensification of hydrocarbon production and evaluate the effectiveness of work without stopping wells to register the bottomhole pressure recovery curve.

Key words: well, gas-dynamic well test, productivity ratio

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА СКВАЖИН БОГОРОДЧАНСКОГО ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА ПО ДАНЫМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ ФИЛЬТРАЦИИ

О.М. Зазуляк¹, В.Б. Рушак²

*¹Дочернее предприятие «Научно-исследовательский институт нефтегазовой промышленности» Национальной акционерной компании «Нафтогаз Украины»,
Вишнёвое, Киевская область, Украина, E-mail: zazulyak1@gmail.com
Ведущий инженер*

*² ГПУ «Львовгаздобыча» АО «Укргаздобыча»,
Львов, Украина, E-mail: ruschark@gmail.com
Начальник сектора*

Предложен способ оценки состояния призабойной зоны пласта (ПЗП) газовых скважин по результатам интерпретации газодинамических исследований на установившихся режимах фильтрации (на примере горизонта IV Богородчанского подземного хранилища газа (ПХГ)).

Результаты проведенной работы позволяют выделить объекты, на которых целесообразно применять методы интенсификации добычи углеводородов и оценивать эффективность проводимых работ без остановки скважин для регистрации кривой восстановления забойного давления.

Ключевые слова: скважина, газодинамические исследования, коэффициент продуктивности

Проблеми та перспективи нафтогазової промисловості. 2020. Випуск 4



Вступ

Для багатьох газових свердловин ПСГ газодинамічні дослідження на неусталеному режимі фільтрації з реєстрацією зміни вибійного тиску в часі, як правило, не проводять. Тому виникають труднощі з визначенням оціночних параметрів стану ПЗП та ефективності від проведення геолого-технічних заходів по кожній конкретній свердловині.

Подібна ситуація характерна і для свердловин Богородчанського ПСГ, газодинамічні дослідження в яких проводились тільки на усталених режимах фільтрації пластового флюїду в режимі видобування.

Богородчанське газове родовище розташоване в Богородчанському районі Івано-Франківської області на відстані 5 км від смт. Богородчани та приурочене до Богородчанського підняття, яке являє собою брахіантиклінальну складку північно-західного простягання. Розміри північно-західного блоку складки 1,3-1,5 км.

Промислова газоносність Богородчанського родовища пов'язана з відкладами косівської світи баденського ярусу міоцену. Видобуток газу на родовищі розпочався у 1969 р. Усі виявлені поклади розроблялись як самостійні експлуатаційні об'єкти. Основний поклад, пов'язаний із південно-східним блоком родовища, розроблявся до березня 1977 р., а в подальшому був переведений в режим підземного сховища. Залишкові запаси цього блоку (1120 млн м³) є активним об'ємом Богородчанського підземного сховища газу.

Матеріал та методика дослідження

Методи досліджень свердловин ПСГ в сутності не відрізняються від методів досліджень свердловин газових родовищ. При плануванні заходів з інтенсифікації видобутку вуглеводнів важливою інформацією є знання поточних і максимальних можливостей пласта в точці розкриття його свердловиною. До показників, що характеризують взаємозв'язок між поточними і потенційними



можливостями відносяться: скін-ефект, коефіцієнт відношення продуктивності, коефіцієнт досконалості свердловини тощо. Значення цих параметрів визначають за результатами обробки кривих відновлення тиску (Amanat, 2003, 2004; Гриценко, Алиев, Ермилов, Ремизов, Зотов, 1995; Инструкция ..., 1980; Коротаев, 1984).

