تقييم القدرات الإنتاجية لأبار الحقول النفطية المميزة بالاحتياطيات صعبة الاستخراج

عبدالله علي أحمد الدمبي
قسم هندسة النفط والغاز، كلية النفط والمعادن، جامعة عدن
DOI: https://doi.org/10.47372/uajnas.2016.n1.a08

الملخص

كثيرة هي الحقول النفطية المميزة باحتياطيات تصاحب عمليات الإنتاج منها صعوبات ومشاكل، هذه الصعوبات على علاقة بالعديد من المميزات وتزداد الصعوبة عند تشغيل الآبار الإنتاجية بضغط جريان قاع البئر مقارب لضغط التشبع. وينتمي إلى هذه الحقول أيضا ما يعرف بنفط الحافات بحقول الغاز، ولذا يركز البحث على تفادي وتقليل المشاكل المصاحبة للاستثمار. في البحث الحالي تم تجميع المعطيات من حقول مختلفة وتحليل الطرق لاستغلال مثل هذه الآبار وتم اقتراح الطريقة المناسبة للاستغلال. تجميع البيانات اللازمة للمعالجة من حقول مختلفة بروسيا الاتحادية وكذا تم اختيار آبار من حقل نوفي اورنجوي تنتج باستعمال مصاعد الغطاس (*plunger lift*) بهدف التحقق من كفاءة وفاعلية الطريقة المطورة لاختيار معدات الرفع. وتم التركيز على الحقول المقاربة لبعض الحقول في اليمن، ولذا يمكن تطبيق الطرق المقترحة في بعض الحقول النفطية اليمنية المتميزة بخواص مشابهة وتحديداً في حوض السبعتين. نتائج البحث تبين تطابق جيد للقيم الدنيا لضغط جريان قاع البئر الفعلية والمحتسبة، وحصلنا على الدقة المطلوبة لاقتراح استعمال طريقة حساب الرفع الصناعي وعلى نطاق واسع وفق للحدود والمجالات المسموحة.

الكلمات المفتاحية: تقييم، احتياطي صعب الاستخراج، ضغط جريان قاع البئر، القدرة الانتاجية.

المقدمة:

احتياطيات الكثير من الحقول النفطية على مستوى العالم، بما في ذلك الحافات النفطية بحقول الغاز، تنتمي للحقول صعبة الاستخراج لأنها يمكن أن تتصف بالمميزات الآتية: عدم تجانس كبير، في بعض الحالات نفاذية منخفضة، اللزوجة العالية للنفط، اقتراب ضغط المكمن الأولي من ضغط تشبع النفط بالغاز. ولذلك، عند تقييم القدرات الإنتاجية لأبار الحقول المشار اليها، أولا وقبل كل شيء، عند تبرير الحد الأقصى للضغط *maximum depression*، فمن الضروري أن تؤخذ في الاعتبار السمات المذكورة أعلاه. ويهدف البحث إلى تحليل الطرق المستعملة وتطويرها بالاعتماد على معطيات حقلية واقتراح تطبيقها على حقول مشابهة لتلك الحقول النفطية التي تم تجميع البيانات منها من خلال ربط عناصر المنظومة الإنتاجية (مكمن-بئر-معدات البئر-معدات سطحية).

