

УДК 622.245

**ОБЧИСЛЕННЯ ПЛОЩІ КОНТАКТУ БУРОВОЇ ТРУБИ
ІЗ ЗАСТІЙНОЮ ЗОНОЮ****Я. С. Білецький¹, М. В. Сенюшкович¹,
І. Я. Білецька¹, М. М. Осипчук²**

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (342) 72-71-31; e-mail: vupahidnuc@gmail.com

²Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;
76018, Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57; e-mail: myosyp@ukr.net

Встановлено регресійні залежності площі контакту бурильних і обважнених бурильних труб із застійною зоною від кроку спіралі бурильної колони і висоти сегменту застійної зони.

Ключові слова: *площа контакту бурильної колони із застійною зоною, крок спіралі бурильної колони, регресійна залежність, надійний інтервал.*

1. Актуальність теми. Повнота заміщення рідини в кільцевому просторі між обсадною і бурильною колонами труб суттєво залежить від положення труб і тіксотропних властивостей промивальної рідини, тобто площі контакту бурильної колони із застійною зоною. Цей чинник є визначальним при вивченні умов формування і наступного руху потоку рідини та розробці заходів із забезпечення повного витіснення промивальної рідини в інтервалі цементування [1-3].

2. Постановка задачі дослідження. Мета ропягає у визначенні регресійних залежностей площі контакту бурильних і обважнених бурильних труб із застійною застою від кроку спіралі бурильної колони і висоти сегменту застійної зони.

3. Математична модель

Розглянемо систему координат (x, y, z) , в якій обсадна труба має форму кругового циліндра. Нехай вісь бурової труби задається системою рівнянь $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$, при $0 \leq t \leq L$, де

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= (R - r) \cos\left(\frac{2\pi t}{L}\right), \\ y(t) &= (R - r) \sin\left(\frac{2\pi t}{L}\right), \\ z(t) &= t. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Тут R – радіус обсадної труби, r – радіус бурової труби, L – крок спіралі бурової труби.

Тоді поверхня бурової труби задається параметричною системою рівнянь $x = X(t, \varphi)$, $y = Y(t, \varphi)$, $z = Z(t, \varphi)$ при $0 \leq t \leq L$, $0 \leq \varphi < 2\pi$, де

$$\left. \begin{aligned} X(t, \varphi) &= (R-r) \cos\left(\frac{2\pi t}{L}\right) + \frac{Lr \cos(\varphi)}{\sqrt{L^2 + 4\pi^2(R-r)^2 \sin^2\left(\frac{2\pi t}{L} - \varphi\right)}}, \\ Y(t, \varphi) &= (R-r) \sin\left(\frac{2\pi t}{L}\right) + \frac{Lr \sin(\varphi)}{\sqrt{L^2 + 4\pi^2(R-r)^2 \sin^2\left(\frac{2\pi t}{L} - \varphi\right)}}, \\ Z(t, \varphi) &= t + \frac{2\pi r(R-r) \sin\left(\frac{2\pi t}{L} - \varphi\right)}{\sqrt{L^2 + 4\pi^2(R-r)^2 \sin^2\left(\frac{2\pi t}{L} - \varphi\right)}}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

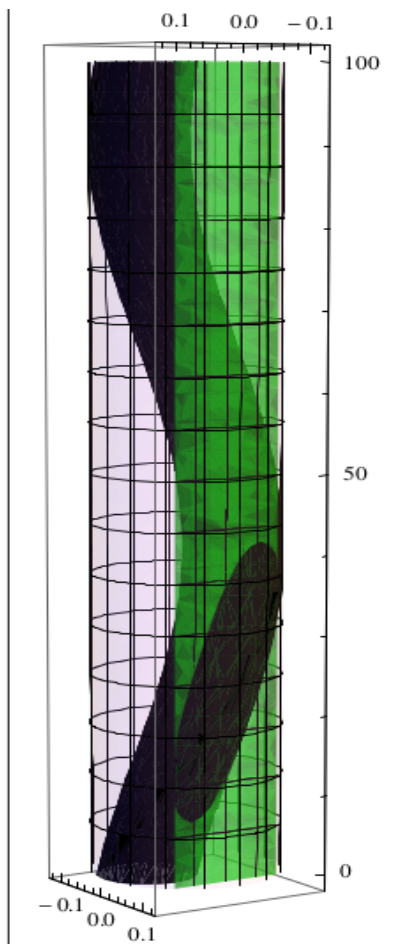


Рис. 1. Поверхні обсадної і бурової труб, нашарування (розміри в метрах)

