تلافي تعليق قضبان الضخ أثناء رفع النفط اللزج باستخدام وحدات الضخ المعلقة في حقول سازابا

د. إدمون سلوم(•)

ملخص البحث

تواجه عملية إنتاج النفط اللزج مجموعة من الصعوبات التي يتطلب حلها المزيد من النفقات مقارنة مع إنتاج النفط الخفيف، حيث تتطلب العملية استخدام بعض الوسائل التقنية أو الإجراءات التكنولوجية بهدف تلافي هذه الصعوبات.

يتم إنتاج النفط اللزج في الحقول السورية (حقول سازبا) مثالاً بشكل أساسي باستخدام المضخات المعلقة دون تطبيق تقنيات أو أساليب تكنولوجية خاصة. لذلك كان موضوع البحث الحالي محاولة لدراسة إمكانية تلافي تعليق قضبان الضخ خلال الشوط النازل (من المشاكل الأساسية المرافقة لرفع النفط اللزج) من خلال دراسة وتحديد قيمة اللزوجة الحرجة انطلاقاً من شروط تعليق قضبان الضخ وذلك من أجل منظومات مختلفة لأقطار مواسير الإنتاج وقضبان الضخ ونظم عمل مختلفة لوحدات الضخ باستخدام بعض العلاقات الرياضية التي تربط هذه المؤشرات مع بعضها البعض وتطبيقها من أجل ظروف الإنتاج في الحقول المدروسة. وبنتيجة المعالجة الرياضية تم التوصل إلى مجموعة من النتائج التي تشكل دلالة عملية لتحسين ظروف رفع النفط اللزج من حيث اختيار أقطار عمود الضخ بالعلاقة مع قطر مواسير الإنتاج ونظام عمل وحدات الضخ انطلاقاً من شروط تعليق قضبان الضخ، هذا من جهة، وتعتبر توجيهاً اقتصادياً مستقبلياً في حال تطبيق بعض الطرق التكنولوجية لتخفيض اللزوجة وذلك عن طريق معرفة القيم الواجب تحقيقها والتي من أجلها يتم تلافي العديد من المشاكل.

(•)- مدرس في كلية الهندسة الكيميائية والبترولية . قسم الهندسة البترولية.

تلافي تعليق قضبان الضخ أثناء رفع النفط اللزج باستخدام وحدات الضخ المعلقة في حقول سازابا

مقدمة:

تزايد اهتمام الصناعة النفطية مؤخراً في بلدان العالم أجمع كما في سوريا بالتركيز على استثمار الحقول النفطية الحاوية على نفوط عالية اللزوجة وذلك نتيجة لتناقص مخزون النفوط الخفيفة من جهة، ولتأمين الطلب المتزايد على الطاقة من جهة أخرى. ومن المعلوم أنه تم اكتشاف عدد من التراكيب النفطية الحاوية على نفط عالي اللزوجة في الجمهورية العربية السورية ويتم الإنتاج من أغلب آبارها باستخدام المضخات المكبسية المعلقة (Beam Pump) بشكل رئيسي دون تطبيق أي أساليب تكنولوجية لتخفيض اللزوجة. مما ينتج عنه مشاكل وصعوبات كثيرة أثناء عملية رفع النفط من قاع البئر حتى السطح. وهذه المشاكل مرتبطة بشكل أساسي بقيم اللزوجة العالية وعدم اختيار المعدات بشكل دقيق، لذلك من الضروري عاجلاً أم آجلاً استخدام أحد الأساليب المعروفة لتخفيض لزوجة النفط إضافة إلى تقدير قيم اللزوجة التي يجب تحقيقها طبقاً لأقطار قضبان الضخ ومواسير الإنتاج المستخدمة بهدف تلافي المشاكل الناتجة عنها.

في هذا البحث سوف نلقي الضوء على أهم مشاكل رفع النفط اللزج إضافة إلى دراسة تفصيلية لعلاقة قيم اللزوجة الحدية للنفط المنتج بنظام عمل وحدات الضخ المعلقة (طول الشوط وعدد الدورات) وبأقطار قضبان الضخ ومواسير الإنتاج بهدف الوصول إلى حدود تخفيض اللزوجة والتي دونها يمكن إنتاج مثل هذه النفوط دون مواجهة المشاكل الناتجة عن اللزوجة العالية.

تعتبر مشكلة تعليق قضبان الضخ في أثناء الشوط النازل للمضخة (سوف يتم توضيحها لاحقاً) من الصعوبات الشائعة في حقولنا المنتجة للنفط اللزج (حقول سازابا مثالاً) لذلك ستكون هذه المشكلة محوراً رئيساً لهذا البحث.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة علاقة قيمة اللزوجة الحدية المقابلة لتعليق قضبان الضخ بنظام عمل وحدة الضخ وأقطار قضبان الضخ ومواسير الإنتاج من أجل تقديم مقترحات وتوصيات عملية تساهم في الحد من مشكلة تعليق قضبان الضخ أثناء المشوار النازل.

المشاكل الرئيسية أثناء رفع النفط اللزج باستخدام الـ(Beam Pump):

ترتبط صعوبة رفع النفوط عالية اللزوجة $\mu > 30 mpa.s$ باستخدام المضخات المكبسية المعلقة بقيم اللزوجة العالية التي تؤثر سلباً على جريان النفط عبر الصمامات وعلى حركة قضبان الضخ ضمن مواسير الإنتاج. ويمكن إيجاز هذه الصعوبات بالنقاط التالية:

1- المقاومات الهيدروليكية الكبيرة في أثناء حركة قضبان الضخ باتجاه الأعلى ضمن السائل مؤدية إلى زيادة الحمولات بشكل كبير على رأس الحصان مما يستدعي استخدام وحدات ضخ سطحية باستطاعات كبيرة وقضبان ضخ قادرة على تحمل الإجهادات الناتجة.