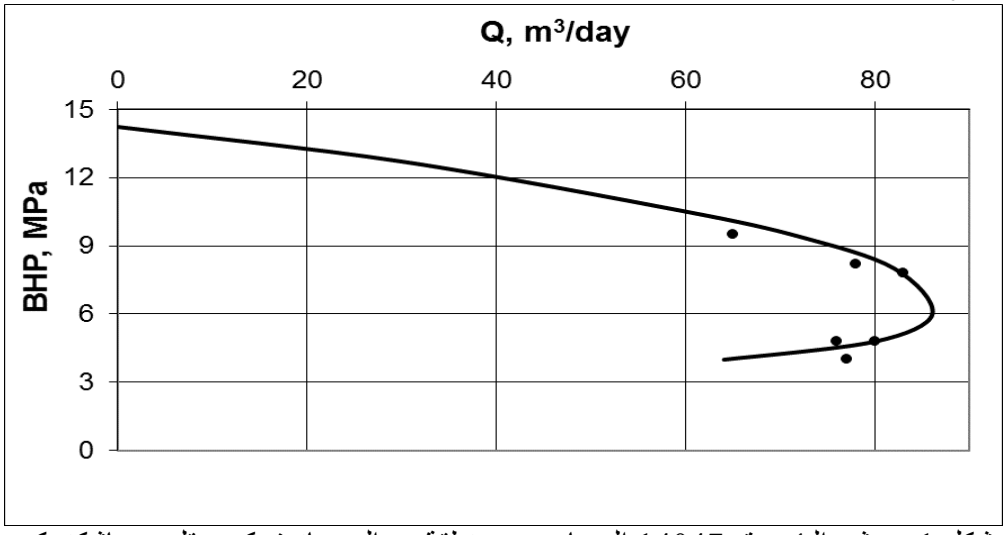
المواد وطرائق البحث:

عندما يكون ضغط قاع البئر الأدنى اقل من ضغط نقطة الفقاعة فإنَّ ذلك يسبب العديد من الصعاب عند استثمار الأبار، فلقد تم تحديد ورصد العديد من الحقول الروسية المتميزة باحتياطيات صعبة الاستخراج وبعض من هذه الحقول تنتج باستخدام مصاعد المكبس الغاطس مثل بعض آبار حقول نوفي اورنجوي والتي استخدمت لمعرفة فاعلية وكفاءة الطريقة المطورة، وهناك آبار في حقول أخرى تتميز بالمميزات نفسها وهذا ما تم دراسته وتحليله واقتراح المعالجات لها مثل حقول روماشكنسكي وكذا فاريوجنسكي وغيرة من الحقول المشابهة بما فيها حقول النفط والغاز البحرية لبحار القطب الشمالي الروسية[3].

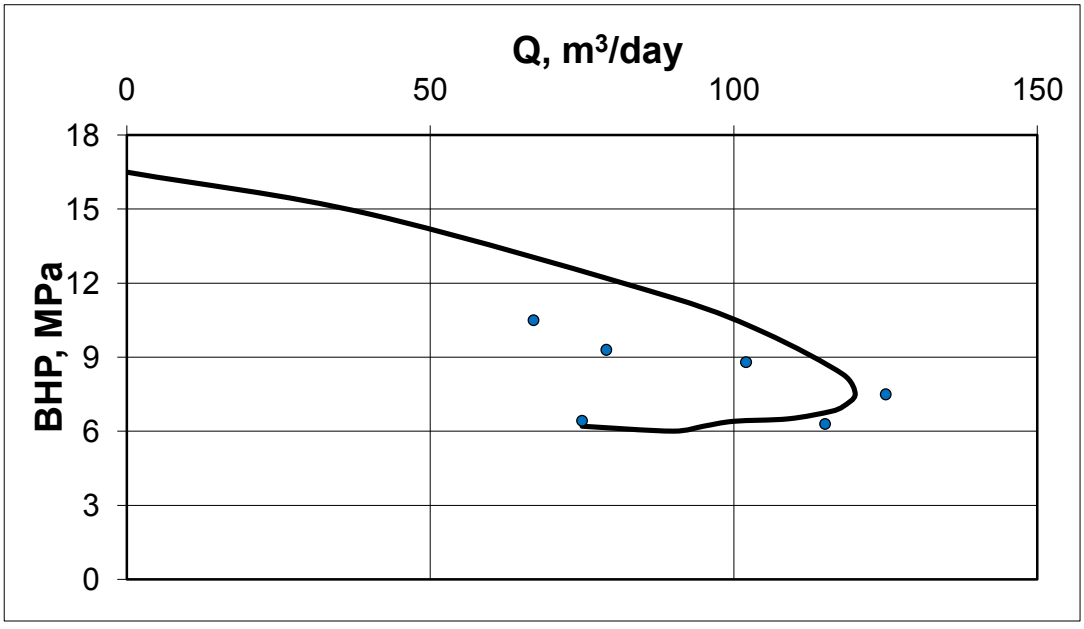
عند استثمار الحقول بضغط جريان في قاع البئر أقل من ضغط الفقاعة فإنه يتشكل جريان للغاز في المنطقة المجاورة للبئر من الطبقة. المزيد من خفض ضغط قاع البئر تحت ضغط التشبع يزيد من تحرر الغاز المذاب

