МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ та ЕНЕРГЕТИКИ
Кафедра комп'ютерної фізики

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр

«Фізичні засади розробки природних бітумів»

Виконав: студент 2 курсу, групи НФ-64
Оруджев Раміз Руфат
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма: Комп'ютерна фізика
Керівник:
кандидат фізико-математичних наук:
Рогова С.Ю.
Рецензент:

Харків – 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра комп'ютерної фізики
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність: 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма: Комп'ютерна фізика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
_____ Костянтин НЄМЧЕНКО
підпис

"_____" _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу магістра студентові

Оруджеву Рамізу Руфату

1. Тема роботи «Фізичні засади розробки природних бітумів»
керівник роботи Рогова Світлана Юріївна
затверджені наказом по університету від 10 лютого 2021 № 0210 – 05/374
2. Строк подання студентом роботи 12 травня 2021 р.
3. Перелік питань, які потрібно розглянути:

Розглянути, проаналізувати та надати науково обґрунтовані рекомендації по видобутку нафти з нетрадиційних джерел енергії, зокрема, бітумінозних пісків Азербайджану.

Дослідити фізичні властивості бітумінозних пісків, зокрема, теплофізичні, гідродинамічні та фізико-енергетичні властивості з точки зору забезпечення економного та ефективного способів видобутку нафти

Провести порівняний аналіз з існуючими методиками, запропонувати їх модифікації та розробити альтернативні шляхи видобутку.

4.План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Ознайомитись зі способами видобутку нафти з нетрадиційних джерел, зокрема, сланців та бітумінозних пісків
2	Проаналізувати запаси та можливості ефективного використання бітумінозних пісків Азербайджану для видобутку важкої нафти
3	Дослідити фізичні властивості бітумінозних пісків, зокрема, теплофізичні, гідродинамічні та фізико-енергетичні властивості з точки зору забезпечення економних та ефективних способів видобутку нафти.
4	Розробити та дослідити фізичні моделі видобутку нафти. В рамках створених моделей провести розрахунки та знайти оптимальні умови використання запропонованих методик. Провести порівняльний аналіз з існуючими методиками видобутку нафти з нетрадиційних джерел вуглеводнів.
5	Визначити та сформулювати висновки дипломної роботи

5. Дата видачі завдання « »_____2021 р

Студент _____ Раміз ОРУДЖЕВ

підпис

Керівник роботи _____ Світлана РОГОВА

підпис

РЕФЕРАТ

Оруджев Раміз «Фізичні засади розробки природних бітумів»
Кваліфікаційна робота магістра з прикладної фізики. – Х.: ХНУ імені В. Н.Каразіна, 2021. – 66 с.

В роботі розглянуто способи видобутку нафти з нетрадиційних джерел, зокрема, сланців та бітумінозних пісків. Проаналізовано запаси та можливості ефективного використання бітумінозних пісків Азербайджану для видобутку важкої нафти.

Досліджено фізичні властивості бітумінозних пісків, зокрема, теплофізичні, гідродинамічні та фізико-енергетичні властивості з точки зору забезпечення економних та ефективних способів видобутку нафти.

Розроблено та досліджено фізичні моделі видобутку нафти. В рамках створених моделей проведені розрахунки та знайдені оптимальні умови використання запропонованих методик. Отримані результати дозволили провести порівняльний аналіз з існуючими методиками видобутку нафти з нетрадиційних джерел вуглеводнів.

Таким чином, в роботі запропоновано модифікації існуючих методів нафти з ціллю підвищення їх ефективності та розроблено альтернативні методики ефективного та економічного видобутку нафти.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, БІТУМІНОЗНІ ПІСКІ АЗЕРБАЙДЖАНА, СЛАНЦЕВА НАФТА, ВАЖКА НАФТА

РЕФЕРАТ

Оруджев Рамиз «Физические основы разработки природных битумов» Квалификационная работа магистра прикладной физики. - Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2021. - 66 с.

В работе рассмотрены способы добычи нефти из нетрадиционных источников, в частности, из сланцев и битуминозных песков. Проанализированы запасы и возможности эффективного использование битуминозных песков Азербайджана для добычи тяжелой нефти.

Исследованы физические свойства битуминозных песков, в частности, теплофизические, гидродинамические и физико-энергетические свойства с точки зрения обеспечения экономичных и эффективных способов добычи нефти.

Разработаны и исследованы физические модели добычи нефти. В рамках созданных моделей проведены расчеты и найдены оптимальные условия использования предложенных методик. Полученные результаты позволили провести сравнительный анализ с существующими методиками добычи нефти из нетрадиционных источников углеводородов.

Таким образом, в работе предложено модификации существующих методов нефти с целью повышения их эффективности и разработаны альтернативные методики эффективной и экономичной добычи нефти.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, БИТУМИНОЗНЫХ ПЕСКОВ АЗЕРБАЙДЖАНА, СЛАНЦЕВОЙ НЕФТИ, ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ

ABSTRACT

Orudzhev Ramiz "Physical principles of natural bitumen development"
Qualification work of the Master in Applied Physics. – Kh.: V N Karazin KhNU, 2021. – 66 p.

The paper considers the methods of oil production from unconventional sources, in particular, from shale and tar sands. The reserves and the possibilities of effective use of tar sands of Azerbaijan for heavy oil processing have been analyzed.

The physical properties of tar sands have been investigated, in particular, thermophysical, hydrodynamic and physical-energy properties from the point of view of providing economical and efficient methods of oil production.

Physical models of oil production have been developed and investigated. Within the framework of the created models, calculations were carried out and the optimal conditions for using the proposed methods were found. The results obtained made it possible to carry out a comparative analysis with the existing methods of oil production from unconventional sources of hydrocarbons.

Thus, the paper proposes modifications of existing oil methods in order to increase their efficiency and develop alternative methods for efficient and economical oil production.

KEY WORDS: UNCONVENTIONAL ENERGY SOURCES, AZERBAIJAN BITUMINOUS SANDS, SHALE OIL, HEAVY OIL

ЗМІСТ

ВСТУП 8
РОЗДІЛ 1. ..... ВАЖКА ТА ЛЕГКА НАФТА ЯК НЕТРАДІЦІЙНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ (ОГЛЯД) 10
1.1. Основні особливості важкої нафти 10
1.2. Огляд проблем транспортування нафти на прикладі Канади 14
1.3. Проблеми та перспективи розвитку ринку сланцевої нафти 20
1.4. Висновки розділу 25
РОЗДІЛ 2. ..... ОСОБЛИВОСТІ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ АЗЕРБАЙДЖАНА 26
2.1. Історія и еволюція альтернативних паливно–енергетичних ресурсів Азербайджану 26
2.2. Бітумні піски Азербайджану як джерело нетрадиційної енергії 32
2.3. Перспективи розробки нетрадиційних джерел енергії Азербайджану . 38
2.4. Висновки розділу 40
РОЗДІЛ 3. ОПИС ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МЕТОДИКИ .. 41
3.1. Вступ 41
3.2. Стислий опис історії застосування і фізичних основ методу 42
3.3. Приклад експериментального реалізацій принципу ємнісного нагріву .. 45
3.4.Аналітичне розв’язання задачі 50
3.5. Результати аналітичного дослідження 52
3.6. Результати моделювання процесу нагріву 58
3.7. Висновки розділу 60
ВИСНОВКИ 61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 62

ВСТУП

Актуальність теми. Постійне зростання світового енергоспоживання, великі масштаби використання нафти і газу призвели до зниження їх ролі в паливно-енергетичному балансі. Але в останні роки в багатьох країнах активізувалися пошуки і розвідка родовищ природних бітумів і особливо горючих сланців, споруджуються ефективні установки для їх переробки.

Практичне застосування цих нетрадиційних джерел вуглеводневої сировини для потреб Азербайджану - нагальна вимога дня. За останні 25 років вченими виявлено закономірності поширення природних бітумів і горючих сланців, отримані конкретні результати по їх якісну характеристику, підраховані прогнозні запаси і визначені методи їх практичного використання. На сьогоднішній день в Азербайджані виявлено близько 50 проявів і скупчень нафтобітумів і більше 60 проявів і родовищ горючих сланців.

Однак основною проблемою є ефективний видобуток нафти з бітумних пісків. В роботі пропонуються і досліджуються технології електричного нагріву [1], в якості альтернативи використовуваним методам видобутку нафтоносних пісків на основі пара [2, 3]. Пропоновані методи призводять до зниження витрати води при одночасному підвищенні ефективності видобування нафти.

Основна **мета** роботи – дослідити фізичні властивості бітумінозних пісків, зокрема, теплофізичні, гідродинамічні та фізико-енергетичні властивості з точки зору забезпечення економних та ефективних способів видобутку нафти.

Для досягнення поставленої мети визначені **задачі**:

– розглянути, проаналізувати та надати науково огрунтовані рекомендації по видобутку нафти з нетрадиційних джерел енергії, зокрема, бітуминозних пісків Азербайджану;

– розробити та дослідити фізичні моделі видобутку нафти;

– в рамках створених моделей провести розрахунки та знайти оптимальні умови використання запропонованих методик;

– Провести порівняний аналіз з існуючими методиками, запропонувати їх модифікації та розробити альтернативні шляхи видобутку.

Об’єкт дослідження – бітумінозні піскі, як альтернативне джерело видобутку нафти.

Предмет дослідження – теплові та діелектричні фізичні властивості високочастотного електричного нагріву бітумінозних пісків.

Методи дослідження. Теоретичні положення роботи базуються на математичних методах електродинаміки суцільних середовищ та теорії тепло перенесення. В основі запропонованої методики лежить техніка, заснована на резонансі електричної стоячій хвилі, який забезпечує перенесення електричної енергії в ближню зону для нагріву нафтоносних пісків. В роботі проведено комп'ютерне моделювання впливу енергії електричного поля на нафтоносні піски, розташовані в якості діелектрика в конденсаторі. В результаті моделювання було отримано, щоб пропонований процес може забезпечити нагрів до температури 120°, при цьому ефективність передачі електричної енергії досягала 90%.

Наукова новизна одержаних результатів.

– розроблено модель високочастотного нагріву для видобутку нафти з певних видів бітумінозних пісків Азербайджану

– проведено порівняння з експериментальними даними.

Практичне значення отриманих результатів:

– запропоновано методика ефективного нагріву бітумінозних пісків певного складу з ціллю альтернативного видобутку нафти;

– розроблені алгоритми ефективного використання методу високочастотного нагріву бітумінозних пісків.

Структура і обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 66 сторінок, із них основного тексту 54 сторінки, 10 рисунків за текстом, список використаних джерел із 47 найменувань на 5 сторінках.

