

CERCETĂRI PRIVIND RECUPERAREA ȚIȚEIULUI DIN ZĂCĂMINTE DE ȚIȚEI GREU CANTONATE ÎN STRATE SLAB CONSOLIDATE

Rezumat

Doctorand: Ing. Marian Irimia

Dezvoltarea rezervelor de țiței greu și vâcos este în creștere rapidă peste tot în lume. Pe de o parte faptul că, după aplicarea metodelor clasice de exploatare a acumulărilor de țiței greu și vâcos, cantonate în special în nisipuri slab consolidate, rămâne neexploată o cantitate importantă din rezerva geologică inițială, iar pe de altă parte menținerea locului predominant al hidrocarburilor ca resursă în energia mondială, au fost factorii esențiali care au captivat interesul privind dezvoltarea de noi metode exploatare a țițeiurilor grele și mărirea factorului de recuperare atât în stadiul primar (CHOPS – Cold Heavy Oil Production with Sand), cât și în recuperarea terțiară (CSS – Cyclic Steam Stimulation, SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage).

Începând din anul 1987, în Canada se aplică cu succes în regim primar producerea țițeiului greu cantonat în strate slab consolidate împreună cu nisipul, utilizând așa numita tehnologie CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sand). În loc de a bloca particulele de nisip ca în cazul tehnologiei gravel – packing, în acest caz curgerea nisipului în gaura de sondă este încurajată de perforarea agresivă și de strategiile de extracție, utilizând pompe cu cavități progresive (PCP). Datorită producerii nisipului, raza de drenaj din jurul găurii de sondă se mărește, modificându-se în mod pozitiv proprietățile de curgere (porozitatea și permeabilitatea stratului productiv), astfel se creându-se condiții mult îmbunătățite de curgere a hidrocarburilor din zăcământ în gaura de sondă și o mai bună eficiență a recuperării.

În România nu s-a aplicat până în 2009 tehnologia de producere a țițeiului greu împreună cu nisipul prin tehnologia CHOPS, deși există câteva zăcăminte de țiței greu cantonate în strate slab consolidate care s-ar fi pretat la aplicarea acesteia. După această etapă, întrucât vorbim despre țițeiuri grele, cu densități și vâscozități ridicate, în vederea îmbunătățirii factorului de recuperare ar putea fi folosite cu succes și procese terțiare de tipul unui proces termic (injecție de aburi). Acest lucru a fost numai comentat de către specialiștii din Canada ca posibil de aplicat, dar nu a fost încă analizat în detaliu și implementat pe zăcăminte.

De asemenea, pentru accelerarea producției și creșterea factorului de recuperare în zăcăminte de țiței greu, începând cu anul 1992, în lume este tot mai des aplicată metoda SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage (injecția de abur în sonde orizontale asistată de curgerea gravitațională). Această metodă, neaplicată încă pe zăcăminte din România, este de fapt o formă avansată de stimulare abur în care o pereche de sonde orizontale sunt forate în zăcămintul de țiței, una câțiva metri deasupra celeilalte. Aburul de o înaltă calitate este injectat în mod continuu de sonda de deasupra pentru a încălzi țițeiul și a reduce vâscozitatea acestuia, țițeiul încălzit urmând să se scurgă în gaura de sondă inferioară, ca urmare a curgerii gravitaționale, de unde acesta este pompat afară.

Știut fiind faptul că în România există zăcăminte de țiței greu cantonate în strate slab consolidate, la care performanțele obținute în exploatare exprimate în factori de recuperare ar putea fi îmbunătățite, au fost studiate trei aspecte și anume:

- posibilitatea implementării pe zăcăminte din România a tehnologiei CHOPS; care ia în considerare producerea țițeiului greu împreună cu nisipul
- evaluarea unui proces termic de tipul injecției ciclice de abur ca urmare a îmbunătățirii condițiilor de curgere din jurul sondelor după aplicarea acestei tehnologii;
- posibilitatea aplicării injecției de abur în sonde orizontale, asistată de curgerea gravitațională (metoda SAGD).

Prin urmare, lucrarea de față a fost structurată în 5 capitole și anume:

Capitolul 1, în care sunt prezentate câteva aspecte generale referitoare la zăcămintele de hidrocarburi, cum ar fi o scurtă clasificare a zăcămintelor în funcție de natura fluidului conținut, respectiv proprietățile rocilor colectoare, ale fluidelor conținute (țiței, gaze, apă) și ale sistemului rocă – fluide. De asemenea, s-a făcut referire succint și la unele aspecte privind resursele geologice, rezervele și estimarea factorului potențial de recuperare.

Capitolul 2, unde s-a făcut o trecere în revistă metodei de producere în stadiul primar a țițeiurilor grele, cantonate în strate slab consolidate, împreună cu nisipul din strat (metoda CHOPS – Cold Heavy Oil Production with Sand), precum și a metodelor de recuperare termică a țițeiurilor grele (combustia subterană, injecția ciclică sau continuă de abur, SAGD).

Pentru metoda CHOPS, s-a pus în discuție și stadiul actual al cercetărilor în domeniu, cunoscut fiind faptul că CHOPS este utilizată de aproape 20 de ani în Canada ca o metodă primară de producție a țițeiurilor grele, cantonate în nisipuri neconsolidate.

