Parametri koji definišu optimalnu proizvodnju naftnih bušotina pri primeni mehaničke metode eksploatacije

DUŠAN Š. DANILOVI, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

VESNA D. KAROVIĆ MARIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

BRANKO A. LEKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

MIROSLAV P. CRNOGORAC, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

MILOŠ LJ. TANASIJEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Stručni rad

UDC:622.323:622.24

DOI: 10.5937/tehnika1602209D

Određivanje optimalne proizvodnje naftne bušotine predstavlja usklađivanje proizvodnih karakteristika date bušotine sa operativnim parametrima primenjene mehaničke metode eksploatacije. Optimalna proizvodnja bušotine može se dobiti kada se izbalansira količina fluida koja ulazi u bušotinu sa količinom fluida koju primenjena mehanička metoda eksploatacije iznosi iz bušotine. U radu se razmatraju ključni parametri koji utiču na određivanje optimalne proizvodnje bušotine pri primeni mehaničke metode eksploatacije: karakteristike utoka fluida u bušotinu, predviđanje buduće porizvodnje bušotine, operativni parametri mehaničke metode eksploatacije, trenutak ulaza u bušotinu mehaničke metode eksploatacije i cena nafte.

Ključne reči: optimizacija, proizvodnja, naftna bušotina, mehanička metoda

1. UVOD

Određivanje optimalne proizvodnje naftne bušotine predstavlja usklađivanje proizvodnih karakteristika date bušotine sa operativnim parametrima primenjene mehaničke metode eksploatacije. To znači da se optimalna proizvodnja bušotine postiže kada se izbalansira količina fluida koja ulazi u bušotinu (kroz definisan broj, pritisak, dužinu i prostornu orijentaciju perforacija) sa količinom fluida koju primenjena mehanička metoda eksploatacije iznosi iz bušotine.

Cilj svake naftne kompanije ili operatera na naftnom polju je da ostvari što je moguće veći u proizvodnju bušotine, takozvanu forsiranu proizvodnju. Isto se dešava, iz želje za što većim profitom, da dođe do neusklađenosti između željene proizvodnje bušotine i njenih realnih proizvodnih mogućnosti. Ovo se manifestuje ostvarivanjem željene proizvodnje bušotine u

kratkim vremenskom periodu da bi nakon toga posledio no usledio njen sporiji ili brži pad. Neuskladenost željene sa optimalnom proizvodnje bušotine može dovesti do brojnih problema u ležištu i opremi primenjene mehaničke metode eksploatacije. Problemi koji se najčešće manifestuju u ležištu su formiranje vodenih i/ili gasnih konusa koji uzrokuju određeno ili potpuno smanjenje proizvodnje nafte.

Forsirana proizvodnja kod svih vrsta dubinskih pumpi (klipne, vijaste, centrifugalne, hidraulične) kao primenjene mehaničke metode eksploatacije može uzrokovati oštećenja opreme. Kod primene kontinualnog i povremenog gas lifta kao drugog tipa mehaničke metode eksploatacije dolazi do nepoželjnog povećanja proizvodnje gasa u odnosu na proizvodnju nafte bez oštećenja opreme [1, 2, 3].

2. ANALIZA PARAMETARA KOJI DEFINIŠU OPTIMALNU PROIZVODNJU NAFTNE BUŠOTINE

S obzirom na značaj određivanja optimalne proizvodnje naftne bušotine pri primeni mehaničke metode

Adresa autora: Dušan Danilović, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, ul. ušina 7

Rad primljen: 29.10.2015.

Rad prihvaćen: 19.11.2015.

eksploatacije u radu se detaljno razmatraju ključni parametri:

- karakteristike utoka fluida u bušotinu,
- predviđanje buduće proizvodnje bušotine,
- operativni parametri mehaničke metode eksploatacije,
- trenutak ulaska mehaničke metode eksploatacije i
- cena nafte.

2.1. Karakteristika utoka fluida u bušotinu

Pravilno projektovanje proizvodnog sistema sa mehaničkom metodom eksploatacije zahteva precizno poznavanje količine fluida koji može biti dobijen iz ležišta preko date bušotine. Zbog toga je veoma bitno što preciznije proceniti karakteristike utoka fluida u bušotinu. Nedostatak takvih proizvodnih podataka bušotine može dovesti do predimenzionisanja proizvodnog sistema ili sa druge strane opremanja bušotine na način koji ograničava njene proizvodne mogućnosti. U oba slučaja doći će do negativnih ekonomskih efekata rada i nepravilnog upravljanja proizvodnim sistemom.