في النفط وبالتالي تزداد قيم تشبع الطبقة بالغاز، وهذا يؤدي بالتالي إلى المميزات غير الخطية لعلاقة الإنتاجية بضغط جريان قاع البئر. وبتخفيض ضغط جريان قاع البئر أقل من الضغط الحرج فإن الإنتاجية للسائل تتناقص وتؤول إلى الصفر.

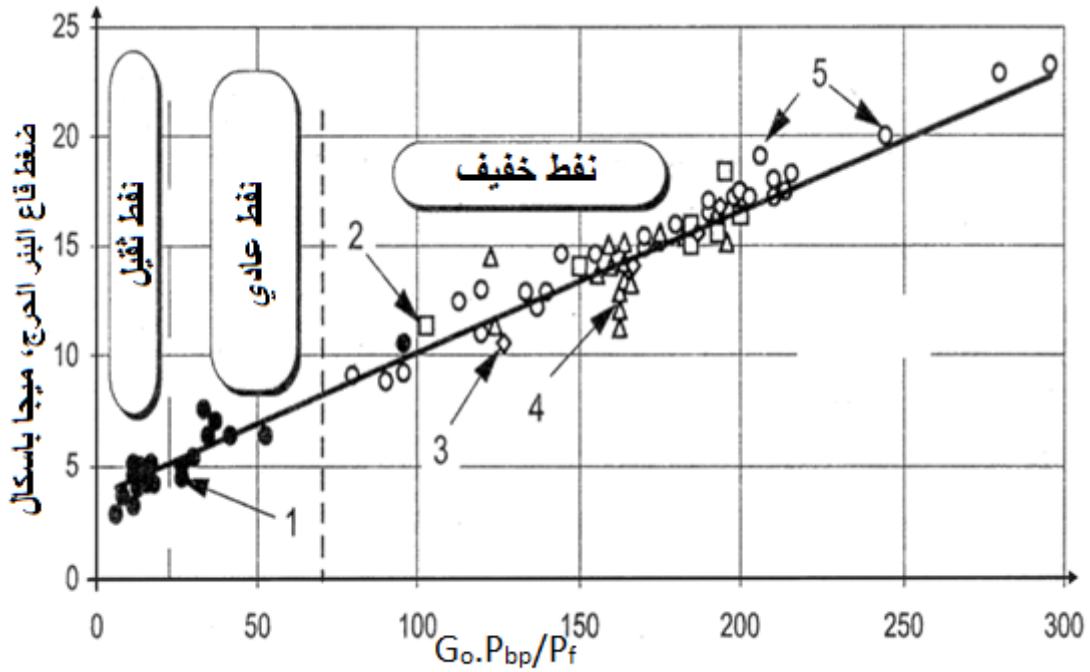
على الرسم 1 و2 موضح مؤشرات البئر للظروف المحددة (تم الحصول على المنحنيات باستعمال الطريقة المطورة). وتمثل النقاط القياسات الفعلية من البئر. بتلخيص التجارب العملية لهذه الحقول، استطاع ا. ت. ميتشينكو تقييم قيمة ضغط جريان قاع البئر الحرج بعلاقة ضغط المكمن، معامل الغاز وضغط تشبع النفط المكمني بالغاز (الشكل 3). ومع ذلك، وفي تبرير القدرات الإنتاجية للآبار ينبغي توفر القدرة وعلى احتساب الإنتاجية في مجال ضغط جريان قاع البئر بعلاقة التشبع قبل الضغط الحرج، وإذا لزم الأمر، إلى قيم أقل من القيمة الحرجة.