Основні результати дослідження

Запропоновано спосіб оцінки максимальної продуктивності газових свердловин горизонту IV Богородчанського ПСГ з використанням рівняння Роулінса (Fetkovich, 1975; Rawlins, Schellhardt, 1936; Роулинс, Шелхард, 1947):

$$Q_{\Gamma} = C \cdot (P_{\text{пл}}^2 - P_{\text{в}}^2)^n, \quad (1)$$

де Q_{Γ} – дебіт газу, тис. м³/д;

C – коефіцієнт, що враховує продуктивність по Роулінсу;

$P_{\text{пл}}, P_{\text{в}}$ – пластовий і вибійний тиски відповідно, МПа;

n – показник ступеня, який відповідає нахилу прямої, що характеризує залежність між Q_{Γ} і $P_{\text{пл}}^2 - P_{\text{в}}^2$ в логарифмічних координатах, знаходиться в межах від 0,5 до 1.

Значення коефіцієнту (C) в степеневому рівнянні Роулінса можна розрахувати за відомими коефіцієнтами фільтраційних опорів A і B квадратичного рівняння газової свердловини ($P_{\text{пл}}^2 - P_{\text{в}}^2 = A \cdot Q_{\Gamma} + B \cdot Q_{\Gamma}^2$) за формулою Корнельсона (Amanat, 2003):

$$C = \frac{Q_{\Gamma, \text{сер}}}{\frac{A + B \cdot Q_{\Gamma, \text{сер}}}{\left(A \cdot Q_{\Gamma, \text{сер}} + B \cdot Q_{\Gamma, \text{сер}}^2 \right)^{A + 2 \cdot B \cdot Q_{\Gamma, \text{сер}}}}}, \quad (2)$$



де $Q_{г.сер}$ – середнє геометричне значення мінімального і максимального дебіту газової свердловини ПСГ при дослідженні, тис. м³/д.

Для оцінки стану ПЗП визначають коефіцієнти відношення продуктивності:

$$C_{пр1} = \frac{C_{пот}}{C_{max}}, \quad (3)$$

$$C_{пр2} = \frac{C_{пот}}{C_{гран}}, \quad (4)$$

де $C_{пот}$, C_{max} , $C_{гран}$ – поточний, максимальний та граничний коефіцієнти, що враховують продуктивність по Роулінсу відповідно.

Послідовність визначення максимальних та граничних коефіцієнтів продуктивності газових свердловин Богородчанського ПСГ така:

- проводять розрахунок значень питомої ємності пласта ($h_{ef} \cdot m$) у 155 свердловинах за даними геофізичних досліджень (табл.1);
- визначають поточні коефіцієнти продуктивності свердловин за результатами інтерпретації даних 479 газодинамічних досліджень на усталених режимах фільтрації за методом Роулінса (табл. 1);
- проводять співставлення значень продуктивності свердловин за методом Роулінса зі значеннями питомої ємності пласта (рис. 1);
- проводять лінії максимальної та граничної продуктивності, які є середньоарифметичними лініями відповідно між максимальними та середніми коефіцієнтами продуктивностей (рис. 1);
- встановлюють функціональну залежність максимальних та граничних коефіцієнтів продуктивності свердловин від питомої ємності горизонту IV Богородчанського ПСГ (рис. 1).



Таблиця 1. Приклад розрахунку оціночних параметрів стану ПЗП газових свердловин №№ 113, 114, 115 горизонту IV Богородчанського ПСГ за даними досліджень на ustalених режимах фільтрації

Table 1. Example of calculating the estimated parameters of the state of the ROM of gas wells 113, 114, 115 of horizon IV of the Bogorodchansky UGS according to studies on established filtration modes

Номер свердловин	Дата	Рпл, МПа	h _{еф} , м	m, част. од	h _{еф} ·m, м	Коефіцієнт продуктивності по Роулінсу			C _{пр1}	C _{пр2}	Примітка
						C _{пот}	C _{max}	C _{гран}			
113	12.12.2014	8,65	26,6	0,127	3,378	18,57	87,59	35,27	0,21	0,53	Продуктивність знижена
	05.01.2016	8,09				19,08					0,22
114	15.12.2014	8,39	18,4	0,182	3,349	37,26	87,34	35,14	0,86	1,06	Стан ПЗП задовільний
	15.03.2016	6,71				50,38					0,43
115	15.12.2014	8,43	22,8	0,170	3,878	20,69	91,87	37,49	0,23	0,55	Продуктивність знижена
	15.03.2016	6,74				36,90					0,35

