

Jednostavna metoda procjene maksimalnog kapaciteta proizvodnje kapljevine korištenjem sustavaklipnog (plunžernog) plinskog lifta u bušotinama

A. Bahadori, G. Zahedi, S. Zendejboudi, A. Jamili

PREGLEDNI ČLANAK

Klipni (plunžerni) plinski lift je ciklička metoda umjetnog podizanja nafte koja koristi plunđer (klip) za uspostavljanje razdjelne površine između kapljevine akumulirane u koloni uzlaznih cijevi i ležišta ili tlaka plina u prstenastom prostoru koji će biti upotrijebljen za podizanje kapljevine u bušotinama.

U ovom je radu, maksimalni mogući kapacitet proizvodnje koji će podnijeti plunžerni plinski lift za danu dubinu i dimenzije uzlazne cijevi, postavljen na kvantitativnoj osnovi pomoću jednostavnih jednadžbi dobivenih iz korelacije terenskih podataka. Predikativni alat razvijen u ovoj studiji može biti od velike praktične vrijednosti naftnim inženjerima za brzu provjeru maksimalnog mogućeg kapaciteta proizvodnje kapljevine koji će podnijeti plunžerni plinski lift, za danu dubinu bušotine i promjere uzlaznih cijevi kod različitih bušotina, bez potrebe biranja između nekih skupih proba na terenu.

Ključne riječi: plunžerni plinski lift, kolone uzlazne cijevi, proizvodnja nafte, Vandermondova matrica, predikativni alat

1. Uvod

Plunžerni plinski lift je metoda periodičkog umjetnog podizanja nafte koja za proizvodnju kapljevine obično koristi samo energiju ležišta.¹² Plunđer je klip koji se slobodno giba a montiran je unutar kolone uzlazne cijevi i ovisi o tlaku bušotine za podizanje a za vraćanje na dno bušotine samo o težini. Plunžerni plinski lift djeluje u bušotini kao ciklički proces s naizmjeničnim protjecanjem i zatvaranjem.⁶ Mnoge plinske bušotine malog volumena imaju proizvodnju ispod optimalne stope jer stupac kapljevine nastao akumulacijom kapljevine u kanalu bušotine stvara dodatni protutlak u ležištu i smanjuje proizvodnju, zbog toga plunžerni plinski lift može koristiti energiju ležišta za uklanjanje akumulirane kapljevine iz kanala bušotine i unaprijediti proizvodnju. Ograničeno razumijevanje plunžernog plinskog lifta dovodi u mnogo slučajeva do razočaravajućih rezultata.^{9,8}

Jedna od tipičnih instalacija plunžernog plinskog lifta prikazana je na slici 1. Djelovanje plunžernog plinskog lifta je teško optimizirati zbog nedovoljnog poznavanja tlaka u uzlaznoj cijevi, prstenastom prostoru cijevi, tlaku na dnu bušotine, akumulaciji kapljevine u uzlaznoj cijevi i lokaciji plunžera.^{14,15}

Budući da je primjena metoda podizanja nafte u bušotini uključuje troškove, poželjna je mogućnost da se unaprijed predvidi hoće li plunžerni plinski lift u bušotini raditi ili ne. Iako plunžerni plinski lift nije preskup, mogućnost potrebe dodatne opreme može povećati početne troškove.^{8,9} Vrijeme stajanja instalaciju, podešavanja potrebna da bi se vidjelo dali će instalirani plunđer raditi i podešavanja u cilju optimizacije

proizvodnje bušotine, predstavljaju dodatne troškove⁵, zbog toga je vrijedna mogućnost unaprijed predvidjeti najveći mogući kapacitet proizvodnje korištenjem sustava plunžernog plinskog lifta.

U svjetlu gore navedenih pitanja i važnosti plunžernog plinskog lifta u naftnom inženjerstvu, potrebno je razviti sigurnu i jednostavnu korelaciju koja omogućuje matematičko rješenje problema promjera plunžernog plinskog lifta za danu bušotinu. U ovom je radu maksimalni kapacitet proizvodnje uz korištenje plunžernog plinskog lifta, zamišljen i razrađen kao funkcija dubine bušotine i dimenzija uzlazne cijevi.

U ovom se članku raspravlja o formulaciji takvog prediktivnog alata na sustavan način uz dani primjer, kako bi se pokazala jednostavnost modela i korisnost takvog alata. Predložena metoda je eksponencijalna funkcija koja vodi do jednadžbi koje se dobro se ponašaju (tj. one su izglađene i neoscilirajuće) i omogućuju sigurnija i nekolebljiva predviđanja što je jasna prednost predložene metode.