Slika 1 – Vogel-ova IPR kriva

Za određivanje karakteristika utoka fluida u bušotinu ("Inflow Performance Relationships Curves" – "IPR" krive) razvijen je veliki broj metoda [3]. Koja će se metoda primeniti prvenstveno zavisi od broja raspoloživih podataka merenog dinamičkog pritiska na

dnu bušotine (P_{wf}). Ukoliko je na raspolaganju jedna vrednost dinamičkog pritiska, što je na žalost u praksi est slučaj, za određivanje "IPR" krive može se primeniti samo Vogel-ova metoda, slika 1.

Njen nedostatak je što poznavanje samo jedne vrednosti dinamičkog pritiska ne omogućava jednoznačno određivanje vrednosti maksimalne proizvodnje bušotine (Q_{max}).

Ukoliko se raspoložuje sa više merenih vrednosti dinamičkog pritiska (minimalno dva) može se primeniti Fetkovich-ova, Jones, Blount i Glaze ili neka druga metoda koja obezbeđuje znatno veću tačnost u izražavanju IPR krive, slika 2 [3]. Veći broj vrednosti merenog dinamičkog pritiska (P_{wf}) omogućava preciznije izražavanje vrednosti maksimalne proizvodnje bušotine (Q_{max}).

Slika 2 - IPR kriva (dva merenja)

2.2. Predviđanje buduće proizvodnje naftne bušotine

Za predviđanje buduće proizvodnje primenjuje se metoda buduće krive karakteristika utoka fluida u bušotinu (buduće IPR krive) koja se bazira na poznavanju promene ležišnog pritiska tokom vremena. Na slici 3. prikazan je postupak predviđanja buduće proizvodnje naftne bušotine [2, 4].

Slika 3 - Predviđanje buduće proizvodnje

Na osnovu promene ležišnog pritiska (slika 3a) za određene vremenske intervale izražavaju se buduće

IPR krive (slika 3b). Presek IPR krivih sa krivom pada pritiska kroz proizvodni sistem (ΔP sistem) predstavlja

vrednost buduće proizvodnje bušotine. Ovakav na in predviđanja buduće proizvodnje najčešće se primenjuje kod bušotina koje tek treba da budu puštene u rad ili su krajnji vremenski period u proizvodnji.

Za predviđanje buduće proizvodnje može se primeniti i metoda analize trenda proizvodnje (ATP) [2, 4, 5]. Predviđanje buduće proizvodnje bazira se na podacima proizvodnje fluida (nafta, gasa i vode) iz prethodnog perioda. Tačnost predviđanja buduće proizvodnje zavisi od dužine vremenskog intervala koji se analizira i nivoa na kom je analiza izvedena (godišnjem, mesečnom ili dnevnom).

U odnosu na metodu budućih IPR krivih, metoda ATP je jednostavnija i ne zahteva poznavanje promene ležišnog pritiska tokom vremena. Ovo je veoma važno s obzirom na to da nije uvek lako predvideti ili odrediti tačnu promenu ležišnog pritiska u budućem vremenskom periodu proizvodnje bušotine.

Slika 4 - Predviđanje buduće proizvodnje

Na slici 4. prikazano je određivanje buduće proizvodnje bušotine primenom analize trenda proizvodnje. Danas je veoma lako i jednostavno putem poznatih računarskih programa (Excel, Matlab i dr) na osnovu podataka o proizvodnji bušotine generisati odgovarajuću jednačinu koja ih reprezentuje. Na bazi te jednačine može se tačno dati prognoza buduće proizvodnje bušotine kao što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1. Predviđanje buduće proizvodnje bušotine

Vreme, mesec -kumulativno	Datum	Prosečna proizvodnja	
		Mesečna m³	Dnevna m³
132	Dec-2008	185.04	6.07
144	Dec-2009	179.80	5.89
156	Dec-2010	178.51	5.85
168	Dec-2011	177.23	5.81
180	Dec-2012	175.97	5.77

2.3. Operativni parametri mehaničke metode eksploatacije

Primenom sistema analize proizvodnog sistema ("system" analize) u zavisnosti od primenjene mehani-

ke metode eksploatacije definišu se operativni parametri rada. Ovde se razmotri definisanje operativnih parametara mehaničkih metoda eksploatacije koje se najviše primenjuju kod nas kod, a to su dubinsko pumpanje i gas lift [6, 7, 8].