Metodele termice de tipul injecției de abur au fost prezentate ca posibilități de mărire a performanțelor obținute în exploatare, iar SAGD ca o alternativă de mărire a recuperării țițeiurilor grele, utilizând două sonde orizontale, una prin care se va injecta o cantitate de abur, iar cealaltă prin care se va produce țițeiul ca efect al curgerii gravitaționale.

Capitolul 3, în care s-a făcut referire la cercetările privind posibilitatea aplicării pe zăcămintele din România a metodei CHOPS, ca metodă de recuperare a țițeiului greu din strate slab consolidate. Aici s-au comparat caracteristicile zăcământului Oțești – Meoțian, ales ca zăcământ pilot, cu zăcăminte analog din Canada, Kazahstan și Albania și prezentat studiul de caz privind experimentarea metodei pe zăcământul respectiv. În final s-a făcut o analiză critică a rezultatelor obținute în șantier, comparativ cu estimările inițiale.

Capitolul 4, unde au fost expuse studii de caz asupra câtorva cercetări privind recuperarea țițeiului greu din strate slab consolidate prin metode termice, fiind prezentate două experimente de laborator (cazurile zăcămintelor Oțești – Meoțian și Dealu Bătrân – Drader II), precum și rezultatele aplicării injecției de abur în mod experimental la Oțești și la scară industrială la Dealu Bătrân. De asemenea, au fost puse în discuție și câteva aspecte cu privire la posibilitatea aplicării injecției de abur asistată de curgerea gravitațională (metoda SAGD) la Dealu Bătrân.

În acest capitol a mai fost prezentat un „Screening Criteria” sau criterii de selecție privind aplicarea a diferite metode de creștere a factorului de recuperare, s-a făcut proiectarea unui proces de injecție ciclică de aburi post CHOPS, utilizând software de specialitate (STARS) și au fost prezentate cazuri de senzitivitate privind estimarea debitelor inițiale obținute pentru o sondă orizontală nestimulată termic, comparativ cu o sondă orizontală stimulată termic prin injecție de abur.

În final, s-a propus și o metodologie de estimare a debitului inițial al unei sonde stimulate termic printr-un proces de injecție de abur asistată de drenajul gravitațional.

Capitolul 5 conține concluzii cu privire la cercetările privind recuperarea țițeiului din zăcăminte de țiței greu cantonate în strate slab consolidate, precum și aspecte privind contribuțiile personale în domeniul respectiv.

Cuvinte cheie: țiței greu, factor de recuperare, strate slab consolidate, CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sand), injecție ciclică de abur, sondă orizontală stimulată termic, SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage

CUPRINS

Lista Notațiilor	5
Introducere	8
1. Aspecte generale privind zăcămintele de hidrocarburi	13
1.1. Proprietăți ale rocilor colectoare.....	15
1.1.1. Porozitatea.....	15
1.1.2. Permeabilitatea.....	17
1.1.3. Compoziția granulometrică.....	20
1.1.4. Distribuția porilor pe dimensiuni	20
1.1.5. Suprafața specifică	20
1.1.6. Compresibilitatea	21
1.1.7. Compoziția mineralogică	21
1.2. Proprietăți ale fluidelor din zăcăminte.....	24
1.2.1. Proprietățile țițeiului	25
1.2.2. Proprietățile gazelor	27
1.2.3. Proprietățile apelor de zăcământ	27
1.3. Proprietăți ale sistemului rocă – fluide	28
1.3.1. Starea de saturație	28
1.3.1.1. Aspecte privind evoluția stării de saturație în timp.....	29
1.3.1.2. Determinarea stării de saturație.....	31
1.3.1.3. Saturații ireductibile	32
1.3.2. Capacitatea de udare	33
1.4. Resursa geologică, rezerva și factorul de recuperare.....	35
1.4.1. Estimarea resurselor geologice inițiale de petrol și a rezervelor prin metoda volumetrică	36
1.4.2. Evaluarea empirică a factorului potențial de recuperare.....	37
2. Metode de recuperare a țițeiurilor grele cantonate în strate slab consolidate	39
2.1. Producerea țițeiului greu împreună cu nisipul din strat (metoda CHOPS – Cold Heavy Oil Production with Sand).....	39
2.1.1. Prezentarea metodei	39
2.1.2. Stadiul actual al cercetărilor.....	42
2.2. Metode termice de recuperare a țițeiului	44
2.2.1. Generalități.....	44
2.2.2. Combustia subterană	48
2.2.2.1. Mecanismele recuperării țițeiului prin combustie.....	50
2.2.2.2. Criterii de selecție a zăcământului pentru combustie.....	51
2.2.3. Injecția de abur.....	52
2.2.3.1. Criterii de selecție a zăcămintelor pentru injecția de abur	52