РОЗДІЛ 1. ВАЖКА ТА ЛЕГКА НАФТА ЯК НЕТРАДІЦІЙНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ (ОГЛЯД)

1.1. Основні особливості важкої нафти

Нафта бітумінозних пісків ставиться до так званих нетрадиційних джерел вуглеводневої сировини, так популярним останнім часом в західних країнах. До них також можна віднести вугільний метан, сланцевий газ, сланцева нафта і газогідрати [4]. Всі ці ресурси досліджуються і повсюдно розробляються іноземними компаніями по всьому світу.

1.1.1. Що таке бітумінозні піски

Бітумінозні піски – це природний конгломерат з піску, води, глини, супутніх мінералів і бітуму, це горюча корисна копалина, органічна частина якого представляє собою природний бітум. За змістом бітуму діляться на багаті, або інтенсивні (більше 10% по масі бітуму), середні (5-10%) і пісні (до 5%).

Геологічні ресурси бітумінозних пісків і важкої нафти в світі величезні - 500-1000 млрд. т. н. е. Запаси важкої нафти з щільністю більше 0,9 г / $см^3$ цілком успішно освоюються. При сучасних технологіях їх запаси перевищують 100 млрд. т. Особливо багаті важкими нафтами і бітумінозних пісками Венесуела і Канада. Показовим є приклад освоєння нафтоносних пісковиків провінції Альберта в Канаді.

Геологічні запаси важкої нафти і бітумів, які були відкриті за допомогою концерну Shell, становлять понад 25 млрд. барелів, при цьому сумарні запаси бітумів, придатних для промислової розробки, становлять понад 6 млрд. Барелів. Використовуючи дані ресурси, а також спираючись на технічні та практичні знання і досвід, можна забезпечити зростання виробництва в довгостроковій перспективі. Так, наприклад перший проект "Нафтоносні пісковики Атабаски" розширення в обсязі 100 тис. бар. / добу був затверджений в листопаді 2006 року і вже в 2010 році був здійснений вихід на

повну потужність. До 2035 року прогнозується збільшення видобутку нафтових пісків до 5,2 млн бар. / Добу (табл. 1) [5].

Таблиця 1
Прогноз видобутку нетрадиційних джерел рідких вуглеводнів до 2035 г, млн. барелів на день [1_1].

Показники	2015	2020	2025	2030	2035
Нетрадиційні джерела рідких вуглеводнів	6,1	7,6	9,1	10,8	12,9
Бітумінозні / нафтові піски	2,4	2,9	3,5	4,2	5,2
Надважкі нафти	0,8	1,1	1,2	1,4	1,5
Рідкі палива з вугілля	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4
Рідкі палива з газу	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
Бітумінозні сланці	0	0	0,1	0,2	0,4

1.1.2. Географія розробки бітумінозних пісків

Першопроходець у видобутку бітуму – Венесуела. Експлуатація низки родовищ в цій країні почалася ще в 1979 році, але значних успіхів вдалося досягти лише в кінці 1990-х з появою більш досконалих технологій. Зараз близько 25% видобутої в Венесуелі нафти - 700 тис. Барелів на день - припадають саме на важку нафту.

До 2020 року венесуельський уряд планує збільшити її виробництво до 3 млн. барелів на день. Для порівняння: загальний видобуток нафти в Росії сьогодні становить близько 10 млн барелів на добу. Запаси нетрадиційної нафти за попередніми оцінками можуть становити до 1,8 трильйона барелів. Ця сума відповідає приблизно 2/3 світових запасів нафти. Собівартість видобутку в Венесуелі становить близько 16 доларів за барель нафти.

Бітумінозні піски Оріноко вважаються одними з двох найбільших родовищ нетрадиційної нафти. Розробка нафтових (бітумінозних) пісків в Канаді, в провінції Альберта на родовищі Атабаска, почалася в середині XX

століття, але на комерційну основу була залишена лише в 1970-х роках, після значного зростання цін на нафту.

Площа родовища - 25,6 тис. км² Початкові запаси оцінюються в 20,6 млрд. тонн. З трьох родовищ в Альберті родовище Атабаска найбільше; є також родовища в Піс-Рівер і Колд-Лейк. Загальна площа нафтоносних пісків Альберти - 141 000 кв. км. Родовище розробляють різні компанії, з них найбільші - це Petro Canada, Shell, Chevron, Conoco Phillips, Encana Suncor і Syncrude. Канада займає друге місце після Саудівської Аравії за розвіданими запасами вуглеводнів і є провідним постачальником сирої нафти і продуктів її переробки в Сполучені Штати (вона забезпечує 20% імпорту США). Ця північноамериканська країна не претендує сьогодні на статус найбільшого в світі експортера нафти. Занадто складно її добувати: запаси буквально розчинені в піску. Потенційні ресурси бітумінозних пісковиків оцінюються в 2 трлн. барелів. З них завдяки застосуванню нових технологій вилучаються вважаються трохи більше 170 млн.

Сучасні технології вилучення бітумів в Канаді багато в чому засновані на досвіді радянської нафтової промисловості, яка кілька десятиліть тому володіла передовими методами в цій сфері. У 70-х роках минулого століття група канадських нафтовиків навіть побувала в Республіці Комі, на Ярегскому родовищі, де в ті часи йшла підземний видобуток бітумів. Але в середині 1990-х років Канада обійшла Росію в даній області.

У США розробка нетрадиційної нафти почалася з відкритого в 1995 р родовища Бакен форми (США), з запасами важкої нафти в обсязі 14 млн т після дорозвідки, з урахуванням прогресу в технологіях вилучення важких нафт, довело запаси на ньому до 600 млн.т. Сьогодні, це найбільше нафтове родовище в США. Крім Канади, США і Венесуели великими запасами важких нафт і бітумінозних пісків за кордоном мають у своєму розпорядженні також Мексика, Кувейт і Китай [6].

В останні роки зростають обсяги видобутку важких нафт, складаючи за різними оцінками близько 13% від загальносвітової. Ще в 2000 р в світі з

важких нафт видобувалося лише 37,5 млнт, в 2005 р - 42,5 млн. т, а до 2015 рр. за прогнозом може скласти вже близько 200 млнт, але при світових цінах на нафту не нижче 60 доларів за барель нафти.

У 2013 році імпорт склав 8,9 млн бар./день, це 44% від усього споживання нафти в США. До 2020 року США повинна стати найбільшим виробником нафти в світі, перевищивши видобуток і в Росії, і в Саудівській Аравії.Сніженіе імпорту нафти на 60% і збільшення внутрішнього видобутку. У 2011 році США став чистим нетто-експортером нафтопродуктів, вперше з 1949 року, експортувавши 64 млн. т. бензину і авіапалива в країни Південної Америки і Нідерланди. Також з США вже йде будівництво найбільшого нафтопроводу Keystone XL. Трубопровід довжиною 1900 км повинен стати частиною системи трубопроводів, по яких з нафтових родовищ канадської провінції Альберта до техаського узбережжя Мексиканської затоки будуть доставляти більше 800 тисяч бар / день.

Багатомільярдний проект став предметом запеклих суперечок. Екологи стверджують, що він вплине на клімат, а прихильники проекту кажуть, що він допоможе Сполученим Штатам забезпечити енергетичну незалежність. Якщо на шальки терезів покласти з одного боку можливі наслідки будівництва трубопроводу для екології, а з іншого здобуття незалежності Америки від близькосхідної, венесуельської, нігерійської і т.д. нафти, то вибір у кінцевому підсумку, без сумніву, буде зроблений на користь Канади.

1.1.3. Методи видобутку нафти з бітумінозних пісків

Поклади природних бітумів розробляють відкритими (кар'єрними або копальневими) і підземними (шахтними, шахтно-свердловинними) методами. Тверді бітумінозні сланці можуть залягати майже біля поверхні землі, проте глибина залягання бітумінозних порід може досягати і до 750 м (родовище Піс-Рівер, Канада), а часом і більш того. Як правило, глибина розробки не перевищує 200 метрів, а найчастіше розробка ведеться і на менших глибинах. Однак канадська нафта не б'є з-під землі, як на Близькому Сході. Вона

покоїться в пісках, на глибині від 30 метрів і глибше. Точніше кажучи, нафта - це суміш, яка складається з піску, води, глини і бітумів. До сих пір цю темну, що пахне дьогтем землю, добували відкритим способом, в кар'єрах. Щоб добути з такого піску лише один барель нафти (159 літрів), потрібно викопати і переробити дві тонни нафтового піску [7]. Видобуток їх свердловинним методом передбачає буріння свердловин і розігрівання міститься в породах бітуму паром до розрідження. У Північній Альберті температура взимку опускається до – 25 ° С, і на розігрів пласта в таких умовах доводиться витрачати надто багато енергоресурсів, що значно підвищує собівартість одержуваної в результаті нафти. На закінчення підрозділу відзначимо, що, щоб виділити нафту з піску, на установках спалюється неймовірну кількість природного газу - його кількості вистачило б на опалення чотирьох мільйонів квартир. Один барель нафти містить більше енергії, ніж пішло на його виробництво. Але при цьому в атмосферу викидається втричі більше вуглекислого газу, ніж при видобутку нафти традиційним способом. Сьогодні нафтогазовий бізнес переживає серйозну геополітичну струс, зважаючи на загострення проблеми енергетичної безпеки для всіх країн світу. Багато з них, за відсутності власної достатньої бази енергоресурсів, звертають увагу на різні нетрадиційні джерела нафтогазових ресурсів, використовуючи будь-які можливості - від видобутку газу зі сланців і вугільних пластів до синтезу рідкого палива на нафтохімічних підприємствах.

1.2. Огляд проблем транспортування нафти на прикладі Канади

Запаси нафти Канади на більш ніж 97% складаються з нафти, що міститься в нафтоносних пісках родовищ провінції Альберта [8]. Велика частина нафтових запасів сконцентрована в Західному Канадському осадові басейни (Western Canadian Sedimentary Basin), якірозташовані на територіях провінцій Британська Колумбія, Альберта, Саскачеван, Манітоба та в Північно-Західних територіях. Сумарні доведені запаси нафти в Канаді

оцінюються в 28,1 млрд т, з яких 23,5 млрд т знаходяться в нафтоносних пісках Альберти і ще 4,4 млрд т в звичайних, шельфових і важкодоступних нафтових пластах [9]. Запаси «традиційної» нафти на континентальному шельфі Східного узбережжя в даний час оцінюються в 0,2 млрд. т.