Da bi se rad dubinske pumpe uskladio sa količinom fluida koja ulazi u bušotinu potrebno je definisati njene parametre: hod ka aljke, prenik dubinske pumpe, broj hodova i dubinu ugradnje dubinske pumpe. U skladu sa tehničkim karakteristikama ka aljke definiše se nosivost, snaga pogonskog motora, moment reduktora, položaj regulacione poluge i dr. Takođe, može se analizirati i usisni pritisak dubinske pumpe. Na bazi "system" analize određuju se navedeni operativni parametri koji definišu proizvodnju dubinske pumpe. Ova proizvodnja mora da bude jednaka ili nešto manja od količine fluida koja ulazi u bušotinu i predstavlja optimalnu proizvodnju bušotine. Mehaničkom regulacijom i regulacijom broja obrtaja motora nije uvek bilo moguće u potpunosti uskladiti utok fluida u bušotinu sa proizvodnjom primenjene dubinske pumpe. Primenom frekventne regulacije ovaj problem je u potpunosti rešen.

Kod gas lift mehaničke metode eksploatacije potrebno je odrediti količinu gasa koja će se utiskivati u bušotinu, dubinu ugradnje operativnog i ostalih gas lift ventila, pritiske u ventilima. U slučaju primene metode povremenog gas lifta treba odrediti vreme trajanja ciklusa utiskivanja gasa i njihov broj u toku dana. Primenom "system" analize određuju se navedeni parametri i usklađuju sa proizvodnim mogućnostima bušotine.

2.4. Trenutak uvođenja mehaničke metode eksploatacije

Trenutak kada će se primeniti mehanička metoda eksploatacije uvek ostaje otvoreno pitanje i nema jedinstvenog odgovora na to. Razlog je u tome što svaki operater na naftnom polju trenutak uvođenja mehaničke metode eksploatacije sagledava na svoj način. Generalno, svi imaju isti cilj, a to je ostvarenje što veće proizvodnje i maksimalnog profita.

Na slici 5 ilustrativno je prikazana analiza trenutka uvođenja mehaničke metode eksploatacije. Mehanička metoda eksploatacije se može uvesti u proizvodnju kada se ona kreće u opsegu između vrednosti Q_1 do Q_2 (slika 5a). Cilj uvođenja mehaničke metode eksploatacije je da se proizvodnja bušotine poveća na vrednost Q_3 (slika 5a). Proizvodnja bušotine Q_3 predstavlja optimalnu i maksimalno moguću proizvodnju bušotine u datom trenutku. Ovde se može postaviti pitanje zašto se uvodi mehanička metoda eksploatacije kada bušotina već ima određenu proizvodnju? Odgovor leži u činjenici da bušotina nema dovoljno ležišne energije

da iznese maksimalno mogu u proizvodnju Q_3 . Posmatrano preko dinamike nivoa fluida u bušotini, slika 5b, pri maksimalnoj proizvodnji Q_3 vidi se da se njegova vrednost nalazi znatno ispod površine bušotine.

Zadatak uvođenja mehaničke metode je da bušotini obezbedi veću proizvodnju od trenutne koju bušotina ostvaruje eruptivnom metodom proizvodnje.

a) Proizvodnja bušotine

b) Zavisnost dinamike nivoa i proizvodnje

Slika 5 - Analiza trenutka primene mehaničke metode eksploatacije

2.5. Cena nafte

Cena nafte može imati indirektan uticaj na određivanje optimalne proizvodnje nafte, ali ne sa aspekta proizvodnih mogućnosti bušotine, već po osnovu postizanja maksimalne finansijske dobiti.

Za cenu nafte je karakteristično prisustvo određenih fluktuacija na svetskom tržištu koje su u nekom periodu veće, a u nekom manje. Generalno je poznato da većina proizvodnja bušotine omogućava i veću proizvodnju, ali dugoročno gledano ne mora da bude tako. Ako kompanija planira dugoročnu proizvodnju nafte iz određenog ležišta, optimalno definisana proizvodnja nafte tokom perioda niske cene nafte se može smanjiti na određeni nivo u cilju ostvarivanja maksimalne

ekonomske dobiti u budućem periodu kada se poveća cena nafte.

Šta to praktično zna i prikazuje analiza prihoda koji je moguće ostvariti pri promeni cene nafte u opsegu od 24 \$/barelu (2001. godine) do 150 \$/barelu (2012. godina), kao i za trenutnu cenu od 40 \$/barelu.