2- صعوبة وضع المضخة في العمل بعد التوقفات الاضطرارية وذلك بسبب قابلية النفوط اللزجة على تشكيل بنية ذات إجهاد قص كبير أثناء السكون.

3- الضياعات الكبيرة في طول الشوط بسبب التمدد والتقلص الكبير في طول قضبان الضخ.

4- انخفاض الضغط في اسطوانة المضخة بسبب ضياعات الضغط الكبيرة في صمام السحب مما يساعد في تحرر المزيد من الغاز وبالتالي نقصان عامل امتلاء المضخة.

5- التغير الكبير في الحمولات التي تتعرض لها قضبان الضخ خلال الشوط النازل والصاعد مما يؤثر سلباً على عمر عمل قضبان الضخ والمضاجع الرئيسية الموجودة في وحدة الضخ.

6- تعليق قضبان الضخ أثناء الشوط النازل للمضخة وذلك نتيجة قوى الاحتكاك الكبيرة بين جسم القضبان والسائل الذي تتحرك ضمنه، حيث يصل مقدار قوى الاحتكاك في بعض الأحيان إلى قيمة متقاربة مع قيمة وزن قضبان الضخ في السائل وهذا يؤدي إلى أن سرعة تحرك القضيب الأملس على السطح تصبح أقل من سرعة تحرك رأس الحصان. وفي بعض الحالات تصبح مشكلة تعليق قضبان الضخ ذات أبعاد أكبر عندما يبلغ مجموع قوى الاحتكاك قيمة أكبر من وزن قضبان الضخ وهي مغمورة في السائل حيث ينتج عن ذلك إخلال في توزيع الحمولات خلال دورة الضخ. ففي البداية تتناقص الحمولة على رأس الحصان حتى الصفر وتتدلى كبل التعليق ثم تسقط قضبان الضخ (تتحرك فجائياً) نحو الأسفل وخلال الشوط الصاعد تخضع نقطة تعليق القضيب الأملس إلى حمولة تعادل وزن القضبان ووزن السائل، حيث تزداد الحمولة على رأس الحصان بشكل حاد وفجائي مما يؤدي إلى حدوث ما يسمى صدمة قوية التي تسبب أحياناً إلى قطع في وصلة تعليق القضيب الأملس مع رأس الحصان أو إلى تشوه أو انكسار في عارضة الوصل بين نهاية القضيب الأملس وكبل التعليق وفي الوقت نفسه إلى حصول تآكل في الموجه وفي مفاصل متعددة في وحدة الضخ السطحية. وبالنتيجة إلى انقلاب الوحدة السطحية إذا لم تتخذ الإجراءات المناسبة للحد من مشكلة التعليق هذه.

تستخدم في العديد من بلدان العالم المنتجة للنفط اللزج حلولاً تكنولوجية لتخفيض قيمة اللزوجة وبالتالي رفع كفاءة عمل وحدات الضخ. من هذه الحلول رفع درجة الحرارة ضمن البئر أو حقن مقللات لزوجة ضمن البئر (نفط خفيف . كوندسات وغيرها).

مما لا شك فيه أن هذه الحلول تترافق بكلفة مادية عالية مرتبطة بالتجهيزات اللازمة إما للتسخين أو للحقن من جهة وبنقل المواد المستخدمة لتخفيض قيمة اللزوجة خصوصاً إذا لم تكن متوفرة في حقول قريبة. وهذه التكلفة المادية مرتبطة بحدود تخفيض قيم اللزوجة، لذلك لابد من تعيين القيم التي يجب تخفيض اللزوجة إليها بما يتناسب وأقطار مواسير الإنتاج وأعمدة الضخ.

لابد من الإشارة إلى أن عملية رفع النفط عالي اللزوجة في الحقول السورية (حقول سازابا مثالاً) تتم دون استخدام أي من الأساليب التكنولوجية المذكورة، لذلك فإنها تواجه مجمل المشاكل والصعوبات المنوه إليها أعلاه وبشكل خاص مشكلة تعليق قضبان الضخ.

الصفات الفيزيائية والكيميائية لنفط حقول سازابا:

يتميز النفط المنتج من حقول سازابا بمعامل غازي (G.O.R) قليل بحدود $24M^3/M^3$ وبكثافة كبيرة بحدود $0.95\ gr/cm^3$ وبمحتوى عالي من الإسفلتين والصموغ والبارافين. والجدول رقم (1) يبين نتائج تحليل بعض العينات النفطية من حقول سازابا.

جدول رقم (1) يبين نتائج تحليل بعض العينات النفطية في حقول سازابا

FIELD	reservoir	API	D_4^{20}	VISCOSITY c.p			ASPHALT-ENES WT %	RESINS WT%	PARAFFINE WT%	POURING POINT C
				20 C	40 C	60 C				
SAID	shiranish	13.7	0.972	3600	695	175.8	21.2	11.7	3.5	-12
BABASI	shiranish	13.7	0.97	3820	830	205	23.1	12	3.25	-9
ZARBE	shiranish	15	0.963	2300	480	176	20	8.8	3.9	-15

يتبين من معطيات الجدول القيم العالية للّزوجة حتى عند درجة حرارة الطبقة (60 $\dot{C}$) والمحتوى العالي من المواد الثقيلة (إسفلتين + بارافين + صموغ) بحدود 30% مما يشير إلى صعوبة إنتاج النفط في هذه الحقول.

لذلك سوف يتطرق البحث إلى تقدير القيمة الحدية للزوجة انطلاقاً من شروط تعليق قضبان الضخ ومن ثم تحديد شروط الاستخدام الأفضل لوحدات الضخ هذه في الحقول السورية.