شكل 1: مؤشر البئر رقم 14047 الحسابي من منطقة عبدالرحمانوفسكي حقل روماشكنسكي



شكل 2: مؤشر البئر رقم 883 الحسابي حقل فاريوجنسكي



شكل 3: تغير ضغط جريان قاع البئر الحرج في الابار الإنتاجية P_{wfc} بعلاقة $G_o.P_{bp}/P_f$.

1- حقل اورال – فولجا
2- حقل فنجابورسكي
3- حقل فاريوجنسكي الشمالي
4- حقل فاريوجنسكي
5- حقل تالين

إنتاج النفط عند ضغط جريان قاع البئر أقل من ضغط الفقاعة يصاحب بتعقيدات وصعوبات مرتبطة بارتفاع قيم المحتوى الغازي عند منطقة استقبال المعدات. في هذه الظروف، أكثر الوسائل فعالية لعملية الرفع هي الرفع بالغاز "بشقيه" وكذا مصعد المكبس الغطاس (*plunger lift*) كموفر فعال للطاقة عند تشغيل الآبار وخصوصا في الظروف المعقدة: انخفاض الإنتاجية، وزيادة انحناءات الآبار، الترسبات الشمعية "البارافين"، وغيرة حيث أثبت المكبس الغاطس فعاليته في مثل هذه الظروف[6].

حتى الآن لم توضح حدود التطبيق الفعال لهذه الطرق عند الإنتاج بضغط جريان قاع البئر تحت ضغط التشبع. هذا يرجع إلى عدم وجود مطابقة وربط عناصر المنظومة الإنتاجية عند اختيار نظام التشغيل وأحجام معدات البئر، مما أدى إلى ضعف غير مقبول في دقة الحسابات. عدم وجود طريقة يمكن الاعتماد عليها لبناء مؤشر المنحنيات التي تأخذ في الاعتبار تغير (ديناميكا) ضغط المكمن، معامل الغاز وتشبع النفط في المكمن، وما شابه ذلك، ويرجع ذلك إلى الصعوبات في الحصول على البيانات الجيولوجية والإنتاجية الأصلية وأيضا اجراء الحسابات يستغرق وقتا طويلا وصعوبة كبيرة في نمذجة الجريان، الملائم لنظام التصريف.

ومع ذلك، فإن خيارات تحديد مخطط معدات البئر في مرحلة إنجازاته، في كثير من الحالات، يمكن اعتبار ما يسمى، بالوضع شبه الثابت (*pseudo-steady state*)، والذي يتميز بثبات ضغط المكمن في كنتور تغذية البئر، الامر الذي يبسط مهمة مطابقة عناصر النظام الإنتاجي.

بالنظر إلى ما سبق، نقترح طريقة ربط ومطابقة عناصر النظام الانتاجي (مكمن، منطقة قاع البئر، البئر ومعدات البئر) عند اختيار النظام وأحجام معدات قاع البئر لنظام تشغيل البئر الشبه مستقرة (*pseudo-steady state*).

أهم المعلومات والمعطيات اللازمة للقيام بالحسابات عبارة عن علاقة الحجم النوعي *specific volume* للغاز المذاب $V_{sp0(P)}$ عند الظروف القياسية، لزوجة النفط $\mu_{(P)}$، معامل التكوين الحجمي للنفط $B_{o(P)}$، وكذلك علاقات النفاذيات النسبيه الطورية للنفط وللغاز بتشبع الطبقة بالنفط (S_o *formation oil saturation*).