При виведенні цих рівнянь враховано, що

$$\begin{aligned} x'(t)(x - x(t)) + y'(t)(y - y(t)) + \\ + z'(t)(z - z(t)) &= 0; \\ (x - x(t))^2 + (y - y(t))^2 + (z - z(t))^2 &= r^2. \end{aligned}$$

Нехай на відстані $R - h$ ($0 < h < R$) від осі обсадної труби паралельно до неї і перпендикулярно до осі Ox розміщена площина границі застійної зони. На рис. 1 зображено всі згадані поверхні за наведеними рівняннями.

Перерізи бурової колони в місцях контакту бурової труби із застійною зоною зображено на рис. 2.

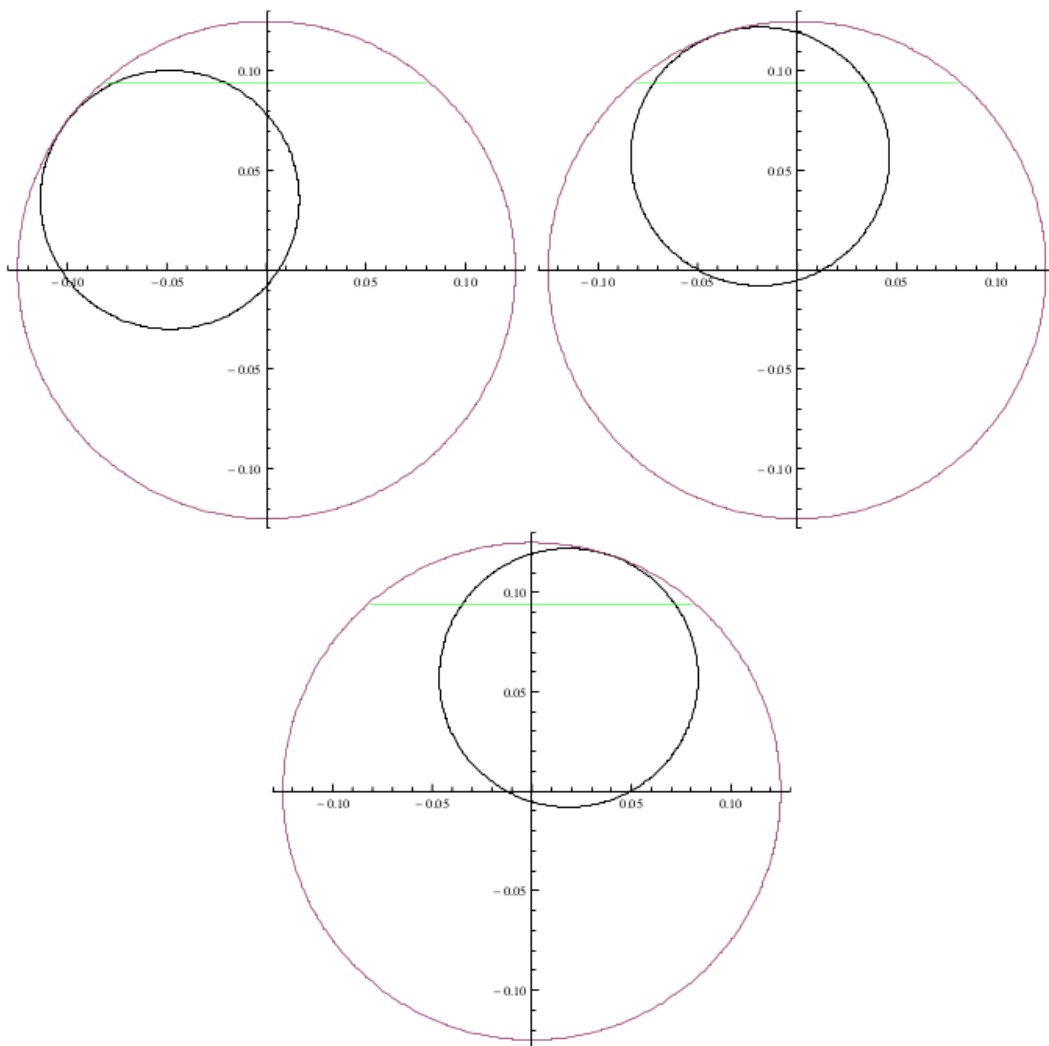


Рис. 2. Поперечні перерізи бурильної колони в місцях контакту бурильної труби із застійною зоною (розміри в метрах)