Нафтоносні піски є сумішшю з піску, води, глини і бітуму. Після поділу бітум стає густою і в'язкою чорною речовиною, яке проходить процес інтенсивної переробки, перш ніж перетвориться в синтетичну нафту. Хоча частка компонентів в нафтоносних пісках коливається від родовища до родовища, їх склад зазвичай виглядає наступним чином: пісок 83%, бітум 10%, вода 4%, глина 3% 10].

Запаси в'язкої нафти і бітумів досягають 22,7 млрд. т. і розміщуються, в основному, в трьох районах на півночі провінції Альберта загальною площею понад 140 тис. км^2. Найбільші запаси зосереджені на родовищі в Атабасці, а також родовищі Колд Лейк і Піс-Рівер [11].

За запасами нафти країна займає третє місце в світі після Саудівської Аравії і Венесуели. На тлі відсутності коливань в обсягах видобутку «традиційної» нафти, видобуток нафти Канади стрімко зростає завдяки зростанню обсягів видобутку в'язкої нафти і бітумів, який досягає в середньому протягом останніх 10 років 8% в рік. Виробництво канадської нафти істотно перевищує внутрішні потреби в нафті і нафтопродуктах, хоча більш 40% внутрішнього попиту на енергоресурси припадає на нафту.

У нафтовій галузі Канади прямо або побічно зайнято більше 550 тис. Чоловік. Завдяки стійкому розвитку вона сприяє створенню нових робочих місць, здійснює великі інвестиції і забезпечує податкові надходження в обсязі 18 млрд дол. США, тим самим роблячи значний вплив на соціально-економічний розвиток Канади. На нафту і нафтопродукти припадає 18% канадського експорту в грошовому вираженні [12]. У 2013 році Канада збільшила видобуток на 6% в порівнянні з 2012 р, і виробляла понад 528 тис. т. нафти на добу, велика частина якої відвантажували по трубопроводу із західних провінцій на ринки в інші провінції і експортувалася в США [13; 14].

Тільки близько 1,3 і 8,2% загального обсягу, відповідно, експортуємих нафти і нафтопродуктів мали пункт призначення, відмінний від США (нафта експортувалася до Великобританії, Китай, Італію; нафтопродукти - в Нідерланди та Францію). У 2013 р експорт нафти і нафтопродуктів здійснювався відповідно на суму 79,3 і 18,3 млрд. дол. США, а імпорт - на 26,2 і 17,2 млрд. дол. США. Таким чином, країна є нетто-експортером нафти і нафтопродуктів з сальдо торгового балансу 53,1 млрд. дол. США по нафті і 1,1 млрд. дол. США за нафтопродуктам [12].

Сектор транспортування, переробки та продажу нафтової промисловості Канади може бути розбитий на три області: Західна Канада, Онтаріо і Квебек / Атлантична Канада. Між названими регіонами відбувається переміщення нафти (наприклад, з НПЗ провінції Квебек в провінцію Онтаріо), але кожен з них є самодостатнім. В цілому, велика частина видобутої в Канаді нафти надходить із західних провінцій: Альберта (68,8%), Британська Колумбія (1,5%), Саскачеван (16,1%) і Манітоба (0,7%).

Можливість імпорту нафти і нафтопродуктів в кожному регіоні має географічні обмеження. Тому деякі регіони більше підходять для імпорту, ніж для отримання нафти з регіонів Канади [15]. Велика частина (45%) нафтового імпорту східної Канади припадає на країни ОПЕК, зокрема, Алжир, Саудівську Аравію, Нігерію, Анголу, Ірак і Венесуелу. Крім того, в Східну Канаду імпортуються нафту з країн Північного моря, в тому числі Норвегії (11%) і Великобританії (5%). Великими постачальниками є США (19%), Казахстан (7%) і Мексика (4%) [16].

Завдяки розвиненій інфраструктурі внутрішнього водного транспорту, необхідної для транспортування нафти і нафтопродуктів, Атлантична Канада і Квебек мають зручний доступ до поставок з північного сходу США і з Європи. Зокрема, атлантична Канада має два великих НПЗ, які постачають надлишкові обсяги продукції на ринок східного узбережжя США. При сприятливих економічних умовах продукція з НПЗ східного узбережжя Канади поставляється на американські ринки, аж до Каліфорнії.

Нафта із Західної Канади і Ньюфаундленду експортується, в той час як нафтопереробна промисловість атлантичного узбережжя Канади, Квебека і частини Онтаріо використовує нафту, що імпортується. Економічна доцільність даної схеми полягає в тому, що з точки зору транспортування немає цінової переваги при постачанні нафти із Західної Канади на НПЗ в Східній Канаді, які мають відносно легкий доступ до шельфової нафти. У той же час надлишок нафти, видобутої в Канаді, експортується в США на НПЗ, розташовані ближче до місця видобутку. НПЗ східного узбережжя Канади, які використовують імпортовану нафту, також експортують надлишки виробництва в США. Таким чином, Канада отримує максимальну вигоду від видобутку своїх ресурсів з точки зору інвестицій, зайнятості та економічного зростання.

З огляду на більш високу вартість імпортованої нафти, а також попит на нафту з боку НПЗ східних регіонів Канади, висувалися пропозиції щодо постачання західної канадської нафти далі на схід до НПЗ в Онтаріо, Квебеку і на атлантичному узбережжі Канади. Так, компанія Enbridge Pipelines Inc. в 2013 р отримала схвалення для часткового перемикання її трубопроводу Line 9, який раніше використовувався для транспортування імпортної нафти з Монреаля в Сарнах. Перемикання забезпечує транспортування 21,3 тис. Т нафти в день із західних районів Канади на НПЗ Nanticoke в Гамільтоні. Відзначимо, що транспортування західної канадської нафти в східну Канаду була первісної метою трубопроводу Line 9, побудованого в 1975 р Аналогічно, компанія TransCanada Pipelines Limited дала зрозуміти, що розглядає можливість перемикання на транспортування нафти одного зі своїх трубопроводів, пов'язаних з канадським магістральним газопроводом.

Три основних нафтопереробних центру Канади розташовуються в Едмонтоні, Сарни і Монреалі. У більшості провінцій також є, принаймні, один завод. З усіх канадських провінцій тільки Манітоба і Острів Принца Едуарда не мають переробних потужностей. В даний час діють НПЗ мають 12 компаній. При цьому тільки Imperial Oil, Shell і PetroCanada управляють

більш, ніж одним НПЗ, і продають продукти нафтопереробки на внутрішньому ринку. Інші переробники зазвичай мають один НПЗ і виробляють нафтопродукти, призначені для споживання в конкретному регіоні. У число таких регіональних переробників входять компанії North Atlantic Refining, Irving Oil і Ultramar - на сході, Suncor, Husky і Chevron - на заході.

З 19 канадських НПЗ повний спектр нафтопродуктів виробляють 16 заводів. У число вузькоспеціалізованих НПЗ входять:

1) Husky в Ллойдминстер (провінція Альберта) і MooseJaw Asphalt в Мус-Джоу (провінція Саскачеван) - виробництво асфальту з огра-ніченний виробництвом інших продуктів;

2) Nova Chemicals в Сарнии (провінція Онтаріо) - нафтохімія і деякі продукти дистиляції.

Загальна потужність переробних заводів Канади становить 1948 млн барелів на день, в тому числі потужність НПЗ провінцій Британська Колумбія, Прерії, Онтаріо, Квебек і Атлантика становить, відповідно, 67, 533, 379, 475 і 494 млн барелів на день. Розглядаються проекти будівництва НПЗ в провінціях Британська Колумбія, Онтаріо і Атлантика загальної проектованої потужністю 795 млн барелів на день.

Нафтопереробна галузь Канади розвивається високими темпами, а рівень завантаження існуючих переробних потужностей за останні 10 років варіюється від 81 до 95%. Потужності з транспортування в Канаді в даний час повністю завантажені. Їх пропускну здатність можна наростити за умови збільшення поставок. Як зазначалося вище, західні території Канади (зокрема, провінція Британська Колумбія) не мають виходу до моря, тому потрібна додаткова інфраструктура для того, щоб транспортувати зростаючі поставки нафти і нафтопродуктів з цих регіонів [17].

У випадках, коли обсяг нафтопродуктів не може виправдати будівництво трубопроводу, нафтопродукти транспортуються до терміналів з перевалки автомобільним і залізничним транспортом, а по морю – танкерами. У

Атлантичної Канаді все термінали з перевалки нафтопродуктів обслуговуються морськими танкерами. В інших районах залізниці і автотранспорт є набагато більш важливими засобами транспортування. Незважаючи на дорожнечу, автомобільний транспорт має перевагу в гнучкості. Шосейні вантажні автоцистерни транспортують весь бензин з терміналів або вантажно-розвантажувальних об'єктів НПЗ в підземні резервуари на кожній роздрібній точці.

На тлі дефіциту транспортних потужностей зростає роль залізничного транспорту. В даний час йде будівництво нових вантажно-розвантажувальних терміналів і розширюється виробництво цистерн. На сьогоднішній день залізниця стала найбільш важливим альтернативним способом транспортування західної канадської нафти на ринки США. Так, з 2013 р в даному напрямку залізницею експортувалося в середньому 17,2 млн. т. нафти на добу. Даний вид транспорту передбачає наявність спеціальної інфраструктури - перевалочних терміналів. На деяких регіональних ринках існує єдиний термінал, який використовується усіма працюючими тут компаніями.

Трубопроводи представляють собою найбезпечніший, надійний і економічно ефективний спосіб транспортування великого обсягу нафтопродуктів. Однак величезні капітальні витрати на їх будівництво і тривалий термін окупності проектів (більше 15 років) обмежують їх використання.

Розглянуті в даний час трубопровідні проекти включають в себе як розширення і перетворення існуючої інфраструктури, так і розвиток нових маршрутів для диверсифікації ринків для канадських виробників. Динамічне зростання внутрішнього попиту на нафтопродукти зумовив нарощування нафтопереробних потужностей Канади в останнє десятиліття, що, в свою чергу, призвело до необхідності збільшення обсягу видобутку нафти. Останнє, зокрема, торкнулося і бітумінозних пісків на заході Канади, які, незважаючи на їх відкриття ще в XX ст., стали представляти інтерес через вдосконалення

технологій їх розробки. В результаті в останні роки (з 2011 р) через обмежену пропускну здатність трубопроводів в Канаді спостерігається надлишок нафти. Таким чином, в даний час об'єктивно існує потреба в створенні нових магістральних трубопроводів як для розширення існуючих ринків, так і для створення нових [18].

Збільшення пропускної здатності трубопроводів необхідно також для нарощування обсягів транспортування нафти із заходу на схід Канади. В даний час НПЗ Східної Канади змушені імпортувати більшу частину нафти за цінами вищими, ніж ціна на нафту, експортовану Канадою. Існуюча трубопровідна інфраструктура обмежує канадських виробників ринком США, в напрямку яких з Канади поставляється 280 млн. т. нафти в день за цінами значно нижчими від світових..

