

ГАЗОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ ДРЕНАЖНОЙ ЗОНЫ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

GAS-HYDRODYNAMIC EQUATION OF OIL AND GAS WELL DRAINAGE ZONE

Т. Г. Гурбанова
Turkan H. Gurbanova

Научно-исследовательский институт «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химии», г. Баку, Азербайджанская Республика

Scientific Research Institute «Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry», Baku, Republic of Azerbaijan

Статья посвящена получению газогидродинамического уравнения дренажной зоны нефтегазовых скважин на основе результатов исследования скважин, а именно, на основе данных исследования дренажной зоны нефтегазовых скважин в трех режимах. Получено газогидродинамическое уравнение дренажной зоны нефтегазовых скважин, приемлемое для всех способов эксплуатации. Показано, что на основе газогидродинамического уравнения можно определить потенциальный дебит, пластовое давления и характер притока в скважину. Получены безразмерные параметры газогидродинамического уравнения с целью анализа процессов, происходящих в дренажной зоне скважины.

The article is devoted to obtaining the gas-hydrodynamic equation of oil and gas well drainage zone on the basis of the results of well surveys, namely, on the basis of study data of oil and gas well drainage zone in three modes.

The gas-hydrodynamic equation of oil and gas well drainage zone acceptable for all operation modes is obtained.

It is shown that based on the gas-hydrodynamic equation, one can determine the potential flow rate, reservoir pressure and the nature of the inflow into the well.

The dimensionless parameters of the gas-hydrodynamic equation for analyzing the processes occurring in well drainage zone are obtained

По результатам многочисленных экспериментов в реальных насосных скважинах получены результаты, представленные на рисунке 1.

Кривые $Q_{ж}$ и P (рисунок 1) в зависимости от V_r описываются полиномами второго порядка:

$$Q_{ж} = aV^2 + bV + c, \tag{1}$$

$$P = a_1V^2 + b_1V + c_1, \tag{2}$$

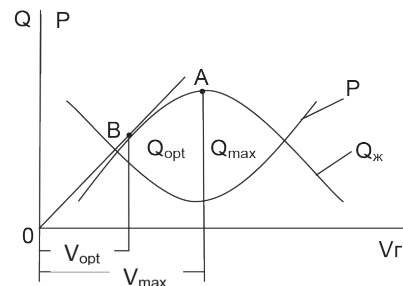
где $Q_{ж}$, $V = V_r$ дебит жидкости и дебит газа; P — давление в дренажной зоне;

Ключевые слова

газогидродинамическое уравнение; дренажная зона; безразмерные параметры нефти и газа; исследование в трех режимах; полиномы; дебит пластового газа; давление пластового газа; потенциальный дебит; пластовое давление

Key words

gas-hydrodynamic equation; drainage zone; dimensionless parameters of oil and gas; research in three modes; polynomials; formation gas flow rate; reservoir gas pressure; potential flow rate; reservoir pressure



A — максимальный режим работы; B — оптимальный режим работы; наилучшие режимы работы: B и A, а также между A и B

Рисунок 1. Максимальный и оптимальный режимы работы

коэффициенты a, b, c и a_1, b_1, c_1 — постоянные физические величины и определяются по результатам данных исследования скважин, для их определения получены формулы, приведенные в [1].

С использованием этих формул уравнения (1) и (2) становятся очень удобным в применении.

Получено газогидродинамическое уравнение дренажной зоны нефтегазовых скважин, приемлемое для всех способов эксплуатации, на основе зависимостей (1) и (2) между дебитом, давлением дренажной зоны в отдельности и пластовым газом в следующем виде:

$$Q = \frac{b_1^2 \left(\frac{a}{a_1} - \frac{b}{b_1} \right)}{2a_1} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4a_1}{b_1^2} (c_1 - P)} \right] - \frac{a}{a_1} (c_1 - P) + c, \quad (3)$$

$$P = \frac{b^2}{2a} \left(\frac{a_1}{a} - \frac{b_1}{b} \right) \sqrt{1 - \frac{4a}{b^2} (c - Q)} - \frac{a}{a_1} (c - Q) + c_1. \quad (4)$$

Из сравнения (3) и (4) следует, что их структуры подобны, отличаются расположением постоянных коэффициентов и величин Q и P , т.е. из уравнения (3) можно получить (4), и наоборот [2–4].