عند الجريان النفط والغاز شبه المستقر في الطبقة وبالتطابق مع قانون دارسي فان إنتاجية البئر عند قيم الضغط P يعبر عنها وفق المعادلة:

$$q_o = \frac{2.\pi.k.h.\int_{P_w}^{P_c} \frac{k_o^*(P)}{\mu_{o(P)_o}.b_o(P)}dP}{\ln\frac{\sigma}{r_w}} \qquad (1)$$

$$G = \frac{k_g^*(S_o)}{k_o^*(S_o)}.\frac{\mu_o(P)}{\mu_g(P)}.b_o(P).\frac{P.T_o}{P_o.T.z(P,T)} + V_{sp0}(P) \qquad (2)$$

حيث:

k- نفاذية منطقة قاع البئر، متر

h- سمك الطبقة، متر

σ- نصف المسافة بين الابار، متر

P_o- الضغط في الظروف القياسية، ميجاباسكال

T_o- درجة الحرارة في الظروف القياسية، درجة مئوية

z- معامل انضغاطية الغاز *Gas-Supercompressibility*.

لتقييم القدرات الإنتاجية للبئر عند القيم المحددة لمعامل الغاز وضغط جريان قاع البئر لابد من حساب فرق الضغط، والمعبر عنه بدالة كريستيانوفيتش (تكامل المعادلة 1). للحصول على علاقة النفاذية الطوريه للنفط بعلاقة الضغط، نقترح الخوارزمية الآتية. عند قيم معامل الغاز المعطاة والتشبع النفطي (وكذلك علاقات النفاذية الطورية للغاز) يتم حساب الضغط في الطبقة بالمعادلة رقم 2. للأخذ في الحسبان علاقات المعامل الحجمي ومعامل ذوبان الغاز الحجمي وغيره من المعاملات بالضغط والداخلة في المعادلة 2، التتابع المقترح يسمح بحساب الضغط بدقه محددة. بمعلومية علاقة النفاذية الطورية النسبية للنفط بالضغط من الممكن تقييم القدرات الإنتاجية للبئر، باستعمال طريقة التكامل العددي. كما بينت الحسابات، فإن علاقات النفاذية الطورية ممكن الحصول عليها من جداول تساريفيتش [5].

تجدر الإشارة إلى أنه وعند مختلف قيم ضغط جريان قاع البئر يمكن تقييم مقاس منطقة الجريان ثنائي الطور (نصف قطر نطاق تحرر الغاز، R_b). من شروط عدم انحلال جريان التيار [1]:

$$R_b = (\sigma.r_w^A)^{\frac{1}{A+1}} \qquad (3)$$

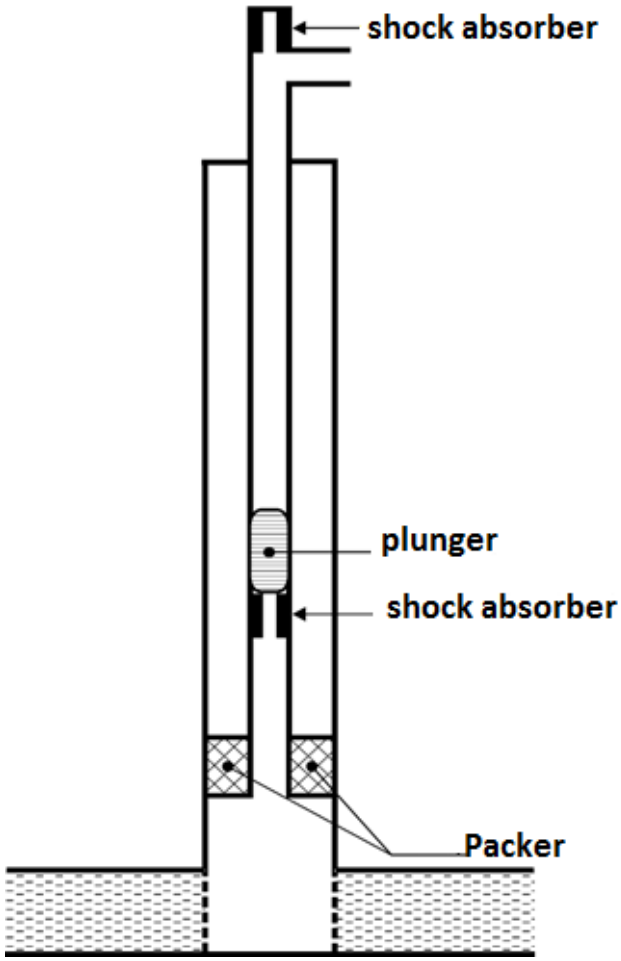
$$A = \frac{P_c - P_{bp}}{\mu_o(P_{bp})\cdot b_o(P_{bp})\cdot \int_{P_w}^{P_{bp}} \frac{k_o^*(P)dp}{\mu_o(P)\cdot b_o(P)}}. \qquad (4)$$