Аналіз, проведений канадським Королівським торговим банком і Банком Монреаля, показує, що Канада потенційно втрачає не менше 18 млрд. дол. США упущеної вигоди в рік через відсутність доступу до інших ринків [1]. Ці втрати видаються вельми значущими з точки зору як економіки, так і соціальної політики, оскільки вони зменшують доходи канадських компаній, обмежуючи робочі місця і знижуючи податкові надходження, які, як було зазначено раніше, складають ті ж 18 млрд дол. США.

1.3. Проблеми та перспективи розвитку ринку сланцевої нафти

1.3.1. Що таке сланцева нафта?

Так чи небезпечна ринку традиційної нафти "сланцева революція". Все про сланцеву нафту: види, способи видобутку, собівартість видобутку. Про «сланцевої революції» і «сланцевий бум» в США чули всі, проте, мало хто уявляє, що таке сланцева нафта, як вона видобувається і так чи велика її загроза класичної нафти. Сланцева нафта є корисною копалиною і, як і класична нафту, утворюється з органічних залишків, які потрапили під вплив

певних геологічних факторів. У сучасній енергетичній галузі, в залежності від способу отримання, розрізняють два види сланцевої нафти:

Малопроникна нафту (Tight Oil). Цей вид нафти складається з легких фракцій і знаходиться в пластах з низькою проникністю, що і стало причиною для назви. Для видобутку малопроникної нафти використовується технологія гідророзриву пластів і буріння горизонтальних свердловин.

Сланцева нафта (Shale Oil). Сланцеву нафту добувають з керогена - особливої речовини, яка міститься в сланцевої породи. По суті, кероген - це речовина, що перетворюється в звичайну нафту. Для прискорення цього процесу його прямо в свердловині піддають термічній обробці, в результаті чого, виходить сланцева нафта.

Найбільше поширення набули два способи видобутку сланцевої нафти:

Отримання сланцевої нафти на поверхні

При цьому способі нафтоносна порода подається наверх, де проходить обробку в спеціальних установках, в яких відбувається її поділ на нафтові фракції.

Отримання сланцевої нафти на глибині

Цей спосіб застосовується при заляганні нафтоносної породи на великих глибинах. Для цього використовується технологія буріння горизонтальних свердловин, в які під тиском подається вода. Під впливом гідроудару відбувається так званий гідророзрив пластів. З отриманих в нафтоносної породі безлічі тріщин починає виділятися міститься в ній нафту, яка і подається на поверхню.

Варто зазначити, що спосіб застосування гідророзриву пластів несе в собі істотну небезпеку. Наслідком цієї технології є просідання ґрунту, сейсмічні поштовхи, потрапляння в підземні грунтові води нафти і метану. Найбільшого поширення набув другий спосіб видобутку сланцевої нафти. Обидва способи видобутку сланцевої нафти аж ніяк не з дешевих. Однак, технології з кожним роком стають все більш ефективними, що дозволяє даній сфері

нафтовидобутку активно розвиватися і конкурувати. Перерахуємо 5 фактів про сланцеву нафту, які потрібно знати

Факт перший. За оцінками експертів, світові запаси сланцевої нафти становлять близько 300 млрд. Барелів, з яких 24 млрд. Знаходиться на території США. З урахуванням існуючого рівня споживання, цих запасів вистачить більш, ніж на 300 років.

Факт другий. Видобуток сланцевої нафти не скрізь економічно доцільна. Для того, щоб видобуток сланцевої нафти була економічно виправдана, нафтоносна порода родовища повинна містити не менше 90 літрів нафти в одній тонні сланцю. Крім цього, товщина нафтоносного пласта повинна бути не менше 30 метрів. Критерієм 90 літрів нафти на тонну породи відповідає за все 1/3 всіх родовищ сланцевої нафти, а критерієм необхідної товщини шару - ще менше.

Факт третій. Використання сучасних технологій дозволяє добувати від 0,5 до 1,25 бареля сланцевої нафти з однієї тонни нафтоносної сланцевої породи.

Факт четвертий. Протягом першого року роботи сланцевої свердловини, обсяги видобутих нафти і газу значно перевищує обсяги видобутку класичних родовищ. Після першого року, обсяг видобутку падає на 80%.

Факт п'ятий. Найбільшим родовищем сланцевої нафти в світі є родовище Баккен (Bakken), штат Північна Дакота в США. Видобуток сланцевої нафти на майданчику Баккен ведеться з 2000 року. Можливий обсяг запасів сланцевої нафти становить 3,65 млрд. барелів.

Незважаючи на більш, ніж значний стаж, технологія видобутку сланцевої нафти перебуває на початковому етапі розвитку. Собівартість сланцевої нафти, незважаючи на поступове зниження, все одно, значно перевищує собівартість видобутку класичної нафти. Тому в найближчій перспективі навряд чи варто чекати повторення сланцевої революції на ринку нафти, як це було в газовому сегменті, а запаси сланцевої нафти варто розцінювати як перспективного резервного енергоресурсу на майбутнє.

1.3.2. Сланцева нафта: що з нею не так?

Родоначальником видобутку сланцевої нафти і газу стали США, де сланцевий бум показав приголомшливі результати. Так, Америці вдалося не тільки зменшити ціну палива на внутрішньому ринку, але і стати експортером вуглеводнів, випередивши Росію за сукупним обсягом видобутку нафти і газу. Тим не менш, не багато хто може похвалитися, що знають, як видобувається і що таке сланцева нафта, чим вона відрізняється від «звичайної» нафти і є чи загрозою для «класичних» вуглеводнів. Сланцева нафта - це вуглеводневу сировину, що містить у великій кількості додаткові домішки. Значні обсяги такої нафти виявлені в різних країнах, і їх видобуток здатна перекроїти світову карту постачальників енергоресурсів.

Російська Федерація займає лідируючі позиції за обсягами запасів сланцевої нафти і газу, які зосереджені в Західному Сибіру. На другому місці за обсягами розвіданих нафтових ресурсів знаходяться США. Третя позиція за знайденими запасам сланцевої нафти належить Китаю. При цьому в КНР обсяги покладів сланцевого газу перевищують запаси чорного золота.

1.3.3. Технологія видобутку сланцевої нафти

Сланцева нафта розташована дуже глибоко під землею і для її видобутку застосовують спеціальні технології, які є найбільш перспективними з розробки подібних покладів. На сьогоднішній день сланцева нафта може бути здобута двома способами:

шахтний - має різноманітні варіанти видобутку сировини з свердловини;

відкритий - широко застосовувався в минулому. На сьогоднішній день втратив свою популярність через високу вартість робіт. Традиційні родовища містять незначний обсяг запасів вуглеводнів на планеті - на думку різних експертів 1-3%. При цьому низькопроникні сланцеві породи вміщають великі обсяги палива. Однак розробка таких родовищ досить довго не виходила. Ситуація кардинально змінилася після того, як Джордж Мітчелл об'єднав дві

технології розробки свердловин - горизонтальне буріння і фрекінг (гідророзрив).

Технологія видобутку полягає в наступному. В першу чергу пробурюють вертикальну свердловину до залягання нафтовмісних сланцевих пластів. Після досягнення нафтових сланців формують горизонтальний відрізок свердловини шляхом зміни напрямку буріння. Після чого відбувається закачування спеціального рідкого складу - пісок у водному розчині хімічних реагентів. Що поступає речовина розриває пласт, в якому знаходиться нафту, створюючи безліч тріщин і утворюючи проникний колектор. Процедуру гідророзриву здійснюють кілька разів, збільшуючи кількість тріщин, через які знаходяться в породі вуглеводні стікають в свердловину. Пісок в складі перешкоджає закриттю тріщин.

Недоліки технології гідравлічного розриву:

Відбувається швидке старіння родовища. Середній час «життя» свердловин 1,5-2 роки, протягом першого року роботи дебет знижується на 80%. Потім видобуток зупиняють і шукають нову свердловину на значній відстані від зупинених розробок.

Відзначають викид вуглекислого газу. Проте, зараз ведуться роботи зі створення технологій із захоплення газу, що виділяється. Надалі для підвищення ефективності розробки родовищ, отриманий вуглекислий газ, планують переробляти в електроенергію.

Необхідно відзначити, що технологія розробки сланцевих родовищ знаходиться на етапі свого становлення. Витрати на видобуток сланцевих вуглеводнів перевищують собівартість розробки традиційних нафтових родовищ. У зв'язку з цим в найближчому майбутньому повтору сланцевого буму очікувати не варто, як ми спостерігали з газом, при цьому виявлені запаси сланцевого чорного золота необхідно розглядати як запаси енергетичних ресурсів на майбутнє.

1.4. Висновки розділу

На закінчення розділу відзначимо, що, щоб виділити нафту з бітумінозного піску, на установках спалюється неймовірну кількість природного газу. Один барель нафти містить більше енергії, ніж пішло на його виробництво. Але при цьому в атмосферу викидається втричі більше вуглекислого газу, ніж при видобутку нафти традиційним способом. Сьогодні у нафтогазового бізнесу існують серйозні проблеми з огляду на загострення проблеми енергетичної безпеки для всіх країн світу. Багато хто з учасників ринку, за відсутності власної достатньої бази енергоресурсів, звертають увагу на різні нетрадиційні джерела нафтогазових ресурсів, використовуючи будь-які можливості - від видобутку газу зі сланців і вугільних пластів до синтезу рідкого палива на нафтохімічних підприємствах.

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ АЗЕРБАЙДЖАНА

2.1. Історія и еволюція альтернативних паливно–енергетичних ресурсів Азербайджану

Азербайджан багатий природними ресурсами, в тому числі нафтою і газом. Видобуток нафти в країні має багатовікову історію. Починаючи з 1873 року, вона видобувається і використовується в промислових масштабах. Разом з тим в країні багато інших, місцевого характеру джерел вуглеводневої сировини: природні бітуми, горючі сланці, водорастворенних гази, газогідрати і інші. Їх запаси чималі, проте поки що не використовуються. Унікальні і всесвітньо відомі родовища нафти і газу на суші і в акваторії Каспію зумовили слабку вивченість в республіці нетрадиційних комор палива і джерел цінної сировини для виробництва нафтових і хімічних продуктів, зокрема природних бітумів і горючих сланців, розгляду яких присвячена ця стаття.