Proizvodnja nafte od 30 m³/dan pri sadašnjoj ceni nafte od oko 40 \$/barelu omogućava prihod od oko 7500 \$/dan. Interesantno je da bi pri ceni nafte od 150 \$/barelu za ostvarenje ovog istog prihoda bila potrebna proizvodnja nafte od svega 7,5 m³/dan, slika 6.

Slika 6 - Zavisnost prihoda od cene nafte

Suprotno tome, nekadašnja cena od 24 \$/barelu za ostvarenje prihoda od 7500 \$/dan zahtevala je proizvodnju od oko 43 m³/dan. Analiza se može sagledati i drugačije. Trenutna proizvodnja nafte od 30 m³/dan, koja sada ostvaruje prihod od 7500 \$/dan, na bazi cene nafte iz 2012. godine bi ostvarila prihod od čak 28300 \$/dan, dok bi 2001. godine on iznosio svega 4500 \$/dan.

Da bi se realno mogao videti uticaj cene nafte na prihod koji se može ostvariti uračunava se analiza prethodne proizvodnje bušotine od 30 m³/dan. U tabeli 2 prikazana je dinamika prosečne dnevne proizvodnje bušotine po godinama, kao i planirano kretanje cene nafte. Prema definisanoj optimalnoj dinamici proizvodnje u periodu eksploatacije 2016-2025. godina moguće je ostvariti prihod od 27 miliona \$.

Ukoliko se optimalna proizvodnja smanji, zbog niske cene nafte, u periodu 2016-2018. godina, sa 40 na 20 m³/dan i proizvodnja nastavi prema novoj dinamici, tabela 3, sa istim planiranim cenama nafte kao u tabeli 2, ostvariće se prihod od 30,6 miliona \$. U ovom slučaju period eksploatacije je pomeren za jednu godinu.

U ovom slučaju moguće je ostvariti povećanje prihoda od oko 3,6 miliona \$. Prikazani primer ilustruje koliko je važno praćenje cene nafte radi upravljanja proizvodnjom nafte. Na primeru visokoproduktivne bušotine, sa proizvodnjom od 100 m³/dan prikazuje se koliko veliki uticaj može imati upravljanje proizvodnjom nafte u zavisnosti od kretanja cene nafte.

Tabela 2. Scenario (1) bez smanjenja optimalne proizvodnje nafte

Godina	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Ukupno
Proizvodnja, m ³ /dan	30	30	30	27	25	21	17	12	7	2	
Cena, \$/barelu	40	40	40	60	60	60	100	100	100	100	
Prihod. mil. \$	2,75	2,75	2,75	3,72	3,44	2,89	3,90	2,75	1,61	0,46	27,04

Tabela 3. Scenario (2) sa smanjenjem optimalne proizvodnje nafte

Godina	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	Ukupno
Proizvodnja, m ³ /dan	20	20	20	28	28	28	21	17	12	7	2	
Cena, \$/barelu	40	40	40	60	60	60	100	100	100	100	100	
Prihod. mil. \$	1,84	1,84	1,84	3,86	3,86	3,86	4,82	3,90	2,75	1,61	0,46	30,62

Tabela 4. Scenario (1) bez smanjenja optimalne proizvodnje nafte-visoko produktivna bušotina

Godina	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Ukupno
Proizvodnja, m ³ /dan	100	100	100	90	80	70	60	50	40	30	
Cena, \$/barelu	40	40	40	60	60	60	100	100	100	100	
Prihod. mil. \$	9,18	9,18	9,18	12,40	11,02	9,64	13,77	11,48	9,18	6,89	101,92

Tabela 5. Scenario (2) sa smanjenjem optimalne proizvodnje nafte-visoko produktivna bušotina

Godina	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Ukupno
Proizvodnja, m ³ /dan	50	50	50	70	70	70	95	95	95	95	85	75	65	55	
Cena, \$/barelu	40	40	40	60	60	60	100	100	100	100	100	100	100	100	
Prihod. mil. \$	4,59	4,59	4,59	9,64	9,64	9,64	21,81	21,81	21,81	21,81	19,51	17,22	14,92	12,63	194,21

Bez korekcije optimalne proizvodnje i njene dinamike moguće je ostvariti prihod od blizu 102 miliona \$, tabela 4. Definisanjem nove dinamike proizvodnje, koja podrazumeva smanjenje optimalne proizvodnje sa 100 na 50 m³/dan tokom niske cene nafte od 40 \$/barelu u periodu 2016-2018. godina, kao i da se u periodu 2019-2021. godina proizvodnja zadrži na nivou od 70 m³/dan, da bi nakon toga usledilo njeno povećanje u periodu visoke cene nafte moguće je ostvariti prihod od oko 194 miliona \$.