2. Metodika razvoja nove korelacije

Primarna svrha predstavljene studije je sigurna korelacija maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta kao funkcije promjera kolone uzlazne cijevi i dubine bušotine.

Vandermondova matrica je matrica s članovima geometrijske progresije u svakom retku, tj $m \times n$ matrica.⁴

$$V = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_1 & \alpha_1^2 & \dots & \alpha_1^{n-1} \\ 1 & \alpha_2 & \alpha_2^2 & \dots & \alpha_2^{n-1} \\ 1 & \alpha_3 & \alpha_3^2 & \dots & \alpha_3^{n-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \alpha_m & \alpha_m^2 & \dots & \alpha_m^{n-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ili

$$V_{i,j} = \alpha_i^{j-1} \quad (2)$$

Za sve indekse i i j determinanta Vandermondove matrice (gdje je $m = n$) može se iskazati kao⁴:

$$\det(V) = \prod_{1 \leq i < j \leq n} (\alpha_j - \alpha_i) \quad (3)$$

Vandermondova matrica procjenjuje polinom na skupu točaka, točno, ona transformira koeficijente polinoma $a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{n-1}x^{n-1}$ na vrijednosti koje polinom ima na točkama α_i . Vandermondova determinanta, koja je za različite točke α_i uvijek različita od nule, pokazuje da se za različite točke, mapiranje iz koeficijenata na vrijednosti na tim točkama podudara jedan na jedan i tako problem interpolacije ima jedinstveno rješenje a rezultat se naziva teorem sa samo jednim rješenjem.⁷ Stoga se oni koriste za interpolaciju polinoma, budući da je rješavanje sustava linearnih jednadžbi $Vu = y$ za u s V i $m \times n$ Vandermondova matrica je ekvivalent za pronalaženje koeficijenata u_j polinoma (s).⁴

$$P(x) = \sum_{j=0}^{n-1} u_j x^j \quad (4)$$

Za stupanj $\leq n-1$ koji ima svojstvo:

$$P(\alpha_i) = y_i \text{ za } i=1 \dots m \quad (5)$$

Vandermondova matrica lako se može invertirati pomoću Lagrangeovog baznog polinoma. Svaki stupac je koeficijent Lagrangeovog baznog polinoma, s padajućim članovima u rastućem redu. Konačno rješenje interpolacijskog problema naziva se Lagrangeov polinom uz pretpostavku da je interpolacijski polinom u obliku^{7,4}:

$$P(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (6)$$

Naredba da p interpolira točke podataka znači da

$$P(x_i) = y_i \text{ za sve } i \in \{0, 1, \dots, n\}. \quad (7)$$

Supstitucijom jednadžbe (6) ovdje, dobiva se sustav linearnih jednadžbi u koeficijentima a_k . Sustav u obliku matrica-vektor glasi¹:

$$\begin{bmatrix} x_0^n & x_0^{n-1} & x_0^{n-2} & \dots & x_0 & 1 \\ x_1^n & x_1^{n-1} & x_1^{n-2} & \dots & x_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_n^n & x_n^{n-1} & x_n^{n-2} & \dots & x_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_n \\ a_{n-1} \\ \vdots \\ a_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

Ovaj sustav treba riješiti za a_k kako bi se dobio interpolant $p(x)$. Matrica na lijevoj strani obično se naziva Vandermondova matrica.¹

2.1. Razvoj korelacije

Podaci potrebni za razvoj ove korelacije uključuju maksimalni kapacitet proizvodnje nafte kao funkcije

Tablica 1. Koeficijenti podešeni korištenjem jednadž. (10-13)