Постійне зростання світового енергоспоживання, великі масштаби використання нафти і газу призвели до зниження їх ролі в паливно-енергетичному балансі. Але в останні роки в багатьох країнах активізувалися пошуки і розвідка родовищ природних бітумів і особливо горючих сланців, споруджуються досвідчені і напівпромислові установки для їх переробки.

Практичне застосування цих нетрадиційних джерел вуглеводневої сировини для потреб Азербайджану - нагальна вимога дня. За останні 25 років вченими виявлено закономірності поширення природних бітумів і горючих сланців, отримані конкретні результати по їх якісну характеристику, підраховані прогнозні запаси і визначені методи їх практичного використання. На сьогоднішній день в Азербайджані виявлено близько 50 проявів і скупчень нафтобітумів і більше 60 проявів і родовища горючих сланців.

Природні бітуми. До них відносяться нафтоносні піски і пісковики, що утворюють нафтобітумні скупчення, і виноситься грязьовими вулканами на

земну поверхню нафту, яка, окислюючись, утворює великі Кірова покриви, а місцями Кірова озерця. В Азербайджані рясними виділеннями нафти характеризується 21% грязьових вулканів. Нефтебітумние скупчення, приурочені до різних геологічних утворень, знаходяться на Абшеронському півострові, в Гобустане і Ніжнекурінском нафтогазоносній районі (південно-східний Ширван). Великі запаси нафтоносних пісків - важкої нафти встановлені наместорожденіі Гирмакі (Абшеронський п-ів).

Горючі сланці - це осадові породи переважно глинистого складу з високим, в межах 10-50% вмістом органічної речовини. В Азербайджані родовища і прояви горючих сланців знаходяться в основному на території Ісмаіллінского і Губинського районів, в Шамах-Гобустанський зоні і на Абшеронському півострові. Встановлено вони в різновікових відкладах в інтервалі від крейдяних до міоценових. Науково-виробничий інтерес представляють сланці еоценового віку, що містять деяку кількість легкої нафти.

Використання природних бітумів і горючих сланців. Відзначимо, що на площі Гирмакі розробка природних бітумів відкритим способом була здійснена ще в 1956 р На напівпромислової термічної установці продуктивністю 2,3-2,8 т / год при вмісті в 1 м3 породи 124-164 кг бітуму. Атмосферно-вакуумної перегонкою з нафтопродукту були отримані Лігроїнова фракція і дизельне паливо, яке за своїми якостями відповідало технічним нормам товарної продукції зі звичайних нафт Абшеронського півострова.

З прикладів використання природних бітумів за кордоном згадаємо родовище Атабаска в Канаді, де з нафтоносних пісків ще в 1979 р на двох заводах щодоби видобувалося 16 тис. Тонн нафти, при цьому коефіцієнт екстракції досягав 90%. Крім того, з нафт в промисловому масштабі витягувався ванадій (250-290 г / т) і нікель (60-100 г / т). Доречно зазначити, що азербайджанські бітуми значно перевершують зарубіжні за змістом нікелю

(в середньому до 200 г / т), характеризуються високим вмістом марганцю (до 2 кг / т), циркону (до 500 г / т), а також міді, цинку, молібдену .

Природні бітуми успішно застосовуються у виготовленні асфальтно-бетонної і чорно-гравійної суміші для дорожнього покриття. Вони використовуються для отримання різних нафтопродуктів - бензину, лигроина, мастил.

В останні роки помітно зріс інтерес до горючих сланців, що характеризується великими ресурсами. Вуглеводневу сировину, укладену в них, здатне замінити нафту і газ в багатьох галузях народного господарства. Сланцева нафта і газ переробляються на бензин, мастила, бензол, феноли, нафталін, лак, мазут, толуол і ін., Медичні препарати (іхтіол, нашатирний спирт). Сланцева зола широко застосовується для виготовлення цементу, теплоізоляційних плит, будівельних блоків та панелей, силікатної цегли, а також в сільському господарстві як добриво. Крім того, сланці багаті і мікроелементами - міддю, цирконієм, ванадієм, цинком, марганцем, кобальтом.

В даний час є досвід промислового використання рідких і газоподібних вуглеводнів з горючих сланців в ряді зарубіжних країн - Великобританії, Франції, Китаї, Росії, Естонії, Австралії, США, Бразилії та ін. Заводи з переробки горючих сланців є в більш ніж 80 країнах. На нафтопереробних заводах Китаю випускається 45 видів продукції синтетичного палива і хімічних препаратів. У Росії сланцева зола широко використовується в будівництві. У сільському господарстві республік Прибалтики в середньому за рік використовується близько 3 млн. Тонн сланцевої золи. У Росії (Сизрань) і Франції (Страсбург) зі сланців виготовляють іхтіоловую мазь.

Таблиця 2. Склад бітумінозних пісків Азербайджану

	Органична речовина, %	Сірка, %	Зольність, %	Теплота згорання, МДж/кг
Азербайджан	15,0–29,0	0,4 – 1,2	65,0 – 84,0	6,0 – 12,0
Закордонні страни	12,0–28,0	0,7 – 6,0	51,0 – 79,0	4,0 – 10,5

Азербайджанськими вченими виявлено високу якість і технологічні властивості горючих сланців Азербайджану, за основними параметрами значно перевершують такі копалини багатьох країн світу, за винятком висококалорійних сланців Естонії і Австралії. Так, вивчення сланців по 16 родовищам Азербайджану в зіставленні з 15 родовищами і проявами зарубіжних країн дозволяє віднести їх до категорії найкращих серед низькокалорійних горючих сланців за змістом органічної речовини (15-29%), сірки (низький вміст - 0,3-1,2 %), по зольності (65-84%) і теплоту згоряння (6-12 МДж / кг).

Доречно зазначити, що 72% сланців світу відносяться до категорії низькокалорійних, а 22% - з теплотою згоряння до 8,4 МДж / кг, висококалорійних ж, як в Естонії або на Сіднейському родовищі в Австралії, всього 6%. Загальноприйнятих стандартних вимог до горючих сланців немає, кожна країна встановлює їх з урахуванням наявності запасів, економічної доцільності видобутку і використання. Промислові кондиції весь час змінюються, і сланці з низьким вмістом органічної речовини, ще недавно вважалися неперспективними, набувають практичну цінність, як наприклад, в Німеччині, Румунії та Китаї.

Нафтоносні пісковики і сланці в викидах грязьових вулканів. Крім поверхневих проявів і родовищ, горючі сланці нерідко виявляються серед твердих викидів грязьових вулканів і також мають високий вміст органіки, іноді з нафтою. У 2001 році серед виверженої грязьовим вулканом Брекчії були зібрані зразки горючих сланців еоценового віку, з яких струменіла легка

рідка нафта. У ті роки вперше була висловлена думка про потенційні можливості відкладень, що містять ці сланці, по генерації вуглеводнів на великих глибинах.

Часто серед виверженого вулканом матеріалу зустрічаються уламки нафтоносних порід, комплексне дослідження яких дозволяє судити про можливі скупченнях нафти і газу в геологічних утвореннях палеогену міоценового віку на глибині понад 6 км.

Прогнозні запаси природних бітумів і горючих сланців. В Азербайджані підраховані запаси природних бітумів по 108 об'єктам перевищують 200 млн. Тонн, а горючих сланців по 40 об'єктам до 200 м глибини становлять близько 600 млн. Тонн. Ці об'єкти розраховані на відкриту (до глибини 100 м) і підземну (до глибини 300 м) розробку. Крім родовищ Діалло в Ісмаіллінском і Ханагях - губинський районі, великі прогнозні запаси в Гобустане пов'язані з родовищами і проявами Джангічай (73 млн. Т.), Кичик-Сіяк, Б.Сіякі (по 56 млн. Т.), Ісламдаг (51 млн . т.).

Однак реальні запаси горючих сланців, ймовірно, набагато більше, оскільки поки ми маємо дані лише про поверхневі виходах. Подальші пошукові роботи принесуть більше повні результати. Перспективи використання сланців в Азербайджані. В контексті промислового освоєння сланці родовища Ханагях Губинського району можуть бути утилізовані в котельних установках для вироблення електроенергії або отримання сланцевого газу. Сланці Діаллінского родовища на початковому етапі придатні для отримання сланцевої смоли з подальшим спалюванням на електростанціях або для отримання газу. Мінеральна частина може застосовуватися при виготовленні цементу і в якості добрива для сільського господарства. Хороші показники отримані і по сланцам Джангічая, Пірекюшкюля, Б.Сіякі, Кечаллара, Ісламдага і ін., Які також придатні для промислового освоєння.

В останні роки у світовій практиці (США, Україна, Польща і ін.) Пріоритетним напрямком в освоєнні горючих сланців вважається видобуток

нафти і газу на родовищах з глибини 4-5 км. У 2012 році в США 40% видобутку газу склав сланцевий газ. Згідно з останніми даними, в даний час світові видобувні ресурси сланцевого газу складають 160,2 трлн. $м^3$.

У цьому контексті вельми інформативні грязьові вулкани. Починаючи з 2001 року, горючі сланці з викидів грязьових вулканів Азербайджану служать об'єктом цілеспрямованих академічних досліджень. Комплексно вивчаючи продукти виверження тих грязьових вулканів, в складі яких переважають горючі сланці, наприклад в Гобустане (Дашмардан, Дурандаг, Готур і ін.), Можна отримати достовірну інформацію про глибину та умови їх залягання в надрах, а також якісну характеристику пропонованих до розробки родовищ цих корисних копалин, перш за все для отримання сланцевого газу.

До нетрадиційних (альтернативних) джерел вуглеводневої сировини в Азербайджані можна віднести і забруднені нафтою ділянки на території старих нафтових родовищ Абшеронського півострова, де свого часу видобуток вівся фонтанні способом.

Підраховано, що якщо зібрати всю нафту, просочені грунти на ділянках 10 старих родовищ - в Локбатане, Бинагади, Бібі-Ейбат, Балахани, Сурахани, Пута, Аташгях, шуба та ін., Тобто провести очищення забрудненого грунту до метрової глибини, то можна отримати близько 60 млн. тонн нафти. Це солідна цифра, якщо врахувати, що зараз видобуток річна нафти в Азербайджані становить 42 млн. Тонн. Паралельно будуть вирішені і екологічні проблеми: на рекультивованих ділянках можна провести озеленення і благоустрій.

Ще в 1997 році фахівці Центру розвитку «Порістан» в складі Міжнародної енергетичної академії розробили новий спосіб видобутку палива із забруднених нафтою грунтів Раманінского родовища, отримавши в результаті 30 відсотків нафтопродуктів. У 2001 році компанія OmmeRe побудувала на Абшеронському півострові завод з метою очищення забруднених нафтових земель на старих промислових ділянках. Кілька років тому проводилися роботи по рекультивації земель на родовищі Бібі-Ейбат.