Статья посвящена получению уравнения (3) на основе данных исследования дренажной зоны нефтегазовых скважин в трех режимах: (Q_1, V_1, P_1) ; (Q_2, V_2, P_2) ; (Q_3, V_3, P_3) .

Для постоянных коэффициентов полиномов получены следующие зависимости [1, 5–10]:

— постоянные коэффициенты полинома $Q = aV^2 + bV + c$ будут:

$$a = \frac{(Q_3 - Q_1)(V_2 - V_1) - (Q_2 - Q_1)(V_3 - V_1)}{(V_3 - V_1)(V_2 - V_1) - (V_3 - V_2)},$$

$$b = \frac{(Q_2 - Q_1)(V_3^2 - V_1^2) - (Q_3 - Q_1)(V_2^2 - V_1^2)}{(V_3 - V_2)(V_3 - V_1)(V_2 - V_1)}, \quad (5)$$

$$c = Q_1 + \frac{V_2(Q_3 - Q_1)(V_2 - V_1) - V_3(Q_2 - Q_1)(V_3 - V_1)}{(V_3 - V_2)(V_3 - V_1) - (V_2 - V_1)} \cdot V_1;$$

— постоянные коэффициенты полинома $P = a_1V^2 + b_1V + c_1$ будут:

$$a_1 = \frac{(P_3 - P_1)(V_2 - V_1) - (P_2 - P_1)(V_3 - V_1)}{(V_3 - V_1)(V_2 - V_1)(V_3 - V_1)},$$

$$b_1 = \frac{(P_2 - P_1)(V_3^2 - V_1^2) - (P_3 - P_1)(V_2^2 - V_1^2)}{(V_2 - V_1)(V_3 - V_2)(V_3 - V_1)} V_1, \quad (6)$$

$$c_1 = P_1 + \frac{(P_3 - P_1)(V_2 - V_1)V_2 - (P_2 - P_1)(V_3 - V_1)V_3}{(V_3 - V_1)(V_2 - V_1)(V_3 - V_1)} V_1.$$

С использованием зависимостей (5) и (6) найдем некоторые параметры зависимости (3):

$$\frac{a}{a_1} = \frac{(Q_3 - Q_1)(V_2 - V_1) - (Q_2 - Q_1)(V_3 - V_1)}{(P_3 - P_1)(V_2 - V_1) - (P_2 - P_1)(V_3 - V_1)}; \quad (7)$$

$$\frac{b}{b_1} = \frac{(Q_2 - Q_1)(V_3^2 - V_1^2) - (Q_3 - Q_1)(V_2^2 - V_1^2)}{(P_2 - P_1)(V_3^2 - V_1^2) - (P_3 - P_1)(V_2^2 - V_1^2)}; \quad (8)$$

$$\frac{b_1}{a_1} = \frac{(P_2 - P_1)(V_3^2 - V_1^2) - (P_3 - P_1)(V_2^2 - V_1^2)}{(P_3 - P_1)(V_2 - V_1) - (P_2 - P_1)(V_3 - V_1)}; \quad (9)$$

$$\frac{a/b}{a_1/b_1} = \frac{(Q_3 - Q_1)(V_2 - V_1) - (Q_2 - Q_1)(V_3 - V_1)}{(P_3 - P_1)(V_2 - V_1) - (P_2 - P_1)(V_3 - V_1)} \cdot \frac{(Q_2 - Q_1)(V_3^2 - V_1^2) - (Q_3 - Q_1)(V_2^2 - V_1^2)}{(P_2 - P_1)(V_3^2 - V_1^2) - (P_3 - P_1)(V_2^2 - V_1^2)}; \quad (10)$$

$$\frac{a/b}{a_1/b_1} = \frac{1 - \frac{Q_2 - Q_1}{Q_3 - Q_1} \frac{V_2 - V_1}{V_3 - V_1}}{1 - \frac{P_2 - P_1}{P_3 - P_1} \frac{V_2 - V_1}{V_3 - V_1}} \cdot \frac{1 - \frac{Q_2 - Q_1}{Q_3 - Q_1} \frac{V_3^2 - V_1^2}{V_2^2 - V_1^2}}{1 - \frac{P_2 - P_1}{P_3 - P_1} \frac{V_3^2 - V_1^2}{V_2^2 - V_1^2}}. \quad (11)$$