2.2.3.2. Căldura disipată într-o sondă de injecție a aburului	53
2.2.3.3. Injecția ciclică de abur	60
2.2.3.3.1. Mecanismele recuperării țiteiului prin injecție ciclică de abur	60
2.2.3.3.2. Caracteristicile injecției ciclice de abur	62
2.2.3.3.3. Proiectarea unui proces de injecție ciclică de abur	62
2.2.3.4. Injecția continuă de abur	67
2.2.3.4.1. Mecanismele recuperării țiteiului prin injecție continuă de abur.	67
2.2.3.4.2. Proiectarea unui proces de spălare cu abur	69
2.2.4. SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage).....	77
2.2.4.1. Generalități	77
2.2.4.2. Estimarea debitului de țitei.....	80

3. Cercetări și contribuții cu privire la posibilitatea îmbunătățirii recuperării țiteiurilor grele cantonate în strate slab consolidate prin metoda CHOPS

3.1. Posibile aplicații în România	85
3.2. Caracteristicile zăcământului Oțești	86
3.2.1. Amplasarea structurii	86
3.2.2. Geologia câmpului petrolifer și a zăcămintelor	86
3.2.3. Modelul fizic	88
3.3. Comparații ale zăcământului Oțești – Meoțian cu zăcăminte analog din Canada, Kazahstan și Albania	96
3.4. Studiu de caz – Experimente CHOPS efectuate pe structura Oțești.....	97
3.4.1. Selectarea sondelor	97
3.4.2. Prevederi de producție	98
3.4.3. Echiparea și monitorizarea sondelor noi.....	100
3.4.4. Managementul nisipului.....	101
3.5. Rezultatele experimentelor CHOPS	101

4. Cercetări și contribuții privind posibilitatea îmbunătățirii recuperării țiteiurilor grele cantonate în strate slab consolidate prin metode termice

4.1. Teste de laborator efectuate pentru studiul posibilității de mărire a recuperării țiteiului din zăcămintele Oțești și Dealu Batrân prin metode termice	105
4.1.1. Teste efectuate pentru zăcământul Oțești - Meoțian.....	105
4.1.1.1. Obiectivul testelor	105
4.1.1.2. Analiza fizico - chimică a probelor de țitei și apă.....	105
4.1.1.3. Analiza criteriilor de selecție pentru injecția aburului ca metodă de mărire a recuperării țiteiului	108
4.1.1.4. Analiza argilelor	110
4.1.1.5. Teste de dezlocuire cu apă caldă și abur	111
4.1.1.6. Concluzii	112
4.1.2. Teste efectuate pentru zăcământul Dealu Bătrân – Drader II.....	113
4.1.2.1. Obiectivul testelor	113
4.1.2.2. Analiza fizico - chimică a probelor de țitei și apă.....	114

4.1.2.3. Realizarea testelor de dezlocuire	115
4.1.2.4. Concluzii	118
4.2. Experimente de șantier efectuate în timp privind mărirea recuperării țițeiului din zăcămintele Otești – Meoțian și Dealu Batrân – Drader II	119
4.2.1. Cazul zăcămintului Otești - Meoțian.....	119
4.2.1.1. Injecția de apă tehnologică.....	119
4.2.1.2. Combustia subterană	121
4.2.1.3. Injecția ciclică și continuă de abur	123
4.2.2. Cazul zăcămintului Dealu Batrân – Drader II.....	128
4.2.2.1. Injecția de apă tehnologică.....	128
4.2.2.2. Injecția continuă de abur	128
4.3. Proiectarea unui proces de injecție ciclică de abur luând în considerare proprietățile îmbunătățite de curgere din jurul sondelor ca urmare a aplicării tehnologiei CHOPS în cazul zăcămintului Otești – Meoțian.....	129
4.3.1. "Screening Criteria" privind posibilitatea aplicării metodelor de îmbunătățire a performanțelor obținute în exploatare	129
4.3.2. Estimarea saturației reziduale în țiței și a curbelor de permeabilități relative.....	131
4.3.3. Proiectarea unui proces de injecție ciclică de aburi (cazuri de senzitivitate)	132
4.3.4. Echiparea unei sonde stimulate termic.....	137
4.4. Estimarea eficienței unui proces de injecție de abur asistată de drenajul gravitațional (SAGD) asupra debitelor inițiale de țiței în cazul aplicării tehnologiei la Dealu Bătrân – Drader II	139
4.4.1. "Screening Criteria" privind posibilitatea aplicării metodelor de îmbunătățire a performanțelor obținute în exploatare	139
4.4.2. Modelele matematice folosite în estimarea debitelor inițiale ale sondelor orizontale nestimulate sau stimulate cu abur.....	142
4.4.3. Estimarea debitelor sondelor orizontale nestimulate sau stimulate cu abur posibil a fi săpate la Dealu Bătrân – Drader II pe baza teoriei lui Joshi, comparații cu rezultatele obținute pe baza teoriei lui Butler.....	146
4.4.4. Metodologie de estimare a debitului unei sonde stimulate termic printr-un proces de injecție de abur asistată de drenajul gravitațional (SAGD) ..	148
5. Concluzii și contribuții personale.....	150
Lista figurilor	157
Lista tabelor	159
Lista anexelor.....	160
Bibliografie.....	161