وهكذا لكل ضغط جريان قاع البئر ولكل إنتاجية قيمة مطابقة لمقياس محدد من منطقة الجريان ثنائي الطور.

النتائج والمناقشة:

نتائج اعتماد الطريقة المعتمدة لرسم مؤشر البئر موضحة على الرسم 1، 2 (الخط المتواصل)، وتتضح الدقة العالية في الحساب بالخوارزمية المقترحة، وكذا يتضح التطابق الجيد للنتائج، التي تحصل عليها ا. ت. ميشنكو لتقييم القيمة الأدنى لضغط جريان قاع البئر.

على أساس الطريقة المقترحة لبناء العلاقة البيانية (مؤشر البئر) لنظام التشغيل شبة المستقر (*pseudo-steady state*) تم تضمين مطابقة نظام تشغيل البئر ومقاسات مصعد المكبس الغاطس (*plunger lift*) كطريقة استثمار اقتصادية وموفرة للطاقة المكمنية في الظروف المعقدة (تدني إنتاجية الآبار، ضغط جريان قاع البئر دون ضغط الفقاعة، زيادة انحناءات الابار، رواسب البارافين وغيره من الصعوبات) [2]. أُقترح مخطط خيارات تصميم معدات البئر باستعمال المكبس الغاطس والموضح على الشكل رقم (4) [7]. لمطابقة طريقة اختيار مصعد المكبس واعتمادها تم القيام بحسابات تجريبية لظروف الآبار قليلة الإنتاجية في حقل نيجني اومرينسكي. هذا الحقل تم اختياره للتجربة كونه يشمل أغلب المعطيات اللازمة بما فيها المعلومات عن نظام تشغيل الآبار المجهزة بالمصعد الغاطس وفق المخطط الموضح على الشكل 4. نتائج المطابقة الموضحة في الجدول رقم 1، توضح الدقة العالية للحسابات، وهذا يتيح إمكانية استعمال الطريقة المطورة لتقييم الحدود الفعالة لاستعمال مصعد المكبس الغاطس في مختلف الظروف الحقلية. لكل بئر موضح في الجدول تم استخدام مكبس (*plunger*) بقطر 0.058 ملم، بوزن 3.2 كيلوجرام وبطول 0.7 متر.



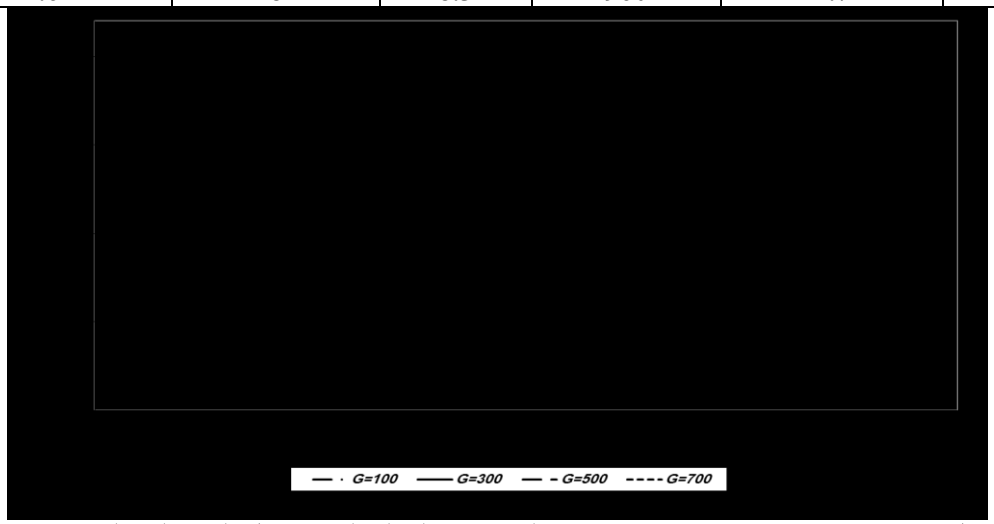
شكل 4: مخطط معدات البئر عند استعمال مصعد المكبس الغاطس