Koeficijent	Vrijednosti za plunđer lift 5,08 cm (2 in.).
A_1	$2,250\ 690\ 914\ 8 \times 10^{-1}$
B_1	$8,509\ 437\ 393\ 7 \times 10^{-1}$
C_1	$7,208\ 176\ 853\ 9 \times 10^{-1}$
D_1	$-1,531\ 736\ 688\ 3 \times 10^{-1}$
A_2	$-3,036\ 046\ 326\ 9 \times 10^4$
B_2	$6,132\ 250\ 748\ 3 \times 10^4$
C_2	$-2,7106\ 472\ 588 \times 10^4$
D_2	$3,502\ 813\ 224\ 7 \times 10^3$
A_3	$2,653\ 775\ 026\ 1 \times 10^8$
B_3	$-3,903\ 936\ 458\ 1 \times 10^8$
C_3	$1,579\ 887\ 610\ 4 \times 10^8$
D_3	$-1,958\ 323\ 377\ 3 \times 10^7$
A_4	$-4,981\ 559\ 404\ 2 \times 10^{11}$
B_4	$6,702\ 434\ 249\ 7 \times 10^{11}$
C_4	$-2,629\ 064\ 897\ 9 \times 10^{11}$
D_4	$3,209\ 111\ 827\ 9 \times 10^{10}$

dimenzije uzlazne cijevi i dubine bušotine. Za razvoj ove korelacije primijenjena je slijedeća metodologija. Prvo, maksimalni kapacitet proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta koreliran je kao funkcija dubine bušotine za nekoliko promjera uzlazne cijevi, zatim su izračunati koeficijenti za te jednadžbe korelirani kao funkcija promjera uzlazne cijevi. Izvedene jednadžbe su primijenjene za izračunavanje novih koeficijenata u jednadžbi (9), za predviđanje maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta. U tablici 1. dani su podešeni koeficijenti za jednadžbe (10) do (13) za predviđanje maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte kako bi se potvrdila primjenjivost plunžernog plinskog lifta. Ukratko, slijedeći koraci se ponavljaju za podešavanje korelacijskih koeficijenata uz korištenje Matlaba.¹³:

1. korelirajte maksimalni kapacitet proizvodnje nafte korištenjem korištenjem plunžernog plinskog lifta kao funkciju dubine bušotine za danu dimenziju uzlazne cijevi.

2. ponovite korak 1 s podacima za drugi promjer uzlaznih cijevi.

3. korelirajte odgovarajuće koeficijente polinoma, koji su dobiveni za različite promjere uzlaznih cijevi u odnosu na dimenziju cijevi $a = f(dt)$, $b = f(dt)$, $c = f(dt)$, $d = f(dt)$, vidi jednadžbe (10)-(13).

Jednadžba (9) predstavlja predloženu generalnu jednadžbu u kojoj su četiri koeficijenta korištena za korelaciju maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta kao funkcije dubine bušotine i promjera uzlaznih cijevi, odgovarajući koeficijenti dani su u tablici 1.

$$\ln(q) = a + \frac{b}{L} + \frac{c}{L^2} + \frac{d}{L^3} \quad (9)$$

gdje je:

$$a = A_1 + B_1 d_i + C_1 d_i^2 + D_1 dt^3 \quad (10)$$

$$b = A_2 + B_2 d_i + C_2 d_i^2 + D_2 dt^3 \quad (11)$$

$$c = A_3 + B_3 d_i + C_3 d_i^2 + D_3 dt^3 \quad (12)$$

$$d = A_4 + B_4 d_i + C_4 d_i^2 + D_4 dt^3 \quad (13)$$

Ovi optimalno podešeni koeficijenti obuhvaćaju dubine bušotine do 6 096 m (20 000 ft) i dimenzije cijevi do 10,16 cm (4 in.). Optimalni podešeni koeficijenti dani u tablici 1 mogu se brzo ponovo podešiti prema predloženom konceptu, ukoliko ubuduće bude dostupno više podataka.

U ovom su radu nastojanja usmjerena na formulaciju korelacije, koja bi mogla pomoći inženjerima pri brzom izračunu maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta kao funkcije dubine bušotine i promjera uzlaznih cijevi. Predloženi novi alat razvijen u ovom radu je jednostavan i jedinstven izraz koji ne postoji u literaturi. Nadalje, selektirana eksponencijalna funkcija za razvoj alata vodi do jednadžbi koje se dobro ponašaju (tj. one su izglađene i neoscilirajuće) i omogućuju pouzdana i točna predviđanja.