RESEARCHES RELATED TO OIL RECOVERY FROM HEAVY OIL RESERVOIRS LOCATED IN UNCONSOLIDATED STRATA

Abstract

PhD Candidate: Eng. Marian Irimia

The development of heavy oil is in a quickly growing in the entire world. On the one hand, after classical methods for exploitation of heavy oil reservoirs located especially in unconsolidated strata were applied, an important amount of initial reserves are not exploited. On the other hand, maintaining in a predominant place the hydrocarbons as resource in world energy is an important preoccupation. The both were the essential factors which have been fascinating the interest concerning the development of new exploitation methods of heavy oil and growing up the recovery factor in primary recovery stage (CHOPS – Cold Heavy Oil Production with Sand) or in tertiary recovery stage of exploitation (CSS – Cyclic Steam Stimulation, SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage)

Since 1997, for heavy oil Canadian reservoirs located in unconsolidated strata has been applying successfully in the first stage of exploitation CHOPS method. Instead of blocking sand ingress by screens or gravel packs, using CHOPS sand flow into the wellbore is encouraged by aggressive perforation and swabbing strategies (PCP). Due to sand production, the drainage radius around the wellbore increase, modifying in a positive way porosity and permeability. Thus, the flow conditions from reservoir into the wells are improved and to the end it will be obtained better recovery efficiency.

In case of Romanian oilfields, CHOPS technology was not applied until 2009, even there are few heavy oil reservoirs located in unconsolidated strata, where the method should be applied. After this stage, because under discussion there are heavy oils, with high densities and viscosities, in order to improve the recovery factor, could be used successfully the tertiary processes as steam injection. This thing was commented by Canadian experts, but it was not yet analysed in details and implemented in the site.

Also, to accelerate the oil production and increase the recovery factor for heavy oil reservoirs, since 1992, in the world is often used the SAGD method (SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage). This method, which was not applied for Romanian oilfields, it's an advanced kind of stimulation using steam. In fact, a pair of horizontal wells are drilled into the reservoir, one few meters above the other one.

In each well pair, steam is injected into the upper well, to heat heavy oil, which allows it to flow into the lower well, where it is pumped to the surface.

It's known that in Romania there are heavy oil reservoirs located in unconsolidated strata, where the performances in terms of recovery factors obtained during the exploitation could be improved. Taken into account this thing, the following three aspects has been researched:

- the possibility to implement CHOPS in Romanian heavy oil reservoirs located in unconsolidated strata;
- the assessment of cyclic steam injection process (CSS), possible to be applied post CHOPS, because of improved flow conditions around wellbore;
- the possibility to apply SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage) in one of Romanian oilfields.

Therefore, the thesis contains the certain five chapters:

Chapter 1 – There are presented general aspects related to hydrocarbon reservoirs as a short classification of reservoirs function of fluid contained and rock and fluids properties. Few aspects related to initial resources in place and reserves or the estimation of the potential recovery factor were also mentioned.

Chapter 2 – There are presented aspects regarding to CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sand) as method to develop heavy oil reservoirs from unconsolidated strata and concerning to thermal methods of heavy oil exploitation (in-situ combustion, cyclic or continuous steam injection, SAGD).

In case of CHOPS method, it was presented the actual status of researches on this domain, knowing that CHOPS has been using in Canada since almost 20 years ago, as method to recover heavy oils located in unconsolidated strata in the primary stage od exploitation.

The thermal methods as steam injection were presented as possibilities to increase the recovery efficiency and SAGD as an alternative to increase recovery of heavy oils using two horizontal wells (one for steam injection and the other one to produce oil as effect of gravitational drainage).

Chapter 3 – In this chapter it has alluded about researches concerning to the possibility to apply CHOPS for Romanian oilfields as method to recover heavy oil from unconsolidated strata. There were compared the characteristics of Otesti – Meotian chose as trial field with analogues reservoirs from Canada, Kazakhstan and Albania.

The case study related to trials into the site was presented also. Finally, a critical analysis between to trial results and initial estimations was done.

Chapter 4 – There were exposed few case studies related to researches for heavy oil recovery from unconsolidated strata using thermal methods in laboratory and into the site (cases of Otești – Meoțian and Dealu Bătrân – Drader II reservoirs). The aspects of the possibility of applying and implementing SAGD in case of Dealu Batran field there were also mentioned.

In this chapter was proposed a „Screening Criteria” regarding the selection and the application of the different methods to increase recovery factor. Was designed a cyclic steam injection process post CHOPS using STARS software and there were presented sensitivity cases for initial rates of a horizontal well without steam stimulation comparatively with a horizontal well thermally stimulated using steam. At the end, was proposed a methodology to estimate initial rates of a horizontal well thermally stimulated using steam injection assisted by gravitational drainage.

Chapter 5 – Contains conclusions regarding researches for heavy oil recovery from reservoirs located in unconsolidated strata, respectively the aspects related to personal contributions in this domain.