Тоді площу поверхні частини бурової труби, яка перебуває у контакті із застійною зоною, можна обчислити за допомогою інтеграла

$$S = \int_0^L dt \int_0^{2\pi} \sqrt{EG - F^2} I_{X(t,\varphi) \geq (R-h)} d\varphi, \quad (3)$$

в якому $E = X'_t(t, \varphi)^2 + Y'_t(t, \varphi)^2 + Z'_t(t, \varphi)^2$, $G = X'_\varphi(t, \varphi)^2 + Y'_\varphi(t, \varphi)^2 + Z'_\varphi(t, \varphi)^2$,
 $F = X'_t(t, \varphi)X'_\varphi(t, \varphi) + Y'_t(t, \varphi)Y'_\varphi(t, \varphi) + Z'_t(t, \varphi)Z'_\varphi(t, \varphi)$,

$$I_{X(t,\varphi) \geq u} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } X(t, \varphi) \geq u; \\ 0, & \text{якщо } X(t, \varphi) < u. \end{cases}$$

Через громізdkість аналітичних формул площу контакту бурильної колони з нашаруванням будемо обчислювати чисельно. Для прикладу візьмемо: $R = 0,125 \text{ м}$, $r = 0,065 \text{ м}$, $L = 100, 200, \dots, 1000 \text{ м}$, $h = \frac{3}{4}R = 0,09375 \text{ м}$. В табл. 1 наведені результати розрахунків

Таблиця 1. Результати обчислення площі контакту бурильної колони із застійною зоною

L (м)	100	200	300	400	500
S (м ²)	3,47665	6,95766	10,4386	13,9197	17,4007
L (м)	600	700	800	900	1000
S (м ²)	20,8817	24,3627	27,8438	31,3248	34,8059

Враховуючи розміщення точок (S, L) на координатній площині (див. рис. 3) робимо висновок про лінійність залежності S від L . Оцінюючи параметри цієї залежності за результатами наведеної таблиці, одержуємо, що

$$S = -0,00439686 + 0,0348102L, \quad (4)$$

причому 95%-ковий надійний інтервал для коефіцієнта біля L становить

$$(0,0348101; 0,0348103),$$

а для вільного члена –

$$(-0,00446607; -0,00432766),$$

тобто обидва параметри є значимими.

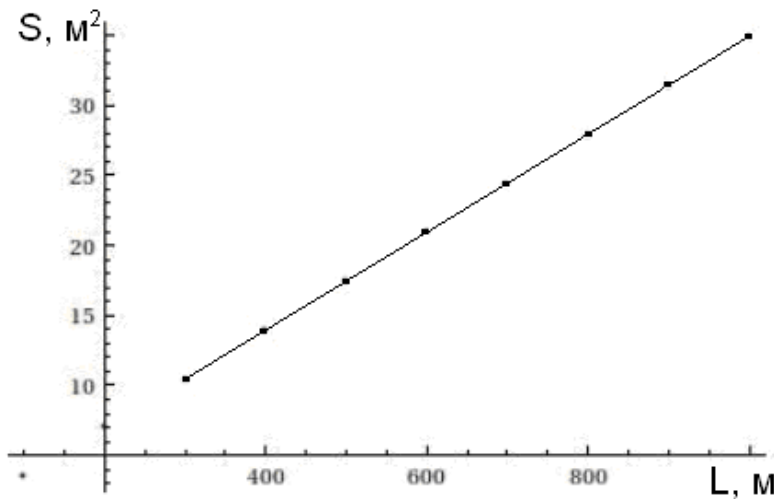


Рис. 3. Залежність площі контакту від кроку спіралі бурової труби

4. Результати досліджень

Розглянемо наступне компонування бурильної колони:

- 1). діаметр (внутрішній) обсадної труби 0,2785 м;
- 2). діаметр (зовнішній) бурильної труби 0,127 м;
- 3). діаметр (зовнішній) обваженої бурильної труби 0,178 м.

Шукатимемо площу контакту бурильної колони із застійною зоною як функцію від невідомих параметрів: довжини L кроку спіралі бурильної колони, висоти h сегменту застійної зони, яка визначається властивостями промивальної рідини. Розглянемо значення $L = 100, 200, \dots, 1000$ (м) і $h = R/2, R/3, \dots, R/10$, де R – радіус обсадної труби.