لتقييم الحدود الفعالة لاستعمال مصعد المكبس الغطاس تم تضمين الحسابات للآبار قليلة الإنتاجية بمعطيات حقل نوفي ارينجوي. [4]. تم تضمين تحليل التأثير على القدرات الإنتاجية للآبار الناتج عن الإنتاجية، معامل الغاز، عمق تثبيت كابح الصدمات السفلي (*shock absorber*).

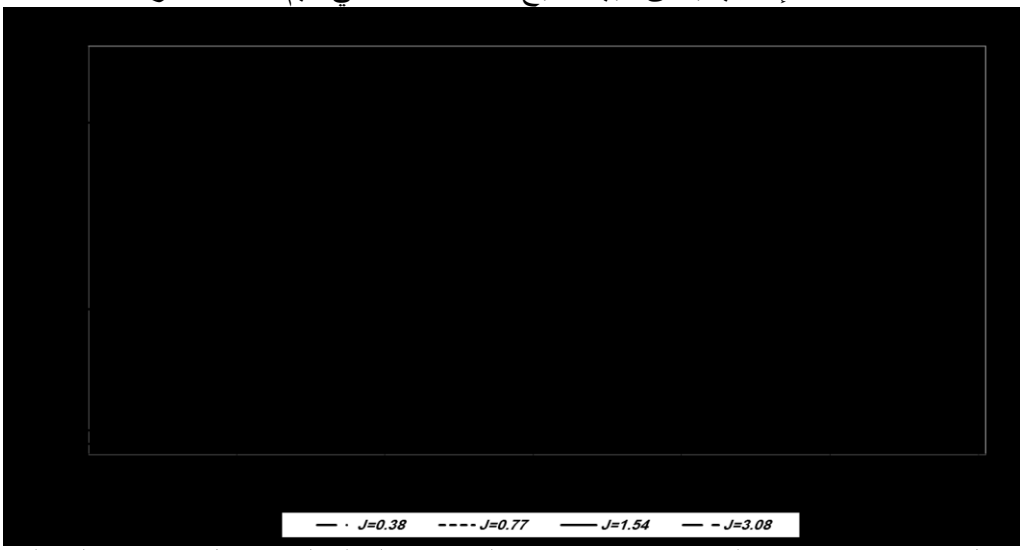
في الجدول رقم 1 تتضح نتائج اعتماد الطريقة على آبار حقل نيجني ارنجوي النفطي.

جدول رقم 1: نتائج مطابقة الطريقة على آبار حقل نيجني اومرينسكسي

رقم البئر	ضغط المكمن، ميجاباسكال	عمق البئر، متر	إنتاجية البئر طن في اليوم		ضغط التشغيل تحت المكبس، ميجاباسكال
			الحسابي	الفعلي	
230	4.1	990	15	14	1.5
210	2.61	1008	6.8	6.5	1.22
12	2.55	965	8	7	1.15
225	2	941	4.3	4	0.92
229	2.94	928	2.1	2	1.41
218	2.7	960	8.3	8	1.64



شكل 5: علاقة الإنتاجية بعمق تثبيت كابح الصدمات السفلي لقيم معامل الغاز المختلفة



شكل 6: علاقة الإنتاجية البئر بعمق تثبيت كابح الصدمات السفلي لقيم معامل الإنتاجية المختلفة