Keywords: heavy oil, recovery factor, unconsolidated strata, CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sand), cyclic steam injection, horizontal well thermally stimulated, SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage

CONTENTS

Notations specification	5
Introduction	8
6. General aspects related to reservoirs of hydrocarbons	13
1.1. Rock properties	15
1.1.1. Porosity	15
1.1.2. Permeability	17
1.1.3. Granulometry	20
1.1.4. Pores size	20
1.1.5. Specific area.....	20
1.1.6. Compressibility	21
1.1.7. Mineralogy	21
1.2. Fluid properties	24
1.2.1. Oil properties	25
1.2.2. Gas properties	27
1.2.3. Water properties	27
1.3. Rock - fluid system properties	28
1.3.1. Saturation status	28
1.3.1.1. Aspects of saturation evolution in time.....	29
1.3.1.2. Determination of saturation status.....	31
1.3.1.3. Irreducible saturations	32
1.3.2. Wettability.....	33
1.4. Original hydrocarbons in place, reserves and recover factor	35
1.4.1. Estimation of initial hydrocarbons in place and initial reserves using the volumetric method	36
1.4.2. The empirical estimation of potential recovery factor	37
7. The recovery methods of heavy oil located in unconsolidated strata	39
2.1. CHOPS – Cold Heavy Oil Production with Sand	39
2.1.1. General aspects of the method	39
2.1.2. The actual status of researches.....	42
2.2. Thermal methods	44
2.2.1. Generalities	44
2.2.2. In-situ Combustion.....	48
2.2.2.1. The recovery mechanisms of in-situ combustion.....	50
2.2.2.2. Selection criteria for in-situ combustion	51
2.2.3. Steam injection.....	52
2.2.3.1. Selection criteria for steam injection.....	52
2.2.3.2. The heat dissipated in a steam injection well	53

2.2.3.3. Cyclic steam injection	60
2.2.3.3.1. The recovery mechanisms of cyclic steam injection	60
2.2.3.3.2. The characteristics of cyclic steam injection	62
2.2.3.3.3. The design of cyclic steam injection processes	62
2.2.3.4. Continuous steam injection	67
2.2.3.4.1. The recovery mechanisms of continuous steam injection	67
2.2.3.4.2. The design of of continuous steam injection processes	69
2.2.4. SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage).....	77
2.2.4.1. Generalities.....	77
2.2.4.2. The estimation of initial oil rate	80

8. Researches and contributions concerning the possibility to improve heavy oil recovery located in unconsolidated strata using CHOPS method	85
3.1. Possible applications for Romanian oilfields	85
3.2. The characteristics of Otesti field	86
3.2.1. Field location	86
3.2.2. Geological model	86
3.2.3. Physical model	88
3.3. Comparisons of Otesti field characteristics with analogue reservoirs from Canada, Kazakhstan and Albania	96
3.4. Case study – CHOPS trials on Otesti field	97
3.4.1. Well selection.....	97
3.4.2. Production forecasts	98
3.4.3. The completion and monitoring of new wells	100
3.4.4. The management of sand production	101
3.5. The results of CHOPS trials	101
9. Researches and contributions concerning the possibility to improve heavy oil recovery located in unconsolidated strata using thermal methods	105
4.1. The laboratory tests of possibilities to increase recovery factor of Otesti and Dealu Batran oilfields using thermal methods.....	105
4.1.1. Laboratory tests performed for Otesti - Meotian	105
4.1.1.1. The objective of tests.....	105
4.1.1.2. The analysis of oil and water samples.....	105
4.1.1.3. Selection criteria analyse steam injection as thermal method.....	108
4.1.1.4. Clay content.....	110
4.1.1.5. The displacement tests using hot water and steam.....	111
4.1.1.6. Conclusions	112
4.1.2. Laboratory tests performed for Dealu Batran – Drader II	113
4.1.2.1. The objective of tests.....	113
4.1.2.2. The analysis of oil and water samples.....	114
4.1.2.3. The displacement tests achievement	115
4.1.2.4. Conclusions	118

4.2. Trials into the site during the exploitation to increase recovery efficiency into Otesti – Meotian and Dealu Batran – Drader II reservoirs.....	119
4.2.1. Otesti – Meotian case.....	119
4.2.1.1. Technological water injection.....	119
4.2.1.2. In-situ combustion.....	121
4.2.1.3. Cyclic and continuous steam injection.....	123
4.2.2. Dealu Batran – Drader II case.....	128
4.2.2.1. Technological water injection.....	128
4.2.2.2. Continuous steam injection.....	128
4.3. The design of cyclic steam injection taken into account the improved flow properties around wellbore post CHOPS in case of Otesti – Meotian reservoir ...	129
4.3.1. "Screening Criteria" for Otesti – Meotian.....	129
4.3.2. The residual oil saturation and relative permeability estimation	131
4.3.3. The design of cyclic steam injection process (sensitivities).....	132
4.3.4. The completion of heated wells	137
4.4. The evaluation of SAGD efficiency on initial oil rates in case of applying the technology for la Dealu Batran – Drader II.....	139
4.4.1. "Screening Criteria" for Dealu Batran – Drader II	139
4.4.2. The mathematics models used for estimation of initial oil rates of horizontal wells without or with steam stimulation	142
4.4.3. The estimation of initial oil rates of horizontal wells without or with steam stimulation possible do be drilled on Dealu Batran – Drader II using Joshi theory, comparisons with Butler theory	146
4.4.4. The methodology to estimate initial oil rate in case of thermal stimulated horizontal wells in SAGD	148
10. Conclusions and personal contributions	150
 Figures specification.....	157
 The tables specification	159
 Appendixes specification.....	160
 Bibliography.....	161