Для $R = 0,2785/2$ і радіуса бурильної труби $r = 0,127/2$ одержуємо значення, які графічно зображено на рис. 4.

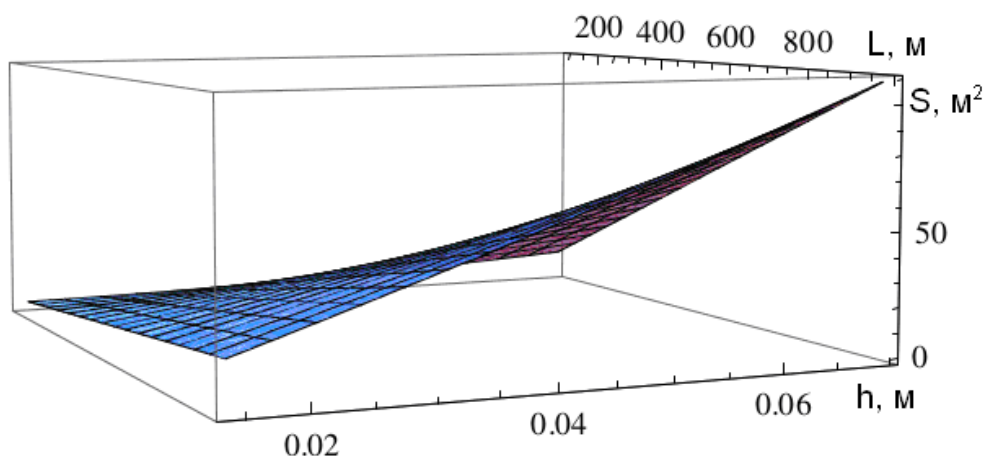


Рис. 4. Емпірична залежність площі контакту від кроку спіралі бурильної колони і товщини застійної зони

З вигляду розміщення значень площі S контакту робимо висновок про квадратичну залежність S від L і h . Оцінивши параметри цієї залежності методом найменших квадратів, отримуємо згадану регресійну залежність

$$S = 1,7862 - 116,987h + 1436,04h^2 - 0,00285797L + 1,0899hL + 2,67958 \cdot 10^{-10}L^2$$

Останнім доданком в цій залежності можна знехтувати, оскільки він є незначимим. Про це свідчать надійні інтервали для коефіцієнтів наведеної квадратичної залежності. Для рівня надійності 0.95 вони є такими (відповідно до порядку слідування коефіцієнтів)

$$(1,47068; 2,10174), (-131,482; -102,493), (1272,57; 1599,51), \\ (1,08064; 1,09916), (-0,00361795; -0,00209799), \\ (-6,26962 \times 10^{-7}; 6,27498 \times 10^{-7}).$$

Як видно, тільки останній інтервал містить нуль. Тобто усі, крім останнього коефіцієнта квадратичної залежності, є значимими.

Враховавши це, методом найменших квадратів одержуємо остаточну регресійну залежність

$$S = 1,78615 - 116,987h + 1436,04h^2 - 0,00285767L + 1,0899hL. \quad (5)$$

Графік поверхні, що задається цією залежністю, зображено на рис. 5.

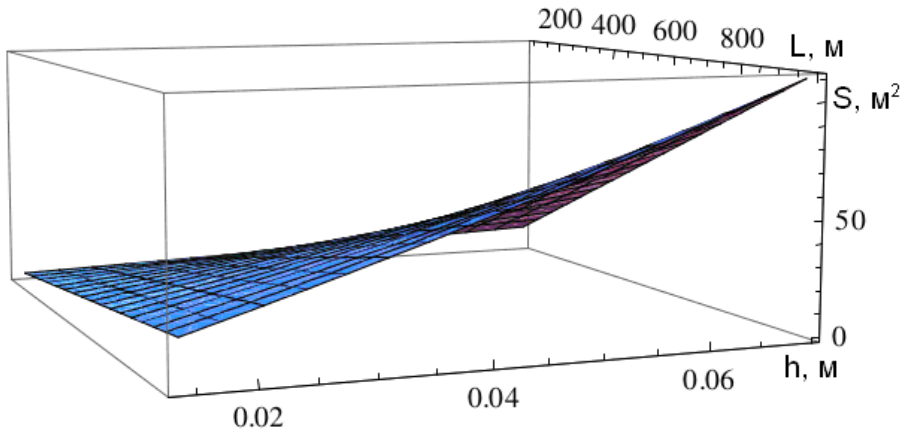


Рис. 5. Регресійна залежність площі контакту від кроку спіралі бурильної колони і товщини застійної зони