Таким чином, природні бітуми і горючі сланці становлять безсумнівний практичний інтерес. Для того, щоб в Азербайджані нетрадиційні нафтогазові багатства були затребувані і знайшли практичне застосування, в наявності всі передумови.

2.2. Бітумні піски Азербайджану як джерело нетрадиційної енергії

Азербайджан багатий природними ресурсами, в тому числі нафтою і газом. Разом з тим в країні багато і інших нетрадиційних (альтернативних) джерел вуглеводневої сировини - природних бітумів, горючих сланців, водорозчинних газів, газогідратів і ін., Запаси яких чималі, проте поки що не використовуються [19]. Багатовікова історія видобутку нафти і газу, всесвітньо відомі їх родовища на суші і в акваторії Каспію, треба думати, і зумовили слабку вивченість в Азербайджані нетрадиційних комор палива і джерел цього цінного УВ сировини, зокрема природних бітумів, розгляду яких присвячений цей розділ.

Тому в останні два-три десятиліття в багатьох країнах активізувалися пошуки і розвідка родовищ природних бітумів, особливо горючих сланців, споруджуються досвідчені, напівпромислові установки для їх переробки. Вони використовуються не тільки для отримання синтетичної нафти і газу, але головним чином для виробництва нафтових і хімічних продуктів і вилучення багатьох рідкісних хімічних елементів.

"Брітіш Петролеум" (Велика Британія) і "Статойл" (Норвегія) і зіставлені за складом з нафтою родовищ, а також керогеном (ОВ) нефтематерінскіх порід. В результаті вперше були отримані дані про їх ізотопний склад, що дозволили встановити изотопно-важку і легку нафту і зв'язати її джерела з палеогеном і міоценом. Ця нафта виявилася ароматичного і метанового складу, сильно біодеградірованная з ізотопним складом вуглецю (ІСУ) в межах від -24,76 до -27,88 ‰ (Quliyev, Aliyev, Rahmanov, 1995; Aliyev, 2006).

Природні бітуми успішно застосовуються для покриття (асфальтування) доріг, а саме: приготування асфальто-бетонної і черногравійной суміші. Крім

того, вони використовуються для отримання різних нафтових продуктів (бензину, лигроина, мастил та ін.), А також, як уже відзначалося раніше, для отримання ряду рідкісних хімічних елементів.

Варто згадати, що на площі Гирмакі (Апшеронський п-ів) розробка природних бітумів відкритим способом була здійснена ще в 1956 р на дослідній, напівпромислової термічної установці продуктивністю 2,3-2,8 т / год і змістом в 1 $м^3$ породи 124- 164 кг бітуму. Атмосферно-вакуумної перегонкою з нафтопродукту були отримані: Лігроїнова фракція і дизельне паливо, яке за своїми якостями відповідало технічним нормам товарної продукції на основі звичайної нафти Апшеронского п-ова. До речі, великі запаси нафтоносних пісків - важкої нафти встановлені саме на цьому родовищі. Ця площа знаходиться на схід від Гирмакінского родовища і є одним з найдавніших нафтових родовищ Апшеронского п-ова, де в 1973 році була отримана перша промислова нафту в Азербайджані. Розробка родовища продовжується і на порядку денному стоїть питання вилучення і використання залишкової в надрах важкої нафти з основного нафтогазоносного об'єкту - продуктивної товщі (ПТ) нижнього пліоцену. Є і ряд прикладів використання природних бітумів в зарубіжних країнах. Зокрема в Канаді, на родовищі Атабаска з нафтоносних пісків в 1979 р На двох заводах щодоби видобували 16 тис. Тонн нафти, при цьому коефіцієнт екстракції досягав 90%. Крім того, з нафти в промисловому масштабі витягувався ванадій (250-290 г / т) і нікель (60-100 г/т). Доречно зазначити, що азербайджанські бітуми характеризуються високими значеннями Ni, Cr, Cu, Zn і Mo, значно багатшими (в порівнянні з зарубіжними) нікелем (в середньому до 200 г / т), марганцем (до 2 кг / т), цирконієм (до 500 г / т) і т. д.

З публікацій 80-х років XX століття (Гольдберг, 1981; Халімов і ін., 1987) відомо, що канадські і американські компанії вже в ті роки в промисловому масштабі витягували пятиокись ванадію, молібдену; було законсервовано декілька родовищ важкої нафти в зв'язку з виявленням в них золота і урану.

Примітно, що саме в Канаді на частку бітумінозних порід припадає понад 90% світових запасів бітуму.

Потрібно відзначити, що більшість нафтобітумних скупчень пов'язані з грязевулканічною структурами і розташовані на виходах палеоген-міоценових відкладень. Пов'язані вони з поздовжніми тектонічними порушеннями, простежується на зводі, крилах і периклінальних частинах антиклінальних складок (табл. 1). По кожному нафтогазоносної району вибрано і охарактеризовано кілька характерних площ по виходах на земну поверхню нефтебітумінозних порід і в результаті розтину свердловинами.

У Ніжнекурінском районі на Бяндованской площі на ділянці Аралиг (проміжна) гірничими виробками і свердловинами в інтервалі 37-61 м розкритий бітумінозний пласт середньою потужністю 8,4 м; окунтурена площа, рівна 31 га.

На пл. Бабазанан на різних ділянках північно-східного крила складки свердловинами глибиною від 50 до 246 м розкриті покриви потужністю від 3 до 40,5 м. Аналіз фактичного матеріалу дозволяє виділити до глибини їх виклинювання (в середньому 125 м) один-два досить витриманих і близько розташованих один під одним пластів.

Площа поклади до зазначеної глибини становить 90 га при протяжності пластів - 2 570 м і середній відстані по падінню - 350 м. На південно-східній перікліналі Бабазананской складки серед оголюються порід продуктивної товщі знаходиться Кірова озеро "Гирриг" довжиною 300-350 м і шириною 40-50 м. При цьому товщина бітумної маси в середньому становить 2 м, а її насиченість - від 43,7 до 89,5% .У Гобустане обрані для опису площі Айрантекен, Солахай і Барідаш.

На південному сході пл. Айрантекен на ділянці Нафтова балка (між вулканами Айрантекен і Готурдаг) виділено шість пластів протяжністю 1 500 м і ефективною потужністю 31,9 м. На іншій ділянці, на площі розміром в 24 га, розкриті в середньому чотири бітумінозних пласта загальною потужністю

21,3 м . Бітумонасищенность порід у відслоненнях і свердловинах - близько 5-6%.

Виходи бітумінозних порід на пл. Солахай представлені двома-трьома шарами потужністю від 2 до 20,3 м і протяжністю 2 км. На не пов'язаної з грязевулканічною структурою пл. Барідаш в свердловинах в інтервалі 1 215-1 518 м від покрівлі ПТ виявлено 16 бітумінозних пластів потужністю від 2,8 до 12,2 м і середньою довжиною 2 604 м.

І, нарешті, в Прикаспійському районі бітумними проявами виділяється Сіазанская моноклiналь, особливо Чандагар-Заратская підзона. Тут в районі Чандагарского грязьового вулкана, приуроченого до Майкопський піщано-глинистих порід, уздовж східного закінчення Сіазанского насування безперервно виділяється густа нафту просочує породи майкопа на площі, що становить 53 га. Середня потужність бітумінозних порід - 3,5 м.

У цьому районі виділенням нафти характеризується вулкан Хидирзінде з діаметром сопкових поля близько 80-100 м, з діючими центрами ерупції. У центральній частині поля перебуває діюча сопка заввишки 5 м.

Щодо геохімічних особливостей природних бітумів, вивчених по виходах на денну поверхню і з свердловин, слід зазначити різкі відмінності в їх компонентному і вуглеводневому складах. Бітуми з виходів бітумних порід на поверхню схильні до окислювальним процесам і ступінь їх восстановленности зі збільшенням глибини залягання пластів підвищується. У відслоненнях кислі компоненти превалюють над нейтральними. У компонентному складі поверхневих бітумів переважають асфальтени і такі бітуми зараховують до класу асфальт. Як приклад можна привести склади бітумів продуктивної товщі з виносів грязьового вулкана Айрантекен.

У поверхневому бітумі зміст асфальтенів становить 47,7%, масел - 30,1% (клас асфальт), а в бітумі з свердловини асфальтени досягають лише 21,2% при помітному підвищенні масляних компонентів (56,2%) - клас нафту. При збільшенні глибини залягання пластів спостерігається різке підвищення кількості масел (80,6%) і зменшення вмісту асфальтенів (5,8%). Тип бітуму -

нафта. Зміна бітумів, в силу виборчого споживання мікроорганізмами УВ метанового ряду, призводить до поступового перетворення метанової нафти в Нафтенові. Згідно виконаним нами аналізам (більше 20-ти), в вуглеводневому складі бітумів, відібраних з оголень і свердловин, основну масу становлять моноциклічні ароматичні УВ, які змінюються від 55,36 до 71,34%, тоді як бициклические і поліциклічні відповідно 3,94 -14,8% і 3,17-14,5%. При цьому низькомолекулярні смоли варіюють від 4,4 до 23,28% і їх зміст в свердловинах більше, ніж в відслоненнях [20 – 24].

Вперше в виділених петролейним ефіром асфальтенів були визначені мікроелементи, т. К. В цій фракції бітумів їх концентрація спостерігається, за рідкісним винятком, майже у всіх досліджених местопроявленіях і скупченнях бітуму.

Нижче наведені результати аналізу мікроелементного складу бітумів продуктивної товщі, відібраних з виходів бітумних порід і свердловин досліджених местоскопленій Ніжнекурінского району:

Fe – 2050 – 11830 г/т (ср. 7227);
Ti – 490 – 650 г/т (ср. 590);
V – 16 – 26,5 г/т (ср. 23,5);
Cr – 34 – 96 г/т (ср. 72,7);
Co – 3,2 – 5,7 г/т (ср. 3,8);
Ni – 60 – 132,5 г/т (ср. 103,6);
Cu – 21 – 60 г/т (ср. 47,6);
Zn – 37 – 70 г/т (ср. 55,1);
Mo – 3 – 8 г/т (ср. 5,8);
Zr – 110 – 350 (ср. 235).

Узагальнений концентрований ряд для бітумів, відібраних з виходів бітумних порід, має наступну послідовність:

F>Ti>Zr>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu>V>Mo>Co.