RECHERCHES CONCERNANT LA RÉCUPÉRATION DU PÉTROLE DES GISEMENTS DE PÉTROLE LOURD ACCUMULÉS DANS DES COUCHES SUPERFICIELLEMENT CONSOLIDÉES

Résumé

Thésard: Ing. Marian Irimia

Le développement des réserves de pétrole lourd et visqueux augmente rapidement partout au monde. D'une part, le fait qu'après l'application des méthodes classiques d'exploitation des accumulations de pétrole lourd et visqueux, amassées particulièrement dans des sables superficiellement consolidés, il reste inexploitée une grande quantité de la réserve géologique initiale, et, d'autre part, le maintien de la région prédominante des hydrocarbures comme ressource dans l'énergie mondiale, tout cela ont constitué des facteurs essentiels qui ont captivé l'intérêt en ce qui concerne le développement de nouvelles méthodes d'exploitation des pétroles lourds et d'augmentation du facteur de récupération autant dans le stade primaire (CHOPS – Cold Heavy Oil Production with Sand), que dans la récupération tertiaire (CSS – Cyclic Steam Stimulation, SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage).

À partir de l'année 1987, au Canada on applique avec succès en régime primaire la production du pétrole lourd accumulé dans des couches superficiellement consolidées avec le sable, en utilisant la soi-disant technologie CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sand). Au lieu de bloquer les particules de sable comme dans le cas de la technologie gravel - packing, dans ce cas l'écoulement du sable dans le trou de sonde est favorisé par la perforation agressive et par les stratégies d'extraction, en utilisant des pompes à cavités progressives (PCP). Grâce à la production du sable, le rayon de drainage autour du trou de sonde grandit, les propriétés d'écoulement (la porosité et la perméabilité de la couche productive) se modifiant de manière positive, en se créant ainsi des conditions considérablement améliorées d'écoulement des hydrocarbures du gisement dans le trou de sonde et une meilleure efficacité de la récupération.

En Roumanie, la technologie de production du pétrole avec le sable par la technologie CHOPS n'a pas été appliquée jusqu'en 2009, bien qu'il existe des gisements de pétrole lourd accumulés dans des couches superficiellement consolidées qui s'y seraient prêté.

Après cette étape, puisqu'on parle des pétroles lourds, très denses et visqueux, en vue de l'amélioration du facteur de récupération on pourrait employer aussi avec succès des processus tertiaires du type d'un processus thermique (injection à vapeurs). Cette chose a été seulement commentée par les spécialistes du Canada comme faisable, mais cela n'a pas encore été analysé en détail et implémenté quant aux gisements.

Afin d'accélérer la production et d'augmenter le facteur de récupération en gisements de pétrole lourd, on a appliqué aussi, à partir de 1992, de plus en plus au monde la méthode SAGD (l'injection à vapeurs dans des sondes horizontales assistée par l'écoulement gravitationnel). Cette méthode, pas encore appliquée sur des gisements en Roumanie, est en fait une forme avancée de stimulation à vapeur, où une paire de sondes horizontales sont forées dans le gisement de pétrole, l'une quelques mètres au-dessus de l'autre. La vapeur d'une haute qualité est injectée continuellement par la sonde au-dessus pour chauffer le pétrole et pour réduire la composition visqueuse de celui-ci, le pétrole chauffe suivant à s'écouler dans le trou de sonde inférieure, comme effet de l'écoulement gravitationnel, d'où celui-ci est pompé à l'extérieur.

Étant donné le fait qu'en Roumanie il y a des gisements de pétrole lourd accumulés dans des couches superficiellement consolidées, où les performances obtenues en exploitation, exprimées en facteurs de récupération, pourraient être améliorées, on a étudié trois aspects:

- la possibilité de l'implémentation sur gisements en Roumanie de la technologie CHOPS, qui prend en considération la production du pétrole lourd avec le sable;
- l'évaluation d'un processus thermique du type de l'injection cyclique à vapeur comme résultat de l'amélioration des conditions d'écoulement autour des sondes après l'application de cette technologie;
- la possibilité de l'application de l'injection à vapeur dans des sondes horizontales, assistée par l'écoulement gravitationnel (la méthode SAGD).

Par conséquent, cet ouvrage a été structuré en 5 chapitres comme suit:

Le premier chapitre, qui présente quelques aspects généraux concernant les gisements d'hydrocarbures, comme serait une brève classification des gisements en fonction de la nature du fluide contenu, respectivement les propriétés des roches réservoir, des fluides contenus (pétrole, gaz, eau) et du système roche-fluides. On s'est également référé succinctement aux aspects regardant les ressources géologiques, les réserves et l'estimation du facteur potentiel de récupération.

Le deuxième chapitre, où on a passé en revue la méthode de production en stade primaire des pétroles lourds, accumulés en couches superficiellement consolidées, avec le sable de la couche (la méthode CHOPS – Cold Heavy Oil Production with Sand), ainsi que les méthodes de récupération thermique des pétroles lourds (la combustion souterraine, l'injection cyclique ou continue à vapeur, SAGD).

Quant à la méthode CHOPS, on a discuté aussi le stade actuel des recherches dans ce domaine, étant donné le fait que CHOPS est utilisée depuis près de 20 ans au Canada comme une méthode primaire de production des pétroles lourds, accumulés dans des sables non consolidés.