Порівнявши його з рис.4, можемо стверджувати про добру відповідність емпіричної залежності результатам розрахунків. Про це також свідчать результати дисперсійного аналізу наведені в табл. 2. Дійсно, сума квадратів відхилень обчислених значень площі контакту та значень цієї площі, які задаються емпіричною формулою, є дуже малою ($SS\ Error=3,97109$) в порівнянні з сумою квадратів відхилень обчислених значень від свого середнього значення ($SS\ Total=18642,2$). Це означає, що $(1 - 3,97109 : 18642,2) \cdot 100\% = 99,98\%$ загальної мінливості значень S описується одержаною залежністю.

Табл. 2. Результати дисперсійного аналізу регресійної залежності площі контакту бурильної колони із застійною зоною

	DF	SS	MS	F-Statistic	P-Value
h	1	9496,47	9496.47	203269.	$2.16572 \cdot 10^{-145}$
h^2	1	14,4277	14.4277	308,82	$4.86983 \cdot 10^{-30}$
$h \cdot L$	1	9112,28	9112.28	195045.	$1.25179 \cdot 10^{-144}$
L	1	15,0363	15.0363	321,848	$1.21611 \cdot 10^{-30}$
Error	85	3,97109	0,0467187		
Total	89	18642,2			

Аналогічні результати одержано і для обваженої бурильної труби. Регресійна залежність S від L і h має вигляд

$$S = 3.08555 - 201.937h + 2479.67h^2 - 0.00477062L + 1.61889hL. \quad (6)$$

Таблиця дисперсійного аналізу (табл. 3) свідчить про те, що 99,97% всієї мінливості результатів обчислення площі контакту труби із застійною зоною описує наведена залежність.

Табл. 3. Результати дисперсійного аналізу регресійної залежності площі контакту обваженої бурильної труби із застійною зоною

	DF	SS	MS	F-Statistic	P-Value
h	1	20954.2	20954,2	149289.	$1,07069 \cdot 10^{-139}$
h^2	1	43,0181	43,0181	306,484	$6,27588 \cdot 10^{-30}$
$h \cdot L$	1	19753,4	19753,4	140734.	$1,31316 \cdot 10^{-138}$
L	1	41,905	41,905	298,554	$1,5018 \cdot 10^{-29}$
Error	85	11,9306	0,14036		
Total	89	40804,4			

Висновки.

Встановлено регресійні залежності (5), (6) площі контакту бурильних труб і обважнених бурильних труб із застійною зоною, які описують понад 99,9% усієї мінливості результатів обчислення площі S .

Література

1. Атрафьян М.О. Технология разобщения пластов в осложнённых условиях / М.О. Астрофьян. – М.: Недра, 1989. – 228 с.
2. Гідравлічний розширювач свердловини з ексцентричними робочими елементами / Я.С. Білецький, М.М. Білецький, Я.С. Коцкулич та ін. // Патент України на винахід №97903, МПК E21 B 7/28, Бюл. №6. 26.03.2012 р.
3. Гідравлічний розширювач свердловини з підпружиненими ексцентричними робочими елементами / Я.С. Білецький, М.С. Білецький, М.В. Синошкович та ін. // Позитив. Рішення по заяв. №U201306268 на корисну модель від 21.05.2013 р.

Стаття надійшла до редакційної колегії 12.12.2014 р.

Рекомендовано до друку д.т.н., професором Векериком В.І., к.т.н. Мрозеком Є.Р. (м. Київ)

**CALCULATION OF AREA OF CONTACT OF BORING PIPE
WITH STAGNANT AREA**

**Y. S. Biletsky¹, V. M. Seniushkovych¹, I. Y. Biletska¹,
M. M. Osypchuk²**

¹*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivs'k, Carpathians str., 15;
e-mail: vynahidnyc@gmail.com*

²*Vasyl Stefanyk Precarpathian National University;
76018, Ivano-Frankivsk, Shevchenko str., 57;
e-mail: myosyp@ukr.net*

Regressive dependences of area of contact of boring and obvagnenih boring pipes from stagnant are set by an area from the step of spiral of boring column and height of segment of stagnant area.

Key words: *area of contact of boring column with a stagnant area, step of spiral of boring column, regressive dependence, reliable interval.*