تحديد القيمة الحدية للّزوجة انطلاقاً من شروط تعليق قضبان الضخ:

يعتبر حساب القيمة الحدية للّزوجة في غاية الأهمية كمعيار من أجل الاختيار الأمثل للتجهيزات المستخدمة ونظام عملها لرفع النفوط عالية اللزوجة وذلك لتأمين ظروف عمل طبيعية لوحدات الضخ.

هناك مجموعة من الأعمال التي درست حسابات المقاومة الهيدروليكية الناتجة عن حركة قضبان الضخ في النفوط عالية اللزوجة. وتعتبر العلاقات التي توصل إليها العالم برفرديان من العلاقات الشائعة الاستخدام في هذا الموضوع لذلك سوف يتم الاعتماد عليها في حساب القيمة الحدية للّزوجة للنفط المنتج من الحقول المدروسة.

إن الشرط اللازم لحركة قضبان الضخ بدون تعليق يحدد بالعلاقة التالية:

$$P'_{sc} > P_{Fr} \qquad (1)$$

حيث أن:

P'_{sc} : وزن قضبان الضخ مغمورة في السائل.

P_{Fr} : قوة الاحتكاك التي تؤثر على قضبان الضخ أثناء حركتها في الشوط النازل.

ومن أجل قضبان ضخ ذات قطر واحد يمكن التعبير عن العلاقة (1) بالشكل التالي:

$$q'_{sc} > q_{Fr} \qquad (2)$$

حيث أن:

q'_{sc}: وزن المتر الطولي من قضبان الضخ وهي مغمورة بالسائل. n/m

q_{Fr} : قوى الاحتكاك المقابلة لواحد متر من القضبان. n/m

توصل العالم برفرديان إلى علاقة قيمة اللزوجة الحدية بمؤشرات عمل وحدة الضخ وأقطار مواسير الإنتاج وقضبان الضخ:

$$\gamma_c = \frac{q'_{sc}}{2\pi^2 \rho_\ell \ n.s.(M_{sc} + M_y)} \qquad (3)$$

$$M_{sc} = \frac{1}{\frac{m_1^2+1}{m_1^2-1} \ln m_1 - 1} \qquad (4)$$

$$m_1 = \frac{d_t}{d_{sc}} \qquad (5)$$

$$M_y = \frac{0.032}{\frac{m_2^2+1}{m_2^2-1} \ln m_2 - 1} \qquad (6)$$

$$m_2 = \frac{d_t}{d_{My}} \qquad (7)$$

حيث أن:

γ_c: القيمة الحدية للّزوجة الحركية m^2/sec بحيث لا يمكن رفع السائل الذي له لزوجة أكبر منها باستخدام المضخات المكبسية المعلقة بدون تطبيق بعض الأساليب التكنولوجية.

ρ_ℓ: كثافة السائل kg/m^3، n: عدد الأشواط 1/Sec، S: طول الشوط m.

d_t: القطر الداخلي لمواسير الإنتاج m.

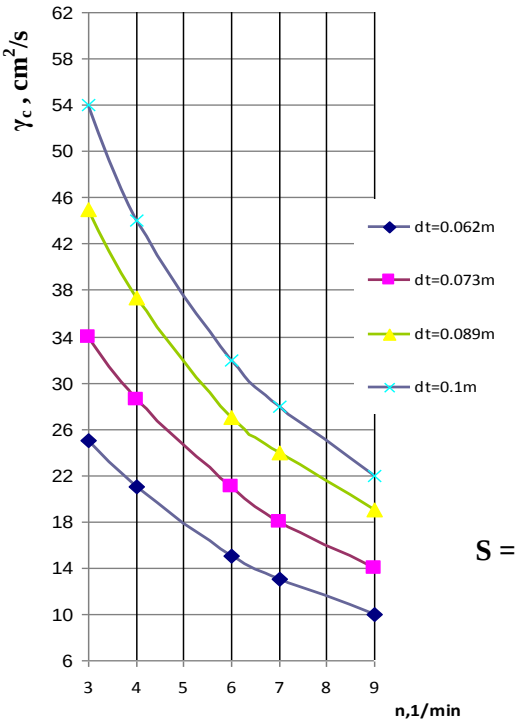
d_{sc}: قطر قضبان الضخ m.

d_{My}: قطر التوصيلات بين قضبان الضخ.

اعتماداً على العلاقة (3) تم إنجاز حساب القيمة الحدية للّزوجة من أجل احتمالات مختلفة لقيم قطر مواسير الإنتاج وقطر قضبان الضخ وعدد الأشواط وطولها وذلك عند رفع نفط ذو كثافة $950kg/m^3$ كونها كتلة للنفوط المنتجة في حقول سازبا.

- $d_t = 0.062$, 0.073 , 0.089 , 0.1 m
- $d_{sc} = 0.019$, 0.022 , 0.025 m
- $S = 2.1$, 2.5 , 3.0 , 3.5 m
- $n = 3$, 5 , 6 , 7 , 8 , 9 1/min
- $\rho_\ell = 950$ kg/m^3.