Принимая $\bar{Q} = \frac{Q}{c}$ и $\bar{P} = \frac{P}{c_1}$, зависимость (3)

представим в виде:

$$\bar{Q} = \frac{b_1^2 \left(\frac{a}{a_1} - \frac{b}{b_1} \right)}{2a_1 c} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4a_1 c_1}{b_1^2} (1 - \bar{P})} \right] - \frac{ac_1}{a_1 c} (1 - \bar{P}) + 1. \quad (12)$$

В зависимости (12) безразмерные параметры будут:

$$\Pi_1 = \frac{b_1^2 \left(\frac{a}{a_1} - \frac{b}{b_1} \right)}{2a_1 c}; \quad \Pi_2 = \frac{a_1 c_1}{b_1^2};$$

$$\Pi_3 = \frac{ac_1}{a_1 c}; \quad \Pi_4 = \bar{Q}; \quad \Pi_5 = \bar{P}.$$

С учетом безразмерных параметров зависимость (12) примет вид:

$$\Pi_4 = \Pi_1 \left[1 + \sqrt{1 - \Pi_2 (1 - \Pi_5)} \right] - \Pi_3 (1 - \Pi_5) + 1. \quad (13)$$

Таким образом, по результатам исследования в трех режимах нефтегазовых скважин и с использованием зависимостей (7)–(11) можно получить газогидродинамические уравнения дренажных зон скважины [11–15].

По зависимости (3) можно определить потенциальный дебит, пластовое давление и характер притока в скважину.

При $P = P_{заб} = 0$ получается потенциальный дебит $Q = Q_{пот}$:

$$Q_{\text{not}} = \frac{b_1^2 \left(\frac{a}{a_1} - \frac{b}{b_1} \right)}{2a_1} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4a_1}{b_1^2} c_1} \right] - \frac{ac_1}{a_1} + c. \quad (14)$$

При $Q = 0$ получается пластовое давление $P = P_{nl}$:

$$\frac{b_1^2}{2a_1} \left(\frac{a}{a_1} - \frac{b}{b_1} \right) \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4a_1}{b_1^2} (c_1 - P_{nl})} \right] - \frac{a}{a_1} (c_1 - P_{nl}) + c. \quad (15)$$

По уравнению можно судить о характере притока жидкости из пласта в скважину [16].

Действительно, при значении $\frac{4a_1}{b_1^2} (c_1 - P) = 1$ приток из пласта в скважину будет линейным, а при $\frac{4a_1}{b_1^2} (c_1 - P) < 1$ приток из пласта в скважину будет нелинейным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гурбанов Р.С., Гурбанова Т.Г. Разработка способов по уменьшению пульсации давления в вертикальной колонной трубе // Научные труды НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия». Баку, 2013. С. 75–84.
2. Гурбанов Р.С., Юнусов Р.А., Мамедова З.Е. Способ управления работой насосных скважин. Патент № I 2007 0140, Баку, 2007.
3. Гурбанова Т.Г., Гурбанов Р.С. Способ эксплуатации, обеспечивающий пакерный эффект без применения пакерного устройства // Научные труды НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия». Баку, 2014. Т. XV. С. 50–54.
4. Дроздов А.Н. Исследования характеристик насосов при откачке газожидкостных смесей и применение полученных результатов для разработки технологий водогазового воздействия // Нефтяное хозяйство. 2011. № 9. С. 108–111.
5. Гурбанов Р.С., Гурбанова Т.Г. Газогидродинамическая зависимость дренажной зоны скважин. Научные труды НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия». Баку, 2017. Т. XVII. С. 105–110.
6. Абдин Е.Т., Насибов Н.Б. Новый способ эксплуатации обеспечивающее рациональное использование естественной пластовой энергии // АзТУ Научные труды. 2007. № 1. С. 97–98.
7. Гурбанов Р.С., Насибов Н.Б. Комплексная обработка кривой восстановления давления // Научные труды НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия». Баку, 2001, С. 108–118.
8. Гурбанов Р.С., Насибов Н.Б. Способ эксплуатации фонтанных нефтяных скважин. Патент I.20090123, 15.07.2009.