З глибиною вміст мікроелементів в бітумах, в цілому в міру зниження асфальто-смолистих речовин, зберігає або зменшує свою концентрацію. Узагальнений концентрований ряд для бітумів, екстрагованих з виходів досліджених местоскопленій Гобустана (з деякими змінами кількості елементів в бік збільшення або зменшення), має приблизно такий же розподіл

F> Ti> Zr> Mn> Ni> Cr> Cu> Zn> V> Co> Mo.

При цьому відношення V / N є коррелирующим для вивчених районів.

І на закінчення ще про одне нетрадиційному джерелі УВ сировини в Азербайджані, до якого можна віднести забруднені нафтою ділянки землі на території старих нафтових родовищ Апшеронского півострова, де в ті роки видобуток вівся фонтанні способом. Було підраховано, що якщо зібрати всю нафту, просочені території десяти старих родовищ: в Локбатане, Бинагади, Бібіейбат, Балахани, Сурахани, Пута, Аташкях, шуба і ін., Т. Е. Провести очищення забрудненого ґрунту глибиною 1 м, то можна отримати близько 60 млн т нафти. Виходячи з того, що зараз видобуток нафти в Азербайджані становить 42 млн т / рік, - це солідна цифра. При цьому будуть вирішені і екологічні проблеми: на очищеної землі можна садити дерева, чагарники, завдяки чому очиститься повітря. У зв'язку з цим треба відзначити, що ще в 1997 р Фахівці Центру науково-виробничого розвитку "Порістан" в складі Міжнародної енергетичної академії розробили новий спосіб видобутку палива із забрудненої нафтою грунту Раманінского родовища, отримавши в результаті 30% нафтопродуктів. А в 2001 році компанія Omme Re побудувала на Апшеронському півострові завод з метою очищення забруднених нафтових земель на старих промислових ділянках. Кілька років тому проводилися роботи по рекультивації земель і на родовищі Бібіейбат.

Таким чином, природні бітуми, безсумнівно, представляють науково-практичний інтерес і, думається, недалекий той день, коли ці нетрадиційні нафтогазові багатства, зокрема нефтебітумние прояви і скупчення, будуть використані в народному господарстві.

2.3. Перспективи розробки нетрадиційних джерел енергії Азербайджану

Світова наука перебуває в стані пошуку альтернативних джерел енергії, одним з яких є бітумінозні піски і важкі нафти [25]. За деякими відомостями [26, 27], ресурси бітумінозних пісків і важкої нафти в світі становлять 400-700 млрд.т, що в 1,3-2,2 рази більше, ніж традиційні ресурсів .

Особливо багаті важкої нафтою і бітумінозних пісками Венесуела, Канада, Мексика, Кувейт і Китай. Згідно [26] першопрохідцем у видобутку бітуму є Венесуела, де експлуатація родовищ почалася тільки в 1979 році. Необхідно відзначити, що розробка природних бітумів відкритим способом була здійснена на Апшеронському півострові (Азербайджан) в 1956 році на площі Гирмакі.

Основні нафтогазовидобувні родовища Азербайджану розташовані в Апшеронському півострові і акваторії Каспійського моря. Згідно [28] доведені запаси нафти в регіоні складають 48 мільярдів барелів (близько 3,5% світових запасів нафти). В результаті багаторічної експлуатації решту запасів нафти оцінюються близько 109 мільярдів баррелів, що складає 4,7% від світових запасів нафти.

В даний час в республіці пріоритетним напрямком в нафтовидобувному секторі є вироблення легкої нафти (з в'язкістю до 50 мПа). При цьому рівень видобутку в середньому становить менше 50%, а по родовищах важкої нафти і бітуму рідко перевищує 20 - 30%.

За різними оцінками запасів легкої нафти в Азербайджані вистачить на найближчі 20-30 (песимістичний погляд) і 70-80 (оптимістичний погляд) років [29, 30].

Однак, паралельно з цим регіоном сконцентровані унікальні родовища нетрадиційних комор палива, зокрема, природних бітумів (бітумінозних пісків) і горючих сланців, які вважаються одними з джерел альтернативного палива [31, 32]. Крім цього, в результаті недотримання вимог екологічної безпеки під час експлуатації родовища на Апшеронському півострові за останні півтора століття, відбулися сильні забруднення земель нафтою і

нафтопродуктами. В даний час площа забруднених земель на острові становить близько 22 000 гектара і більше 10% з них прийшли в непридатний стан. Ступінь забруднення земель на цих площах становить від 1-2% до 30-40%.

Бітумінозні піски мають паливний склад, де матрицею є природний бітум, з'єднаний піском, водою, глиною і різними мінералами.

В даний час в Азербайджані виявлено понад 50 нафтобітумних проявів і скупчень і близько 80 проявів і родовищ горючих сланців [33]. Прогнозні запаси природних бітумів понад 200 млн. Тонн, а горючих сланців, підрахованих по 40 об'єктам, близько 600 млн. Тонн. Вони знаходяться на поверхні землі і їх видобуток не вимагає особливих витрат.

В останні роки ряд великих зарубіжні компаній, зокрема такі компанії, як Exxson Mobil, Total і Omme Re приділяють особливу увагу до Азербайджанським родовищ, багатими природним бітумом і сланцями. Тематика "Нетрадиційні паливно-енергетичні джерела Азербайджану" є пріоритетним напрямком наукових досліджень НАН Азербайджану.

Очищення бітумінозних пісків є не тільки промислової і економічним завданням, вона має сильну екологічну сторону. У світовій практиці для розробки поклади природних бітумів застосовуються відкритий (кар'єрний) і підземні (шахтні, шахтно-свердловинні) методи. Вони відрізняються необхідністю вкладення великих фінансових ємностей. Відомо, що для видобутку однієї тонни нафти з бітумінозного піску необхідно переробляти близько 12-15 тонн нафтового піску. Крім цього, застосування відкритого кар'єрного методу може призвести до виникнення екологічних проблем. В Азербайджані, на відміну від Канади, Венесуели та ін. Родовищ бітумінозні породи знаходяться майже біля поверхні землі - глибиною до 30 метрів. Проблема посилюється з тим, що Апшеронський півострів, де розташовані бітумінозні піски і забруднені землі, є густонаселеним.

Як видно з вищевикладеного, зазначені причини мають технічні, технологічні та екологічні засади, що обмежують розширене застосування видобутку нафти з бітумінозного родовища.

Таким чином, можна зробити наступні основні висновки:

- бітумінозні піски і сланцеві родовища в Азербайджані є резервними альтернативними джерелами паливно-енергетичного комплексу;
- При умові, коли ціна на нафту нижче 70-80 доларів США, розробка бітумінозних пісків і сланцевих родовищ економічно недоцільна;
- незважаючи на ситуацію, що склалася, розробка нових екологічно чистих технологій для видобутку нафти з бітумінозних пісків і сланців є завданням актуальним.

2.4. Висновки розділу

У розділі було показано, що постійне зростання світового енергоспоживання, великі масштаби використання нафти і газу призвели до зниження їх ролі в паливно-енергетичному балансі. При цьому було показано, що в останні роки в багатьох країнах активізувалися пошуки і розвідка родовищ природних бітумів і особливо горючих сланців, споруджуються досвідчені і напівпромислові установки для їх переробки. В розділі було показано, що практичне застосування цих нетрадиційних джерел вуглеводневої сировини для потреб Азербайджану - нагальна вимога дня. Зокрема, за останні 25 років вченими виявлено закономірності поширення природних бітумів і горючих сланців, отримані конкретні результати по їх якісну характеристику, підраховані прогнозні запаси і визначені методи їх практичного використання. Було розглянуто властивості бітумних пісків, зокрема то, що до них відносяться нафтоносні піски і пісковики, що утворюють нафтовобітумні скупчення. Проаналізовано засоби підвищення ефективності використання бітумінозних пісків.

РОЗДІЛ 3. ОПИС ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МЕТОДИКИ

У розділі наводиться опис і результати теоретичного дослідження та комп'ютерного моделювання запропонованого методу нагріву нафтоносних пісків за допомогою електричного резонансу.

3.1. Вступ

В роботі досліджуються технології електричного нагріву [2], в якості альтернативи використовуваним методам видобутку нафтоносних пісків на основі пара [3]. Пропоновані методи призводять до зниження витрати води при одночасному підвищенні ефективності видобування нафти. Однією з особливостей електричних методів є їх чутливість до умов ґрунту, зокрема до діелетріческой проникності і теплопровідності. З цієї причини, для кожного з родовищ необхідно проводити окремий аналіз тимчасових, енергетичних і температурних умов нагріву. У цій роботі ми проводимо дослідження і розробку конкретних умови застосування методів електричного нагріву для ефективної експлуатації нафтоносних пісків Азербайджану.

В основі запропонованої методики лежить техніка [1], заснована на резонансі електричної стоячій хвилі, який забезпечує перенесення електричної енергії в ближню зону для нагріву нафтоносних пісків. В роботі проведено комп'ютерне моделювання впливу енергії електричного поля на нафтоносні піски, розташовані в якості діелектрика в конденсаторі. Досліджені різні конфігурації цього безвипромінювального методу для кількісної оцінки максимальної температури, а також тимчасових і просторових залежностей температурного градієнта. Також була проведена імпедансна спектроскопія нафтоносних пісків для відомих електричних характеристик нафтоносних пісків Азербайджану. В результаті аналітично отримані електричні параметри ближнього поля, що відносяться до розподілу ємності, щільності і температури. В результаті моделювання було отримано, щоб пропонований

процес може забезпечити нагрів до температури 120°, при цьому ефективність передачі електричної енергії досягала 90%.

3.2. Стислий опис історії застосування і фізичних основ методу

Місцеві запаси становлять 80% всіх нафтоносних пісків в Альберті, Канада [34]. В даний час теплова енергія пара використовується для видобування нафти за допомогою двох переважаючих процесів: циклічної стимуляції паром (CSS) і гравітаційного дренажу за допомогою пари (SAGD). Ці операції, як відомо, енерго- і водоємні, споживають близько 30 000 м3 природного газу [35] або 1,3 ГДж енергії [36] і 0,5 барелів води [34] на кожну вироблений барель бітуму. Використання води призводить до безлічі проблем з очищенням води на цих підприємствах, які впливають на експлуатаційні витрати і ефективність установки. Співвідношення пара і нафти (SOR) в поточних процесах є високим, оскільки методи закачування пара потребують поліпшення в різних областях, включаючи початкову прийомистість, контроль закачуваної рідини, неоднорідність колектора, корекцію пара і ефективність витіснення, і це [37]. В якості альтернативи паровим процесам з'являються дослідження в лабораторних і польових масштабах в області електротермічного і електромагнітного нагрівання нафтоносних пісків [37 – 42]. Найбільш широко використовуваний електротермічний метод використовує нагрів від електрично нагрітих електродів, розміщених всередині стовбура свердловини [43]. В електротермічних методах, які включають електричну провідність, стовбури електродних свердловин піддаються впливу частоти 60 Гц, дозволяючи току текти по пласту за рахунок іонної провідності через водонасичені частини взаємозалежних порових просторів в колекторі. Температурний профіль залежить від передачі тепла за рахунок теплопровідності і розподілу електроенергії в радіальному напрямку від електрода. Останній варіант електротермічного нагрівання використовує конвективний перенос тепла шляхом уприскування води на електроди.