الاستنتاجات:

تحليل نتائج الدراسة تسمح بالحصول على الاستنتاجات الآتيه:

1. الطريقة المطورة لاختيار التصميم على أساس مصعد المكبس الغاطس من الممكن ان تستعمل للآبار قليلة الإنتاجية في حقل اورنجوي النفطي.
2. تبين الحصول على مطابقة جيدة للبيانات الفعلية والمحتسبة عند أعماق تثبيت كابح الصدمات السفلي حتى 2500 متر (وهذا المتواجد في ابار حقل اورنجوي).
3. تبين أنه وفي حالات كثيرة تصبح قيمة ضغط جريان قاع البئر أقل من المسموح به، مما يعني أن ذلك سيؤدي إلى عدم استقرار في عمل آبار النفط.

مواصلة الدراسات يجب أن تتم في اتجاه اختيار تصميم المعدات الأمثل لمختلف طرق الاستغلال مع الأخذ في الحسبان المعايير التقنية والاقتصادية وكذا القيود.

المراجع:

1. الدمبي ع.ع.، برافيتشيف ك.ا.، سيمكو د.ا. (2000). تحسين عمل آبار الحافات النفطية للحقول الغازيه على أساس استعمال مصعد المكبس الغاطس. مجلة علمية تقنية -الاتمته والتحكم في الصناعة النفطية - موسكو– الإصدار السادس: 26-37.
2. تشارني أي. ا. هيدروميكانيكا تحت سطح الأرض (1963). الإصدارات العلمية والتقنية الحكومية للنفط والطاقة. موسكو:41-53، 66-80، 112-153.
3. زاخورتشنكو ن.ب.، مارينين ن.س.، بوبوف ف.ا. (1982). آفاق تطوير مصاعد الغاز لإنتاج النفط في حقول غرب سيبيريا، مجلة علمية: مشاكل نفط وغاز تيومين. الإصدار 55-مدينة تيومين: 42-61.
4. لانتشاكوف، ج.ا.، كوتشيروف ج. ج.، كولكوف ا. ن.، دينكوف ا.ف. (1998). مشاكل استصلاح حقول اورنجوي – موسكو – اصدارات نيدرا: 464.
5. ميشنكو ا. ت.، كندراتيوك ا. ت. (1996). ميزة استثمار حقول النفط بالاحتياطيات صعبة الاختيار. موسكو: 59-75.
6. ميشنكو ا.ت. (2008). حسابات في إنتاج النفط والغاز- موسكو: 169-174.
7. يجوروف ب. أي. (1972). ميزة تشغيل وظروف استعمال مصعد المكبس الغاطس في آبار النفط. مدينة اوفا: أطروحة دكتوراه.

Evaluation of production capacity oil well in fields with hard recoverable reserves

Abdulla Ali Ahmed Aldambi
Department of Oil and Gas Engineering, Oil and Minerals Faculty, University of Aden
DOI: https://doi.org/10.47372/uajnas.2016.n1.a08

Abstract

Many oil fields having distinctive reserves with the production operations are associated with the difficulties and problems. These difficulties is related to many features and these increased when the well is operated at bottomhole pressure equivalent to the bubble point pressure. Therefore, the objective of this research is to avoid and marmite the problem in the investment process. The data has been collected from different fields in Russia. For verification of the efficiency of developed methods data, were collected from Novi Oringoe fields, where the plunger lift has been used as production method. This study has focused on these fields because of analogy of the production factor with Yemeni fields in Sabatain basin. Therefore, the developed methods results obtained in this research can be applied to Yemeni oil fields.

Results obtained in research showed a good agreement between actual and calculated values of minimum bottomhole pressure. This leads to selecting the appropriate method of artificial lift according to permissible factors.

Key words: Evaluation, Hard-recoverable Reserve, Bottomhole Pressure, Production Capacity.