Отметим, что при $\frac{4a_1}{b_1^2} (c_1 - P) = 1$ зависимость (3) примет вид:

$$Q = \frac{b_1^2}{2a_1} \left(\frac{a}{a_1} - \frac{b}{b_1} \right) - \frac{a}{a_1} c_1 + c + \frac{a}{a_1} P. \quad (16)$$

Из (16) видно, что приток имеет линейный характер.

Выводы

1. Обосновано получение газогидродинамического уравнения на основе данных исследования дренажной зоны нефтегазовых скважин.
2. Получены безразмерные параметры газогидродинамического уравнения с целью анализа процессов, происходящих в дренажной зоне скважины.

9. Гурбанов Р.С., Насибов Н.Б. Способ эксплуатации нефтяных скважин. Патент № а 2015 200056, Баку, 2007, № 1.
10. Гурбанов Р.С., Гурбанова Т.Г. Газогидродинамическая технология исследования дренажной зоны пласта насосным способом эксплуатации // Нефтепромысловое дело. 2015. № 7. С. 50–53.
11. Адонин А.Н. Добыча нефти штанговыми насосами. М.: Недра, 1979. 213 с.
12. Бахтизин Р.Н., Хасанов М.М., Эфендиева Н.Н. Об одном способе учета априорной информации исследования газлифтных скважин // Нефть и газ. 1993. № 2. С. 32–36.
13. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. М.: Нефть и газ, 2003. 816 с.
14. Технология и техника добычи нефти. Учеб. для вузов / Под ред. А.Х. Мирзаджанзаде. М.: Недра, 1986. 382 с.
15. Шищенко Р.И. Нефтепромысловое эксплуатационные машины и механизмы. М.: Гостопиздат, 1954. 342 с.
16. Гурбанов Р.С., Гурбанова Т.Г. Метод интегрального моделирования нефтегазовой системы скважин // Научные труды НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия». Баку, 2014. Т. XV. С. 250–259.

REFERENCES

1. Gurbanov R.S., Gurbanova T.G. Razrabotka sposobov po umen'sheniyu pul'satsii davleniya v vertikal'noi kolonnoi trube [Development of Methods to Reduce Pressure Pulsation in a Vertical Column Pipe]. *Nauchnye trudy NII «Geotekhnologicheskie problemy nefii, gaza i khimiya»* [Scientific Works of the Research Institute «Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry»]. Baku, 2013, pp. 75–84. [in Russian].