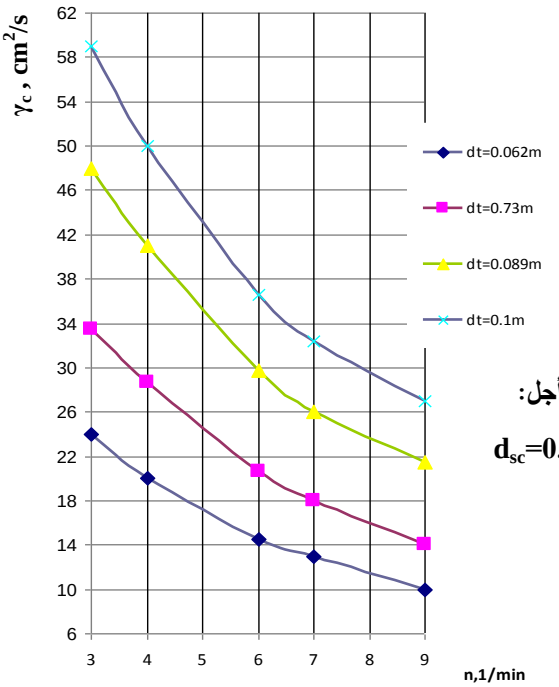
بهذا الشكل تم حساب قيم اللزوجة الحدية باستخدام برنامج حاسوبي من أجل 208 نظام، ومثلت بيانياً بالأشكال من (1) إلى (15) حيث توضح علاقة اللزوجة الحدية بمختلف البارامترات (القطر الداخلي لمواسير الإنتاج . قطر قضبان الضخ . عدد الأشواط . طول الشوط . النسبة بين القطر الداخلي لمواسير الإنتاج وقطر قضبان الضخ) من أجل كثافة النفط $\rho_\ell = 950\,kg/m^3$.



الشكل رقم (1) العلاقة بين γc و n من أجل:

$S = 2.1m$, $\rho_t = 950Kg/m^3$, $d_{sc} = 0.019$ m

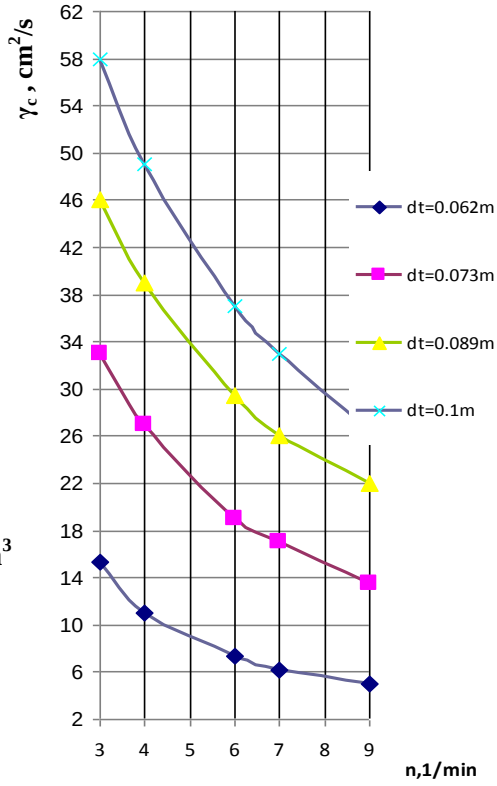
وقيم d_t مختلفة



الشكل رقم (2) العلاقة بين γ_c و n من أجل:

d_{sc}=0.022m , S=2.1m , ρ_t=950Kg/m^3

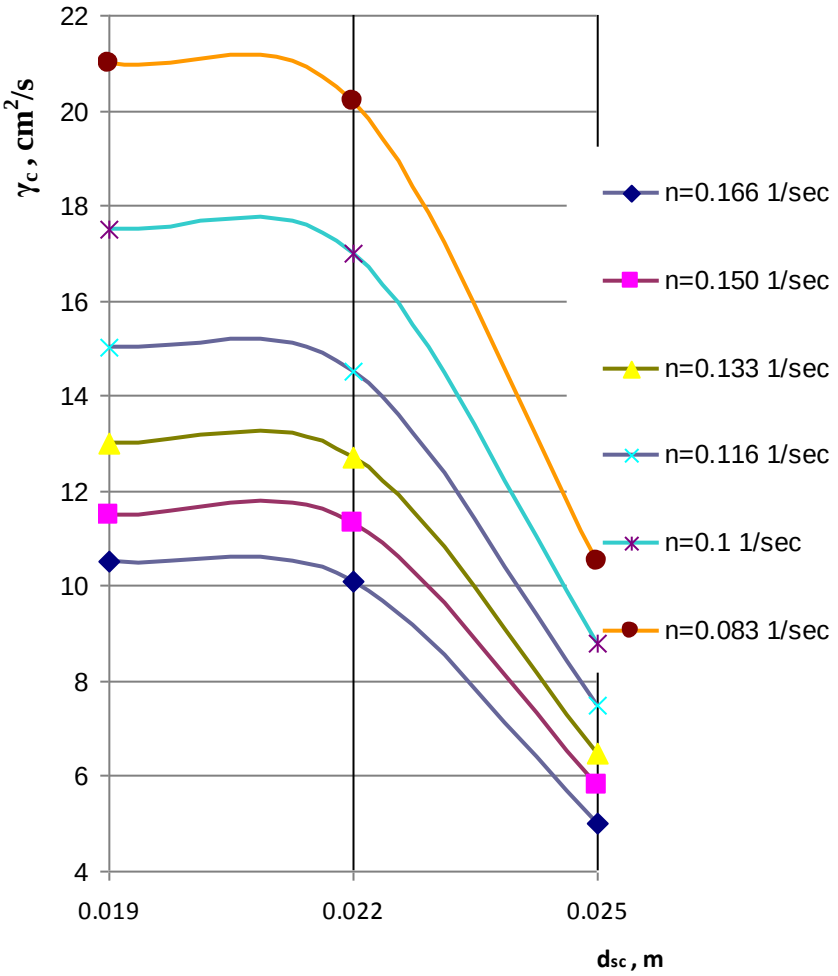
وقيم d_t مختلفة



الشكل رقم (3) العلاقة بين γ_c و n من أجل:

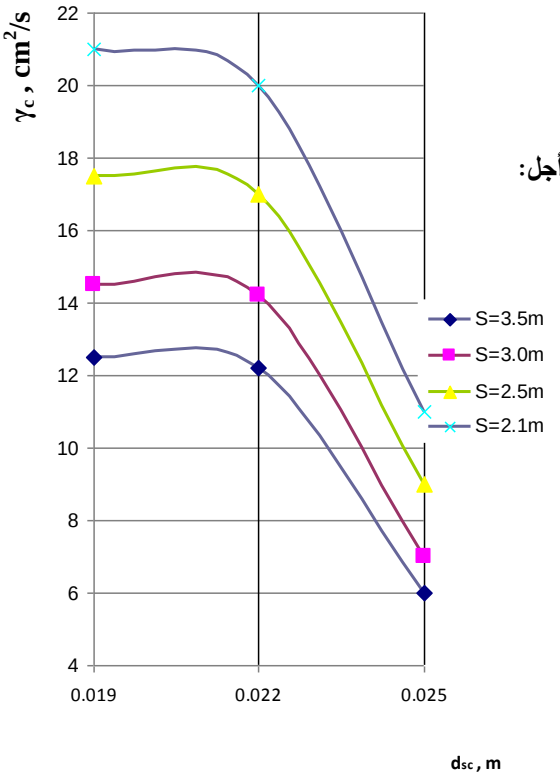
d_{sc}=0.025m , S=2.1m , ρ_t=950Kg/m^3

وقيم d_t مختلفة



الشكل رقم (4) العلاقة بين γ_c و d_{sc} من أجل:

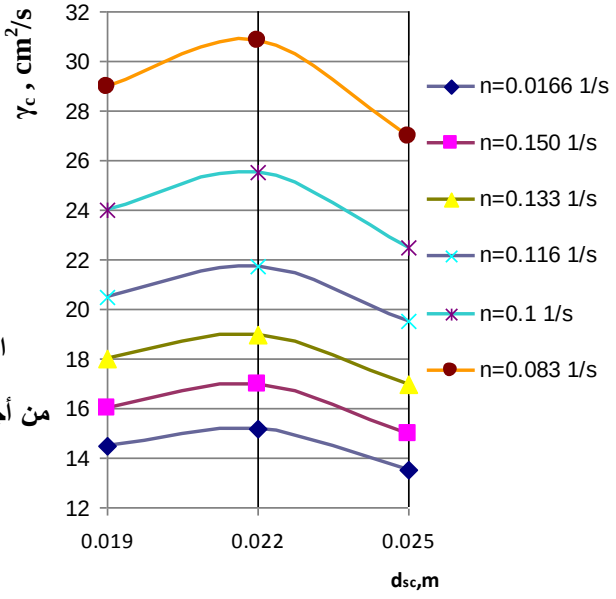
$S=2.1m$, $\rho_t=950Kg/m^3$, $d_t=0.062m$ وقيم n مختلفة



الشكل رقم (5) العلاقة بين γ_c و d_{sc} من أجل:

$n=0.083$ 1/sec , $\rho_t=950Kg/m^3$,

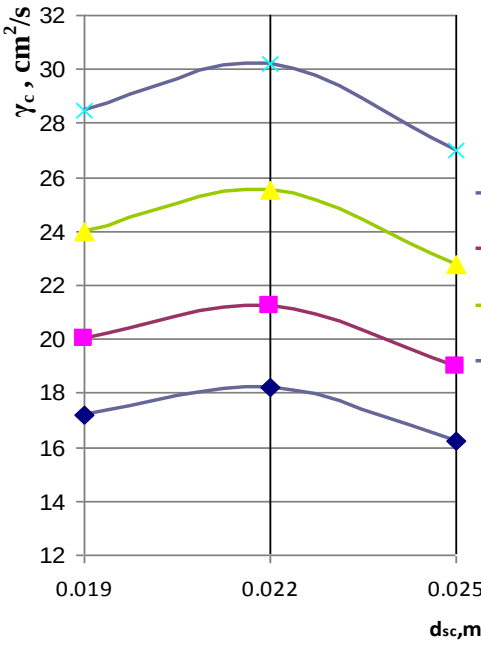
$d_t = 0.062m$ وقيم S مختلفة



الشكل رقم (6) العلاقة بين γ_c و d_{sc}

من أجل: , $\rho_t=950Kg/m^3$, $S=2.1m$

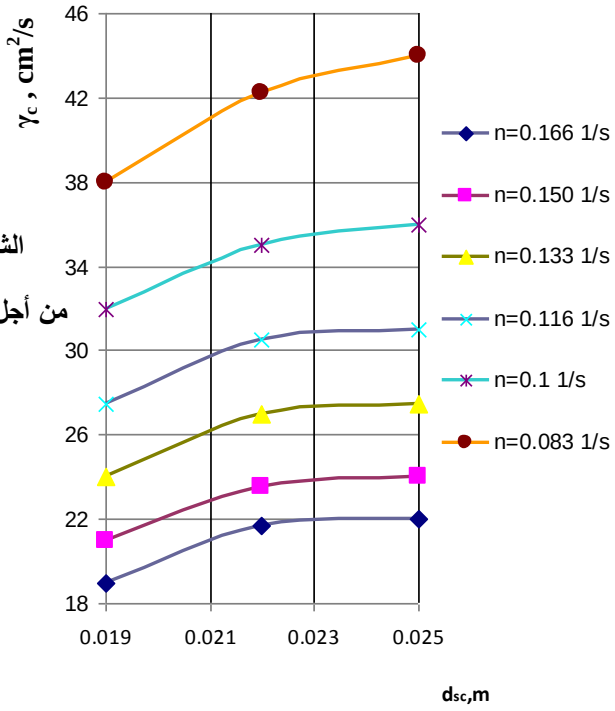
$d_t=0.073m$ وقيم n مختلفة



الشكل رقم (7) العلاقة بين γ_c و d_{sc} من أجل:

$n=0.083$ 1/sec , $\rho_t=950Kg/m^3$,

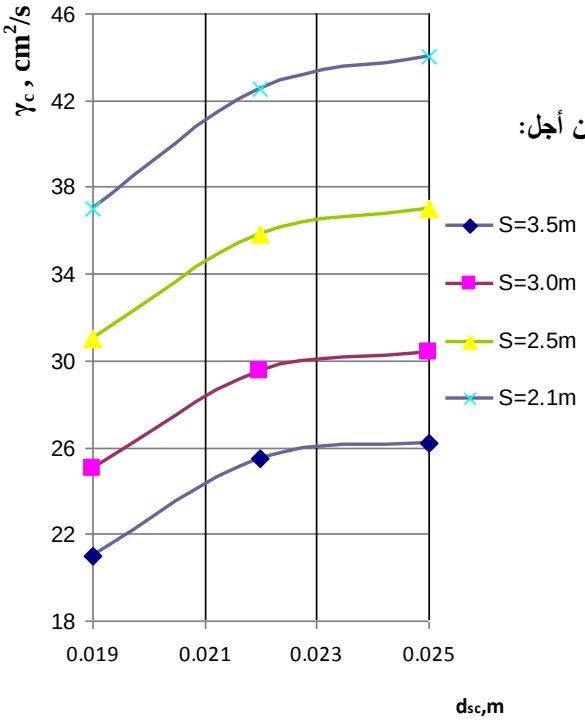
$d_t=0.073m$ وقيم S مختلفة



الشكل رقم (8) العلاقة بين γ_c و d_{sc}

من أجل: , $\rho_t=950Kg/m^3$, $S=2.1m$

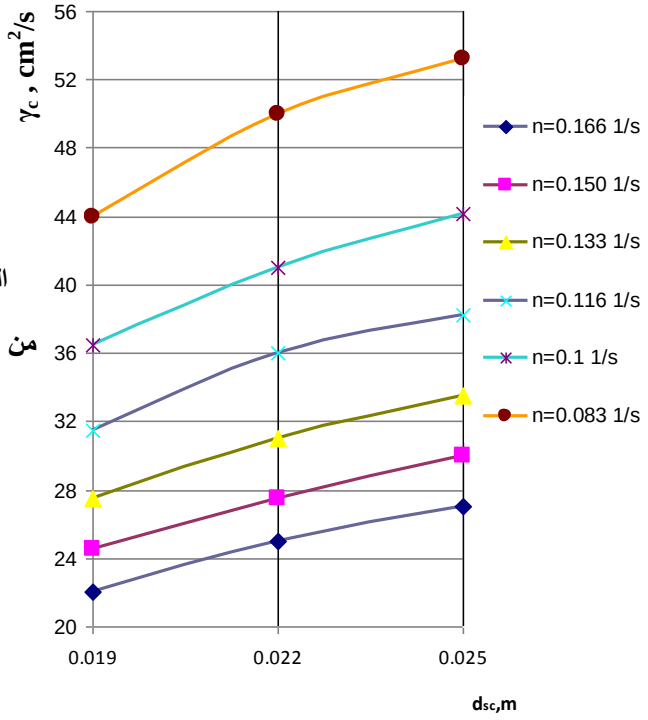
$d_t = 0.089m$ وقيم n مختلفة



الشكل رقم (9) العلاقة بين γ_c و d_{sc} من أجل:

$n=0.083$ 1/s , $\rho_t=950Kg/m^3$,

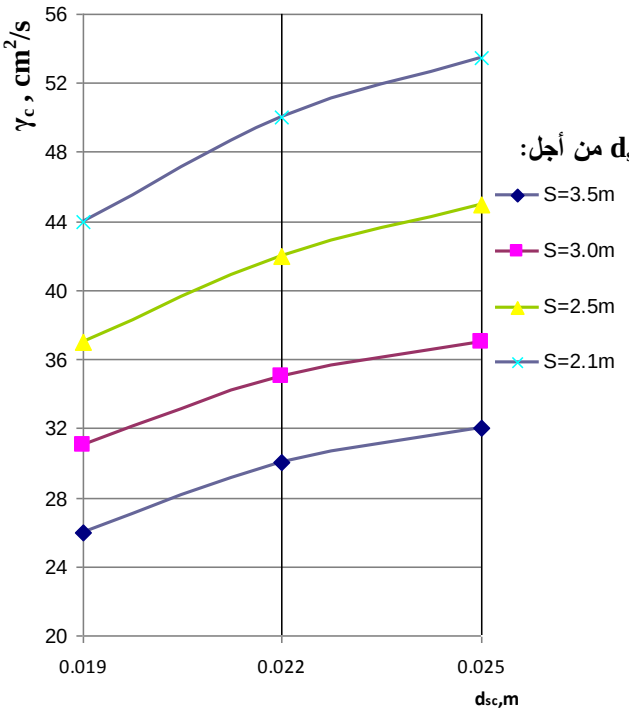
$d_t=0.089m$ وقيم S مختلفة



الشكل رقم (10) العلاقة بين γ_c و d_{sc}

من أجل: $S=2.1m$, $\rho_t=950Kg/m^3$,

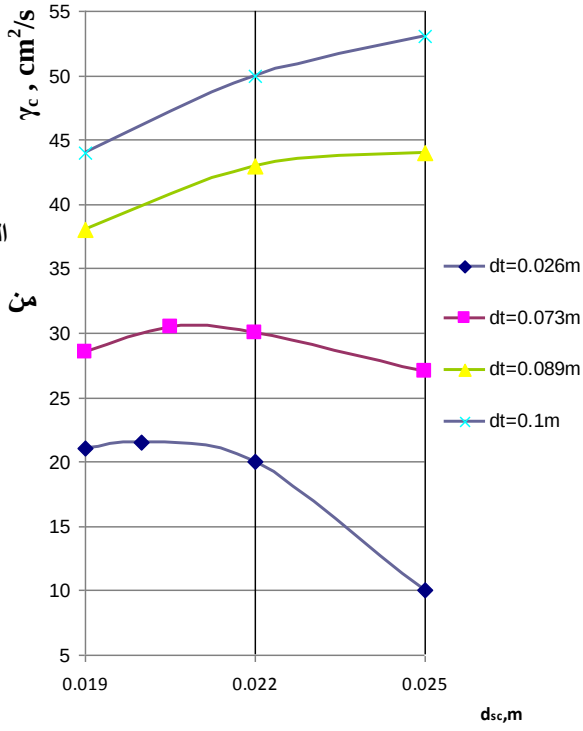
$d_t=0.1m$ وقيم n مختلفة



الشكل رقم (11) العلاقة بين γ_c و d_{sc} من أجل:

$S=2.1m$, $\rho_t=950Kg/m^3$,

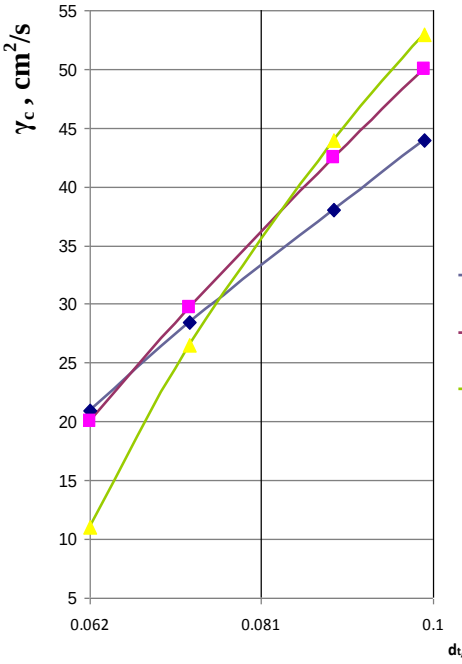
$d_t = 0.1m$ وقيم S مختلفة



الشكل رقم (12) العلاقة بين γ_c و d_{sc}

من أجل: $S=2.1m$, $\rho_t=950Kg/m^3$,

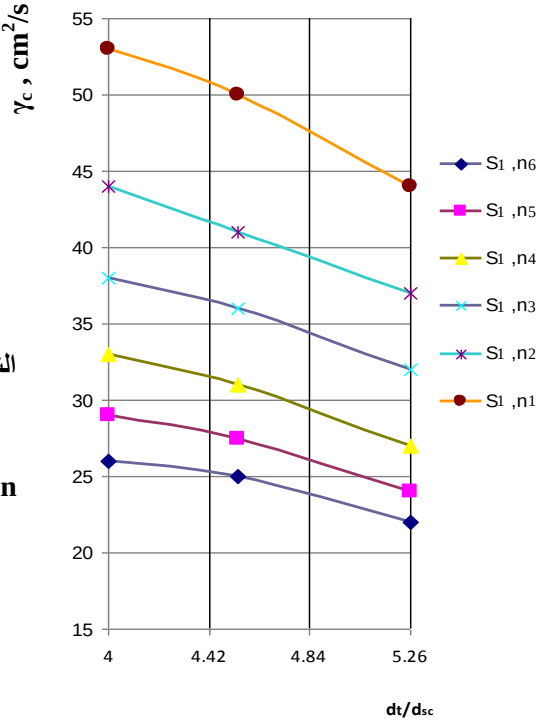
$n=0.083$ 1/s وقيم d_t مختلفة



الشكل رقم (13) العلاقة بين γ_c و d_t من أجل:

$S=2.1m$, $\rho_\ell=950Kg/m^3$, $n=0.083$ 1/s

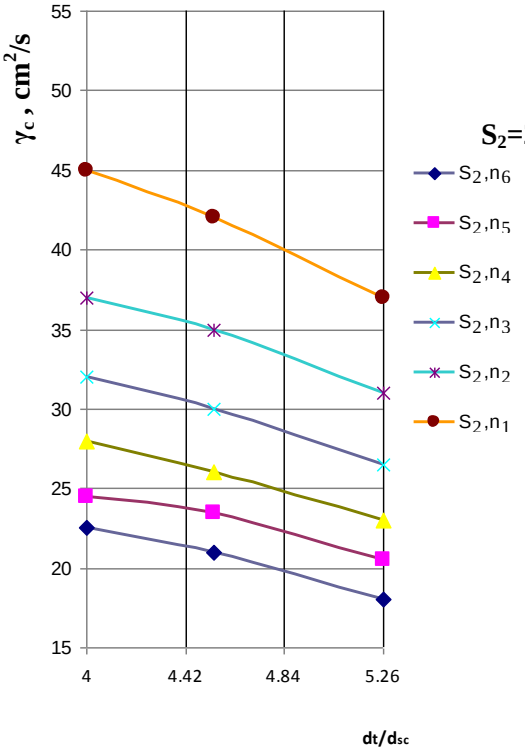
وقيم d_{sc} مختلفة



الشكل رقم (14) العلاقة بين γ_c و d_t/d_{sc}

من أجل: , $S_1=2.1m$, $n_1=3$, $n_2=5$

$n_3=6$, $n_4=7$, $n_5=8$, $n_6=9$, 1/min



الشكل رقم (15) العلاقة بين γ_c و d_t/d_{sc}

من أجل: S_2=2.5m , n_1=3 , n_2=5 , n_3=6 ,

n_4=7 , n_5=8 , n_6=9 , 1/min

قراءة وتفسير المنحنيات الواردة للأشكال (1-15) يمكن صياغة النتائج التالية:

1- تـزداد القيمـة الحديـة للّزوجـة بازديـاد أقطـار مواسـير الإنتـاج وقضـبان الضـخ وبنقصـان قيم بـارامترات عمل وحدة الضـخ (n , s) أي: d_{sc} = 0.025 m و $S = 2.1$ m و $n = 3$ 1/min, $d_t = 0.1$ m. الأشكال (6 – 3) و(13 – 7).