Максимальний коефіцієнт продуктивності C_{max}

$$C_{\max} = e^{\left(0,0955 \cdot h_{\text{еф}} \cdot m + 4,14\right)} \quad (5)$$

Граничний коефіцієнт продуктивності C_{гран}

$$C_{\text{гран}} = e^{\left(0,1222 \cdot h_{\text{еф}} \cdot m + 3,15\right)} \quad (6)$$

де h_{еф} – ефективна товщина пласта, м;

m – коефіцієнт пористості, част. од.

– порівнюють поточні коефіцієнти продуктивності свердловин з їхніми максимальними і граничними значеннями, отриманими за розрахунковими формулами (5) і (6);

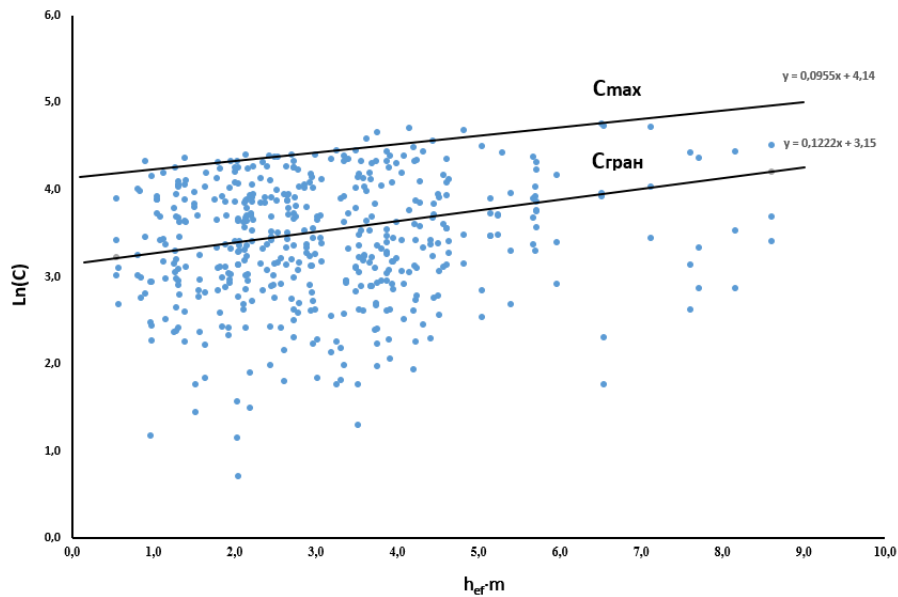


Рисунок 1. Залежність коефіцієнтів продуктивності свердловин від питомої ємності горизонту IV Богородчанського ПСГ, де C – коефіцієнт, що враховує продуктивність по Роулінсу; C_{\max} , $C_{\text{гран}}$ – максимальний та граничний коефіцієнти, що враховують продуктивність по Роулінсу відповідно; h_{ef} – ефективна товщина пласта, м; m – коефіцієнт пористості, част. од.

Figure 1. Dependence of well productivity coefficients on the specific capacity of horizon IV of the Bogorodchansky UGS; C – coefficient taking into account Rawlins productivity; C_{\max} , $C_{\text{гран}}$ – maximum and limit coefficients, taking into account Rawlins productivity, respectively; h_{ef} – effective layer thickness, m; m – porosity coefficient, part. unit.

– виділяють свердловини з низькими коефіцієнтами продуктивності, в навколостовбурній зоні яких погіршені фільтраційні властивості пласта (знижений потенціал свердловини за продуктивністю):

- $C_{\max} > C_{\text{пот}} \geq C_{\text{гран}}$ – стан ПЗП задовільний;

- $C_{\text{пот}} < C_{\text{гран}}$ – стан ПЗП незадовільний, погіршені фільтраційні властивості пласта.