2. Gurbanov R.S., Yunusov R.A., Mamedova Z.E. Sposob upravleniya rabotoi nasosnykh skvazhin [Controlling Method Pumping Wells Operation]. Patent No. I.2007 0140, Baku, 2007.
3. Gurbanova T.G., Gurbanov R.S. Sposob eksploatatsii obespechivayushchiy pakernyi effekt bez primeneniya pakernogo ustraistva [Operation Method Providing a Packer Effect without a Packer Device Use]. *Nauchnye trudy NII «Geotekhnologicheskie problemy nefi, gaza i khimiya»* [Scientific Works of the Research Institute «Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry»]. Baku, 2014, Vol. XV, pp. 50-54. [in Russian].
4. Drozdov A.N. Issledovaniya kharakteristik nasosov pri otkachke gazozhidkostnykh smesei i primeneniye poluchennykh rezul'tatov dlya razrabotki tekhnologii vodogazovogo vozdeistviya [Investigations of the Submersible Pumps Characteristics when Gas-Liquid Mixtures Delivering and Application of the Results for SWAG Technologies Development]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2011, No. 9, pp. 108-111. [in Russian].
5. Gurbanov R.S., Gurbanova T.G. Gazogidrodinamicheskaya zavisimost' drenazhnoi zony skvazhin [Gas-Hydrodynamic Dependence of the Drainage Zone of Wells]. *Nauchnye trudy NII «Geotekhnologicheskie problemy nefi, gaza i khimiya»* [Scientific Works of the Research Institute «Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry»]. Baku, 2017, Vol. XVII, pp. 105-110. [in Russian].
6. Abdin E.T., Nasibov N.B. Novyi sposob eksploatatsii obespechivayushchee ratsional'noe ispol'zovanie estestvennoi plastovoi energii [A New Way of Operation Ensuring the Rational Use of Natural Reservoir Energy]. *AzTU Nauchnye trudy* [Scientific Works of the Azerbaijan Research Institute]. 2007, No. 1, pp. 97-98. [in Russian].
7. Gurbanov R.S., Nasibov N.B. Kompleksnaya obrabotka krivoi vosstanovleniya davleniya [Complex Pressure Recovery Curve Processing]. *Nauchnye trudy NII «Geotekhnologicheskie problemy nefi, gaza i khimiya»* [Scientific Works of the Research Institute «Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry»]. Baku, 2001, pp. 108-118. [in Russian].
8. Gurbanov R.S., Nasibov N.B. *Sposob eksploatatsii fontannykh neftyanykh skvazhin* [Fountain Oil Well Operation Method]. Patent No. I.20090123, 15.07.2009.
9. Gurbanov R.S., Nasibov N.B. *Sposob eksploatatsii neftyanykh skvazhin* [Oil Well Exploitation Method]. Patent No. a 2015 200056, Baku, 2007.
10. Gurbanov R.S., Gurbanova T.G. Gazogidrodinamicheskaya tekhnologiya issledovaniya drenazhnoi zony plasta nasosnym sposobom eksploatatsii [Gas-Hydrodynamic Technology of Research of a Formation Drainage Area by Applying Pumping Technique of Operation]. *Neftepromyslovoe delo — Oilfield Engineering*, 2015, No. 7, pp. 50-53. [in Russian].
11. Adonin A.N. *Dobycha nefi shtangovymi nasosami* [Oil Sucker Rod Pumps]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 213 p. [in Russian].
12. Bakhtizin R.N., Khasanov M.M., Efendieva N.N. Ob odnom sposobe ucheta apriorno informatsii issledovaniya gazliftnykh skvazhin [About One Method of Accounting of a Priori Information of Research of Gas-Lift Wells]. *Neft' i gaz — Neftegaz.RU*, 1993, No. 2, pp. 32-36. [in Russian].
13. Mishchenko I.T. *Skvazhinnaya dobycha nefi* [Oil Well Production]. Moscow, Nefti i gaz Publ., 2003. 816 p. [in Russian].
14. Mirzadzhanzade A.Kh. *Tekhnologiya i tekhnika dobychi nefi* [Oil Production Technology and Technique]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 382 p. [in Russian].
15. Shishenko R.I. *Neftepromyslovoe eksploatatsionnye mashiny i mekhanizmy* [Oil-Field Exploitation Machinery]. Moscow, Gostopizdat Publ., 1954. 342 p. [in Russian].
16. Gurbanov R.S., Gurbanova T.G. Metod integral'nogo modelirovaniya neftegazovoi sistemy skvazhin [The Method of Integrated Modeling of Oil and Gas Well Systems]. *Nauchnye trudy NII «Geotekhnologicheskie problemy nefi, gaza i khimiya»* [Scientific Works of the Research Institute «Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry»]. Baku, 2014, Vol. XV, pp. 250-259. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ ABOUT THE AUTHOR

Гурбанова Тюркан Гейдар, доктор философии по техническим наукам, доцент, младший научный сотрудник Научно-исследовательского института «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химии», г. Баку, Азербайджанская Республика

Turkan H. Gurbanova, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Junior Researcher of Scientific Research Institute «Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry», Baku, Republic of Azerbaijan

e-mail: turkanqurbanzade@mail.ru