2- من خـلال تحليل علاقة γ_c مع $\frac{d_t}{d_{sc}}$ نلاحظ زيادة القيمة الحدية للزوجة مع نقصان قيمة هذه النسبة. الأشكال (15-14).

3- تؤكد قراءة المنحنيات للنتائج الحسابية أنه بزيادة قطر مواسير الإنتاج مع ثبات قطر قضبان الضخ وبغض النظر عن قيم بارامترات عمل وحدة الضخ (n , s) تزداد القيمة الحدية للّزوجة وذلك بسبب زيادة قيمة مساحة الفراغ الحلقي بين المواسير وقضبان الضخ. حيث يتضح من الأشكال (2,3,13) أن قيمة γ_c تزداد بحدود خمسة مرات عند زيادة d_t من 0.062 m حتى 0.1m من أجل قطر قضبان الضخ

d_{sc} = 0.025 m. وهذا يقود إلى أنه بزيادة قطر مواسير الإنتاج من 0.062m حتى 0.1m مع بقاء قطر قضبان الضخ ثابت يمنع حدوث تعليق.

4- يلاحظ أن تغيّر أقطار قضبان الضخ من أجل قيم معينة مختلفة لقطر مواسير الإنتاج يعطي نتائج غير منسجمة فيما بينها من حيث تأثيرها على القيمة الحدية للّزوجة بسبب التباين الكبير بين قيم مختلف أقطار مواسير الإنتاج ومختلف قيم أقطار قضبان الضخ.

فمثلاً من أجل قطر داخلي لمواسير الإنتاج 0.062 فإن زيادة قطر قضبان الضخ من 0.019m حتى 0.022m تؤدي إلى نقصان γ_c بشكل بسيط بينما زيادة قطر قضبان الضخ من 0.022m حتى 0.025m تؤدي إلى نقصان قيمة γ_c بحوالي مرتين. الأشكال (4,5,12,13).

ومن أجل d_t = 0.073 m فإن تغيير d_{sc} يؤدي إلى ظهور تشوه في منحني تغيير قيمة γ_c ويرافق هذا التشوه نهاية عظمى لها. حيث أن زيادة قطر قضبان الضخ من 0.019m حتى 0.022m تؤدي إلى زيادة بسيطة في قيمة اللزوجة γ_c بينما تتناقص بشكل ملحوظ عند زيادة قيمة قطر قضبان الضخ من 0.022m حتى 0.025m الأشكال (6 , 7 , 12 , 13). وأخيراً من أجل أقطار مواسير الإنتاج 0.089m و0.1m فإن زيادة قطر قضبان الضخ تؤدي إلى زيادة قيمة γ_c وهذه الزيادة هي أكبر من أجل d_t = 0.1 m. الأشكال (8 , 13).

5- من المفضل استخدام قضبان الضخ بقطر 0.022m مع مواسير الإنتاج بقطر 0.073m، حيث أن قيمة اللزوجة γ_c المقابلة تكون أكبر ما يمكن، واحتمال تعليق قضبان الضخ قليل سيما أن هذه القضبان تحقق إجهادات الشد التي تتعرض لها في آبار سعيد وزاربا.

6- لا ينصح إطلاقاً باستخدام قضبان الضخ بقطر 0.025m مع مواسير الإنتاج بقطر 0.062 لأنها تقابل قيمة صغرى لقيمة اللزوجة γ_c، وبالتالي هناك احتمال كبير لتعليق قضبان الضخ.

المراجع

1. Первердян А.М. Гидродинамика глубиннонасосной эксплуатации . М..Недра.1966.

2. Каплан А.Р.К расчету работы штанговой насосной установки в вязкой жидкости . Сб. Добыча нефти. Вып.62,ВНИИНефть,1977.

3. Казак А.С.Технология и техника эксплуатации скважин с тяжелой высоковязкой нефтью. М., 1979, ВНИИОЭНГ.

4. Калимуллин Н.Г., Жуков П.В., Владимиров А.А., Сансиев В.Г., Клементьев А.Н. Особенности добычи, сбора и подготовки тяжелой нефти на Усинском нфтяном месторождении М.,1984,ВНИИОЭНГ,Вып.13.85.

5. Валеев М.Д. Добыча высоковязкой нефти на месторождениях Башкирии.М.,1985,ВНИИОЭНГ Вып.2(91).

6. И.Т.Мищенко. Анализ современного состояния и совершенствование технологии и техники механизированных способов в осложненных условиях .М.,2002.

Avoidance Slowing movement sucker rods throw lifting viscose oil by beam pump at SAZBA fields

Summary

The process of producing viscous oil is encountering a set of difficulties which can not be resolved without a high coast. Whereas the production of light oil is done by applying certain technical means or technological procedures in order to avoid encountering difficulties of this kind, producing light oil in the Syrian fields (Sazaba fields) is basically done by using the hanging pumps and without the application of any technology or special technological procedures. This is why the objective of this research rests in the attempt to study the possibility of avoiding slowing movement the sucker rods during the down stroke (one of the problems in raising the viscous oil) through the study of deciding the degree of critical viscosity, starting with the conditions of slowing movement the sucker rods for different systems of the diameter of production tubing and sucker rods and different working systems for pumping units by using some relations which ties these indicators (needles) together and applying them in the studied fields. The treatment resulted in a number of findings indicating a practical improvement in the environment of raising the viscous oil, in terms of choosing the diameter of the pumping column in relation to the diameter of the production tubes and the work system of the pumping units starting with the conditions of the sucker rods. This is on the one hand, on the other hand, this is looked at as a prospective economic direction as long as certain technological methods are applied for reducing the viscosity. This is only done by means of recognizing certain values and working towards achieving them for avoiding prospective problems.