За результатами проведеного порівняльного аналізу коефіцієнтів продуктивності з питомою ємністю пласта встановлено, що між зазначеними параметрами існує досить добрий кореляційний зв'язок. Це підтвердило припущення про те, що коефіцієнт продуктивності відображає фільтраційні характеристики пласта.



Зниження поточного коефіцієнту продуктивності нижче граничного обумовлено зменшенням проникності пласта в навколостовбурній зоні при відсутності на вибої закупорки або стовпа рідини.

Виділяємо свердловини, в яких продуктивність нижча за граничну (у дужках показано у скільки разів поточна продуктивність нижча за граничну) №№ 60 (3,9), 63 (3,1), 68 (2,7), 95 (2,5), 112 (3,7), 113 (1,9), 116 (2,9), 118 (6,1), 122 (2,8), 127 (5,2), 141 (3,5), 143 (4,6), 149 (2,4), 153 (2,8), 158 (2,6), 164 (3,3), 174 (6,2), 176 (2,9), 178 (2,7), 180 (2,6), 181 (2,5). Ці свердловини і є кандидатами для планування та проведення геолого-технічних заходів після уточнення ефективної потужності пласта та проведення додаткових гідродинамічних досліджень.

Висновки

Результати проведеної роботи дають можливість виділити об'єкти, на яких доцільно застосовувати методи інтенсифікації видобутку вуглеводнів та оцінювати ефективність проведених робіт без зупинення свердловин для реєстрації кривої відновлення вибійного тиску.

Список літератури

1. Гриценко А.И., Алиев З.С., Ермилов О.М., Ремизов В.В., Зотов Г.А. Руководство по исследованию скважин. – М.: Наука, 1995. – 523 с.
2. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин / Под ред. Г.А. Зотова, З.С. Алиева. – М.: Недра, 1980. – 301 с.
3. Коротаев Ю.П., Ширковский А.И. Добыча, транспорт и подземное хранение газа. – М.: Недра, 1984. – 487 с.
4. Amanat U. Chaudhry. Gas Well Testing Handbook. – Inc. Houston, Texas, 2003. – 867 p.
5. Amanat U. Chaudhry. Oil Well Testing Handbook. – Inc. Houston, Texas, 2004. – 702 p.
6. Роулинс Е.Л., Шелхард М.А. Испытание газовых скважин. – М.: Гостоптехиздат, 1947. – 208 с.
7. Fetkovich, M.J. «Multi-point Testing of Gas Wells,» Continuing Education Course, SPE Mid-Continent Section, March 17, 1975.
8. Rawlins, E.L., and M.A. Schellhardt. «Back-Pressure Data on Natural Gas Wells and their Application To Production Practices» *Monograph 7. USBM*, 1936.

References

1. Gritsenko A.I., Aliyev Z.S., Ermilov O.M., Remizov V.V., Zotov G.A. 1995. Well Research Guide. M. Science. 523 p.
2. Instruction for a comprehensive study of gas and gas condensate reservoirs and wells. 1980. Ed. G.A. Zotova, Z.S. Aliyeva. M. *Nedra*. 301 p.



3. Korotaev Yu.P., Shirkovsky A.I. Gas production, transportation and underground storage. 1984. M. Nedra. 487 p.
4. Amanat U. Chaudhry. 2003. Gas Well Testing Handbook. Inc. Houston. Texas. 867 p.
5. Amanat U. Chaudhry. 2004. Oil Well Testing Handbook. Inc. Houston. Texas. 702 p.
6. Rawlins E.L. and Schellhardt M.A. 1936. «Back-Pressure Data on Natural Gas Wells and their Application to Production Practices». *Monograph 7. USBM.*
7. Fetkovich, M.J. 1975. «Multi-point Testing of Gas Wells» Continuing Education Course SPE Mid-Continent Section. March 17.
8. Rawlins E.L., Shelhard M.A. 1947. Testing gas wells. M. Gostoptekhizdat. 208 p.

Стаття надійшла 30.06.20