Les méthodes thermiques du type de l'injection à vapeur ont été présentées comme possibilités d'augmentation des performances obtenues en exploitation, et SAGD sera présentée comme une alternative de croissance de la récupération des pétroles lourds, en utilisant deux sondes horizontales, l'une par laquelle on va injecter une quantité de vapeur, et l'autre par laquelle on va se produire le pétrole comme résultat de l'écoulement gravitationnel.

Le troisième chapitre, où on s'est référé aux recherches concernant la possibilité de l'application sur les gisements de Roumanie de la méthode CHOPS, comme méthode de récupération du pétrole lourd des couches superficiellement consolidées. On y a comparé les caractéristiques du gisement Otești – Meoșian, choisi comme gisement pilote, avec des gisements pareils du Canada, du Kazakhstan et d'Albanie et on y a présenté l'étude de cas en ce qui concerne l'expérimentation de la méthode sur le gisement respectif. Finalement on a fait une analyse critique des résultats obtenus sur le chantier, en les comparant avec les estimations initiales.

Le quatrième chapitre, où on a exposé des études de cas sur quelques recherches concernant la récupération du pétrole lourd des couches superficiellement consolidées par des méthodes thermiques, en étant présentés deux expérimentations de laboratoire (les cas des gisements Otești – Meoșian et Dealu Bătrân – Drader II), ainsi que les résultats de l'application de l'injection à vapeur d'une manière expérimentale à Otești et à l'échelle industrielle à Dealu Bătrân. On a mis également en discussion quelques aspects relatifs à la possibilité de l'application de l'injection à vapeur assistée par l'écoulement gravitationnel (la méthode SAGD) à Dealu Bătrân.

Dans ce chapitre on a présenté aussi un «Screening Criteria» ou des critères de sélection concernant l'application de différentes méthodes d'augmentation du facteur de récupération, on a fait la projection d'un procès d'injection cyclique à vapeurs post CHOPS, en utilisant du logiciel de spécialité (STARS) et on a présenté des cas de sensibilité en ce qui concerne l'estimation des débits initiaux obtenus pour une sonde horizontale non stimulée thermiquement, par rapport à une sonde horizontale stimulée thermiquement par l'injection à vapeur.

En final, on a proposé aussi une méthodologie d'estimation du débit initial d'une sonde stimulée thermiquement par un processus d'injection à vapeur assistée par le drainage gravitationnel.

Le cinquième chapitre contient des conclusions concernant les recherches sur la récupération du pétrole des gisements de pétrole difficilement accumulées dans des couches superficiellement consolidées, ainsi que des aspects concernant les contributions personnelles à ce domaine.

Des mots-clés: pétrole lourd, facteur de récupération, des couches superficiellement consolidées, CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sand), injection cyclique à vapeur, sonde horizontale stimulée thermiquement, SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage.

CONTENU

Liste des Notations	5
Introduction	8
11. Aspects généraux concernant les gisements d'hydrocarbures	13
1.1. Propriétés des roches réservoir	15
1.1.1. La porosité	15
1.1.2. La perméabilité	17
1.1.3. La composition granulométrique	20
1.1.4. La distribution des pores en fonction des dimensions	20
1.1.5. La superficie spécifique	20
1.1.6. La compressibilité	21
1.1.7. La composition minéralogique	21
1.2. Propriétés des fluides des gisements.....	24
1.2.1. Les propriétés du pétrole.....	25
1.2.2. Les propriétés des gaz	27
1.2.3. Les propriétés des eaux de gisement.....	27
1.3. Propriétés du système roche – fluides	28
1.3.1. L'état de saturation	28
1.3.1.1. Aspects concernant l'évolution de l'état de saturation.....	29
1.3.1.2. La détermination de l'état de saturation.....	31
1.3.1.3. Saturations irréductibles.....	32
1.3.2. La capacité d'arrosage	33
1.4. La ressource géologique, la réserve et le facteur de récupération	35
1.4.1. L'estimation des ressources géologiques initiales de pétrole et des réserves par la méthode volumétrique	36
1.4.2. L'évaluation empirique du facteur potentiel de récupération	37
12. Méthodes de récupération des pétroles lourds accumulés dans des couches superficiellement consolidées	39
2.1. La production du pétrole lourd avec le sable de la couche (la méthode CHOPS - Cold Heavy Oil Production with Sand).....	39
2.1.1. La présentation de la méthode	39
2.1.2. Le stade actuel des recherches	42
2.2. Méthodes thermiques de récupération du pétrole.....	44
2.2.1. Généralités	44
2.2.2. La combustion souterraine	48
2.2.2.1. Les mécanismes de la récupération du pétrole par combustion	50
2.2.2.2. Critères de sélection du gisement pour combustion.....	51
2.2.3. L'injection à vapeur	52
2.2.3.1. Critères de sélection des gisements pour l'injection à vapeur	52