Ovaj scenario je produžio dinamiku eksploatacije za 4 godine, ali je sa uvaženjem resurse tokom perioda niskih cena nafte i omogućio povećanje prihoda za oko 92 miliona \$.

3. ZAKLJUČAK

U radu su razmatrani ključni parametri koji utiču na određivanje optimalne proizvodnje naftne bušotine pri primeni mehaničkih metoda eksploatacije i to: karakteristike utoka fluida u bušotinu, predviđanje buduće proizvodnje bušotine, operativni parametri mehaničkih metoda eksploatacije, trenutak uvođenja mehaničkih metoda eksploatacije i cene nafte.

Dominantan uticaj imaju parametri kao što su karakteristike utoka fluida i buduće proizvodnje bušotine s obzirom na to da je pri njihovom određivanju uvek prisutan manji ili veći stepen neodređenosti. Iz tog razloga se za određivanje ovih parametara preporučuje primena analize rizika, kao i raspoloživih softvera u naftnoj industriji u cilju definisanja što ta njihova parametara.

Operativni parametri mehaničkih metoda eksploatacije se mogu veoma lako odrediti pomoću "sistem" analize i dodatno analizirati primenom analize osetljivosti.

Trenutak uvođenja mehaničkih metoda eksploatacije bazira se na prethodno navedenim parametrima tako da će njegova tačnost zavisiti upravo od tačnosti proračuna karakteristika utoka fluida, procene buduće proizvodnje i operativnih parametara primenjene mehaničkih metoda eksploatacije.

Cena nafte, kao što je u radu detaljno analizirano, ima veoma značajan uticaj na upravljanje proizvodnjom na naftnom polju, a time i na samu pojedinačnu proizvodnju bušotine.

LITERATURA

- [1] Karovic Maricic V, Danilovic D, Preliminary management and optimization of a gas reservoir in central Serbia, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 70, 1-2, p. 107-113, 2010.
- [2] Danilovi D, Karovi Mari i V, Ivezi D, Primena savremenih metoda u proizvodnji nafte i gasa, Rudarsko-geološki fakultet, 164 s, 2010.
- [3] Soleša M, Danilovi D, Buza Z, Sistem analiza proizvodnje nafte i gasa eruptivnom metodom, DIT Naftagas, 524 s, 1999.
- [4] Danilovi D, Optimizacija proizvodnje malih naftnih polja primenom modela integralnog upravljanja, doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, 2001.
- [5] Danilovi D, Karovi Mari i V, Primena analize trenda proizvodnje, *Sym-op-is, Matematički institut SANU, Beograd*, 579-582, 2009.
- [6] Danilovi D, Elhaddad E, Karovi Mari i V, Leković B, Živković M, Određivanje optimalne količine gasa koji se utiskuje za rad gas lift sistema, *Tehnika*, 5, 69, p. 751-758, 2014.
- [7] Danilovic D, Karovic Maricic V, Batalovic V, Lekovic B, Device for more efficiency production of heavy oil, *Chemical Engineering Research and Design*, 90, 2, p. 238-242, 2012.
- [8] Batalovic V, Danilovic D, Karovic Maricic V, Hydraulic Lift Systems with Piston Type Pump, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 78, p. 267-273 2011.

SUMMARY

PARAMETERS FOR DEFINING THE OIL WELLS' OPTIMAL PRODUCTION IN ARTIFICIAL LIFT METHOD APPLICATION

Determining the optimal production oil wells represent the harmonization of production characteristics of a given well with the operational parameters of applied artificial methods of exploitation. This means that the optimal production well achieved when balance the amount of fluid that enters the well (defined by number, diameter, length and spatial orientation perforation) with the amount of fluid applied by artificial method of exploitation belong the well.

The paper discusses the key parameters for determining the optimum production well from the application of artificial methods of exploitation such as: characteristics of fluid inflow into the well, forecasting future production well, operational parameters of artificial methods, timing of introduction of artificial methods of exploitation and the price of oil.

Key words: optimisation, oil production, well, artificial lift methods