3. Rezultati

Slika 2, prikazuje računalni program, na osnovi Matlab¹³, za izračun maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta kao funkcije dubine bušotine i dimenzija uzlaznih cijevi. Slika 3, prikazuje rezultate predložene metode za ekspanirajući kontrolirani ciklus plunžera u usporedbi s podacima.^{2,3} Sl. 4 prikazuje izglađenu izvedbu prediktivnog alata u predviđanju maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta kao funkcije dubine bušotine i promjera uzlaznih cijevi. Očekuje se da će napori u formuliranju alata utrti put za postizanje sigurnog predviđanja maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta, kao funkcije dubine bušotine i dimenzija uzlazne cijevi, koje naftni i inženjeri u proizvodnji mogu povremeno koristiti za praćenje ključnih parametara. U nastavku je naveden tipičan primjer za ilustraciju jednostavnosti korištenja predložene metode brze procjene maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta, koji potvrđuje primjenljivost plunžernog plinskog lifta u bušotini, kao funkcije dubine bušotine i promjera uzlaznih cijevi. Alat razvijen u ovoj studiji može biti koristan za stručnjake i inženjere za brzu provjeru maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta, kao funkcije dubine bušotine i promjera uzlaznih cijevi i potvrde primjenljivosti plunžernog plinskog lifta u bušotini kod različitih uvjeta, bez potrebe odlučivanja za neko eksperimentalno ispitivanje. Posebice, naftni inženjeri će naći pristup lak za korištenje s jasnim izračunima koji ne uključuju složene izraze.

3.1 Primjer

Bušotina dubine 2 134 m (7 000 ft) proizvodi korištenjem plunžernog plinskog lifta kroz cijev od 5,1 cm (2 in.). Kolika je najveća moguća proizvodnja kapljevine?

Riješenje:

$$a = 3,584\ 83 \text{ iz jednadžbe (10)}$$

$$b = 1,188\ 11 \text{ iz jednadžbe (11)}$$

$$c = -4,012\ 061 \text{ iz jednadžbe (12)}$$

$$d = 4,743\ 389 \text{ iz jednadžbe (13)}$$

$$q = 16 \text{ m}^3/\text{d} \text{ (100 bbl/d) iz jednadžbe (9)}$$

U ovom primjeru maksimalni kapacitet proizvodnje bušotine je približno 16 m³/d (100 bbl/d) uz korištenje plunžernog plinskog lifta.

4. Zaključci

U ovom radu su predstavljene za korištenje jednostavne jednadžbe, lakše od postojećih pristupa, jednostavnije s manje izračunavanja i prikladne za inženjere, kako bi procijenili maksimalni kapacitet proizvodnje nafte korištenjem plunžernog plinskog lifta, kao funkcije dubine bušotine i promjera uzlaznih cijevi. Za razliku od kompliciranih matematičkih pristupa predložena korelacija je jednostavna za korištenje i trebala bi biti značajna pomoć inženjerima, posebno onima koji se bave proizvodnjom nafte. Osim toga, razina matematičkih formula povezanih s procjenom maksimalnog kapaciteta proizvodnje nafte daje potporu primjenljivosti plunžernog lifta jer se njima može lako koristiti inženjer ili praktičar bez detaljnog poznavanja matematike. Prikazani primjer, koristan za inženjere, pokazuje jednostavnost i korisnost predloženog alata. Predložena metoda ima jasnu brojčanu podlogu, pri čemu se relevantni koeficijenti mogu brzo nanovo podešiti ako ubuduće bude dostupno više podataka.

Popis oznaka:

<i>i</i>	indeks
<i>j</i>	indeks
<i>dt</i>	dimenzija uzlazne cijevi cm (in.)
<i>L</i>	dubina bušotine, m (ft)
<i>m</i>	Indeks stupca matrice za $m \times n$ matricu
<i>n</i>	matrix column index for $m \times n$ matrix
<i>P</i>	polinom
<i>q</i>	maksimalni kapacitet proizvodnje nafte, m ³ /d (bbl/d)
<i>u</i>	koeficijent polinoma
<i>V</i>	Vandermondova matrica
<i>x</i>	točka podatka
<i>y</i>	točka podatka
<i>α</i>	element matrice



Autori:

Alireza Bahadori, Southern Cross University, School of Environment, Science and Engineering, Lismore, NSW, 2480, Australia

Gholamreza Zahedi, Process Systems Engineering Centre (PROSPECT), Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM Johor, Malaysia

Sohrab Zendeheboudi, Department of Chemical Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada

Ahmad Jamili, Mewbourne School of Petroleum and Geological Engineering, the University of Oklahoma, Norman, OK USA

UDK : 622.276/.279 : 622.24.63 : 553.982

622.276/.279 pridobivanje nafte i plina
622.24.63 bušotine, iscrpljivanje ležišta, plinski lift
553.982 ležišta nafte i plina, rezerve