2.2.3.2. La chaleur dissipée dans une sonde d'injection à vapeur.....	53
2.2.3.3. L'injection cyclique à vapeur	60
2.2.3.3.1. Les mécanismes de la récupération du pétrole par injection cyclique à vapeur	60
2.2.3.3.2. Les caractéristiques de l'injection cyclique à vapeur	62
2.2.3.3.3. La projection d'un procès d'injection cyclique à vapeur.....	62
2.2.3.4. L'injection continue à vapeur.....	67
2.2.3.4.1. Les mécanismes de la récupération du pétrole par injection continue à vapeur	67
2.2.3.4.2. La projection d'un procès de lavage à vapeur	69
2.2.4. SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage).....	77
2.2.4.1. Généralités.....	77
2.2.4.2. L'estimation du débit de pétrole.....	80

13. Recherches et contributions concernant la possibilité de l'amélioration de la récupération des pétroles lourds accumulés dans des couches superficiellement consolidées par la méthode CHOPS	85
3.1. Possibles applications en Roumanie.....	85
3.2. Les caractéristiques du gisement Otești.....	86
3.2.1. L'emplacement de la structure.....	86
3.2.2. La géologie du champ pétrolifère et des gisements	86
3.2.3. Le modèle physique	88
3.3. Comparaisons du gisement Otești – Meoțian avec des gisements analogues du Canada, Kazakhstan et d'Albanie.....	96
3.4. Étude de cas – Expérimentations CHOPS effectués sur la structure Otești ...	97
3.4.1. La sélection des sondes	97
3.4.2. Prévisions de production.....	98
3.4.3. L'équipement et la surveillance des sondes nouvelles.....	100
3.4.4. Le management du sable.....	101
3.5. Les résultats des expérimentations CHOPS	101

14. Recherches et contributions concernant la possibilité de l'amélioration de la récupération des pétroles lourds accumulés dans des couches superficiellement consolidées par des méthodes thermiques	105
4.1. Tests de laboratoire effectués pour l'étude de la possibilité d'augmentation de la récupération du pétrole des gisements Otești et Dealu Bătrân par des processus thermiques	105
4.1.1. Tests effectués pour le gisement Otești – Meoțian	105
4.1.1.1. L'objectif des tests	105
4.1.1.2. L'analyse physique et chimique des preuves de pétrole et d'eau .	105
4.1.1.3. L'analyse des critères de sélection pour l'injection à vapeur comme méthode d'augmentation de la récupération du pétrole	108
4.1.1.4. L'analyse des argiles	110

4.1.1.5.	Tests de déplacement à l'eau chaude et à vapeur	111
4.1.1.6.	Conclusions	112
4.1.2.	Tests effectués pour le gisement Dealu Bătrân – Drader II	113
4.1.2.1.	L'objectif des tests	113
4.1.2.2.	L'analyse physique et chimique des preuves de pétrole et d'eau .	114
4.1.2.3.	La réalisation des tests de déplacement.....	115
4.1.2.4.	Conclusions	118
4.2.	Expérimentations de chantier effectuées dans le temps concernant la récupération du pétrole des gisements Otești – Meoșian et Dealu Bătrân – Drader II.....	119
4.2.1.	Le cas du gisement Otești – Meoșian	119
4.2.1.1.	L'injection à l'eau technologique.....	119
4.2.1.2.	La combustion souterraine	121
4.2.1.3.	L'injection cyclique et continue à vapeur	123
4.2.2.	Le cas du gisement Dealu Bătrân – Drader II.....	128
4.2.2.1.	L'injection à l'eau technologique.....	128
4.2.2.2.	L'injection continue à vapeur.....	128
4.3.	La projection d'un processus d'injection cyclique à vapeur en prenant en considération les propriétés améliorées d'écoulement autour des sondes comme résultat de l'application de la technologie CHOPS dans le cas du gisement Otești – Meoșian	129
4.3.1.	"« Screening Criteria » concernant la possibilité de l'application des méthodes d'amélioration des performances obtenues en exploitation..	129
4.3.2.	. L'estimation de la saturation résiduelle en pétrole et des courbes de perméabilités relatives.....	131
4.3.3.	La projection d'un processus d'injection cyclique à vapeur (cas de sensitivité)	132
4.3.4.	L'équipement d'une sonde stimulée du point de vue thermique	137
4.4.	L'estimation de l'efficacité d'un processus d'injection à vapeur assistée par le drainage gravitationnel (SAGD) sur les débits initiaux dans le cas de l'application de la technologie à Dealu Bătrân – Drader II	139
4.4.1.	« Screening criteria » concernant la possibilité de l'application des méthodes d'amélioration des performances obtenues en exploitation..	139
4.4.2.	Modèles mathématiques utilisés dans l'estimation des débits initiaux des sondes horizontales non stimulées ou stimulées à vapeur	142
4.4.3.	L'estimation des débits des sondes horizontales non stimulées ou stimulées à vapeur possible d'être creusés à Dealu Bătrân – Drader II conformément à la théorie de Joshi, comparaisons avec les résultats obtenus suivant la théorie de Butler	146
4.4.4.	Méthodologie d'estimation de débit d'une sonde stimulée thermiquement par un processus d'injection à vapeur assistée par le drainage gravitationnel (SAGD)	148

15. Conclusions et contributions personnelles	150
 La liste des dessins	157
 La liste des tables	159
 La liste des annexes	160
 Bibliographie.....	161