Профіль температури в такий модифікованої системі залежить від теплопередачі за рахунок теплопровідності, конвекції і розподілу електроенергії в радіальному напрямку від електрода [44]. Ці механізми сильно залежать від наявності води в резервуарі. Більш того, коли вода нагрівається електрично, вона з часом випаровується, збільшуючи опір пласта. Частота мережі (60 Гц) не підходить для маніпулювання пластами з таким високим опором, тому вода в цих пластах періодично поповнюється. Дослідження підтвердили, що ступінь вилучення бітуму за допомогою цих процесів еквівалентна процесам SAGD, що становить близько 65% [45].

На відміну від електротермічних методів, які працюють на частоті 60 Гц, електромагнітні системи працюють в діапазоні частот від кГц до ГГц. Ці частоти можуть управляти середовищами з високим опором, на відміну від промислової частоти, оскільки вони генерують тепло через діелектричних втрат, що виникають через дипольної релаксації (діапазон від МГц до ГГц), а також втрат провідності, що виникають через просторового заряду і міжфазної поляризації (діапазон від кГц до МГц). Таке нагрівання, званий діелектричним нагріванням з використанням радіочастот, не тільки впливає на невеликий відсоток поляризованої води, що містить іони, але також впливає на бітум, який являє собою цікавий продукт. Це призведе **до більш рівномірного об'ємному тепловиділенню** в порівнянні з SAGD і іншими електротермічними методами.

Діелектричний нагрів може здійснюватися одним з двох способів: піддаючи резервуар електромагнітного випромінювання (далеке поле) або шляхом ємнісного додатки реактивного ближнього поля до середовища між електродами. Радіаційний нагрів в далекій зоні рідко буває однорідним, оскільки більшість випадкових взаємодій відбувається в прилеглих областях, близьких до антени. Це може привести до інтенсивного / неконтрольованого нагріву на кордоні розділу антена / грунт, викликаючи нерівномірне теплове розподіл і можливе пошкодження бітуму в регіоні. Крім того, потік активної потужності в випромінюючої антени забезпечує більш низьку ефективність,

оскільки випромінюються хвилі, які, ймовірно, ніколи не взаємодіють, будуть як і раніше споживати потужність в джерелі електроенергії.

У цій роботі досліджується альтернативний метод нагріву нафтоносних пісків, в якому реактивна ближня зона резонатора між двома електродами використовується для діелектричного нагріву нафтоносних пісків. Досліджувана система використовує електричну стоячу хвилю, щоб максимізувати електричне поле між електродами і викликати сильну діелектричну поляризацію в нафтоносних пісках. Система нафтоносних пісків знаходиться в резонансі з аплікатором під час процесу нагріву. Коли досягається максимальна температура для даної вхідної напруги, опір нафтоносних пісків змінюється. На основі нового імпедансу резонатор можна змінити налаштування на новий резонанс, щоб викликати додатковий нагрів. Як повідомлялося [46], відмінною рисою резонатора ближнього поля є те, що наявність матеріального навантаження зазвичай значно впливає на конфігурацію поля пристрою і змінні схеми, такі як напруга, струм і загальну вхідну потужність. По суті, досліджуваний матеріал завдяки своїм електричним властивостям стає частиною схеми. На відміну від радіаційних систем, електрична енергія, яка не споживається в нафтоносних пісках, знаходиться в реактивному ближньому полі нашої системи, підвищуючи ефективність роботи за рахунок зниження загальної середньої тимчасового споживання електроенергії.

3.3. Приклад експериментального реалізацій принципу ємнісного нагріву

У 1979 році в роботі [44] було представлено концептуальний документ про можливе використання радіочастотної (від 10 кГц до 10 МГц) потужності для нагріву бітумінозних пісків штату Юта, яка подається через набір металевих електродів, вставлених в поверхневий резервуар, як набір конденсаторів. Пропонована схема представлена на рис. 3.1. Carlson et al. і Sresty et al. повідомили про результати польових випробувань високочастотного (2,2875 МГц і 13,56 МГц) нагріву на рівнях потужності від 20 до 40 кВт в штаті Юта [1] У першому успішному тесті використовувалася імплантована горизонтальна електродний решітка, що покриває 1 $м^3$ матеріалу. Друге випробування, що охоплює обсяг 25 $м^3$ і нагрівається набором вертикальних електродів, довелося зупинити через осідання маси бітумінозного піску, але пізніше було завершено, коли була покращена опора даху.

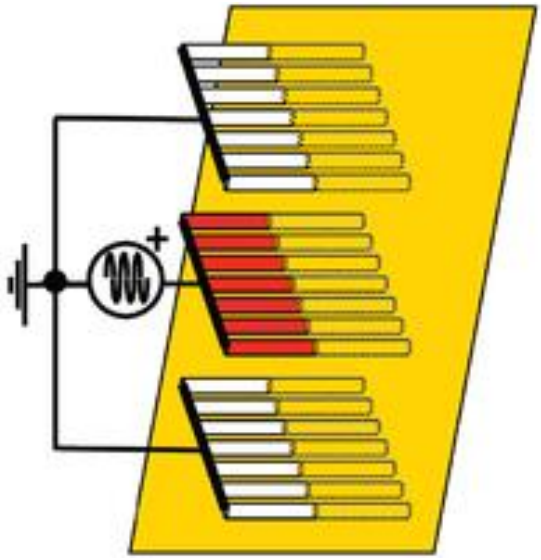
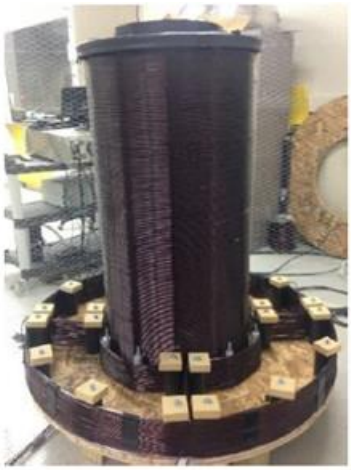


Рис. 1. Схема концентрованого високочастотного нагріву (13,56 МГц). Вставлені електродні решітки грають роль обкладинок конденсатора, обмежуючи більшу частину полів простором між ними.

Ще один приклад конкретної реалізації запропонованого методу експериментально досліджувався в роботи [1].

А) 

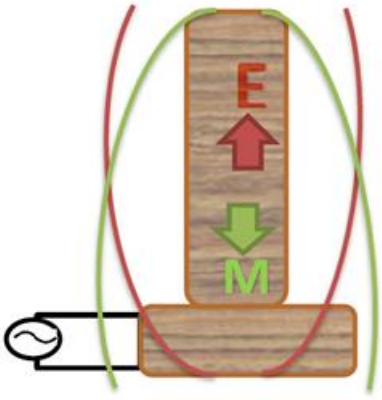
Б) 

Рис.2. А- Спіральний резонатор - джерело високої напруги; Б - Гвинтовий резонатор з розподілом електричного і магнітного поля у вигляді четверть хвильовій стоячій хвилі. (E - електричне поле, M - магнітне поле)

Спіральний резонатор, показаний на Рис. 2.А, використовується в якості джерела напруги для нагрівальних електродів. Сигнал потужності змінного струму (AC) подається на резонатор з певною частотою, яка призводить спіраль в резонанс з навколишнім паразитного ємністю. Спіраль призначена для роботи в якості четвертьволнового резонатора, де електрична довжина спіралі можна порівняти з довжиною хвилі подається сигналу, а вхідні електричні і магнітні поля зазнають тимчасові і просторові фазові переходи в залежності від геометрії і співвідношення сторін обмотки. Індуктивність і ємність спіралі кумулятивно розподілені, утворюючи картину стоячій хвилі з одним фіксованим кінцем спіралі, а іншим відкритим. Розподіл стоячій хвилі напруги і струму показано на Рис. 2B.

Наведемо результати експеріментальних досліджень

Для експерименту використовувалися два типи нафтоносних пісків Атабаски. Склад цих зразків нафтоносних пісків показаний в таблиці 3.

Таблиця 3. Склад зразків нафтоносних пісків

	Бітум, %	Вода, %	Тверді фракції, %	Малі фракції, %
Пісок 1 (OS1)	13,3	0,5	85	2
Пісок 2 (OS2)	12	5	83	9

Для першої серії експериментів були досліджені залежності резонансної частоти для різних типів нафтоносних пісків OS1 та OS2 були випробувані з фіксованою геометрією конденсатора, як показано на рис. 3.

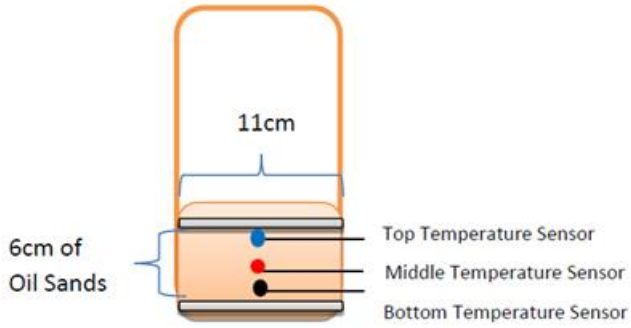


Рис. 3. Схема розміщення датчиків у конденсаторі - резонаторі

В експерименті було показано, що OS1 нагрівається до резонансу частотою 208 кГц і підтримує стійке зростання температур, як показано на рис. 4. В той же час пісок OS2 почав нагріватися на резонансній частоті 326 кГц, і в міру досягнення максимальної температури для цієї частоти резонанс можна було налаштувати на нову частоту кожен разу для підтримки або збільшення швидкості нагріву, як показано на Рис. 5. Вважається, що унікальний частотний відгук для нагріву OS1 і OS2 пояснюється різницею в змісті води і дрібних частинок, обидва з яких були низькими в OS1 в порівнянні з OS2. Щоб зрозуміти їх відповідне електричне поведінку на основі їх складу, були визначені імпеданс і фазовий кут OS1 і OS2, як показано на

Рис. 6. 3 Рис. 6. можна зрозуміти, що OS1 мав більш високий опір, в той час як OS2 був протилежним (маючи більш низький опір) через більш високий вміст води і дрібних частинок.

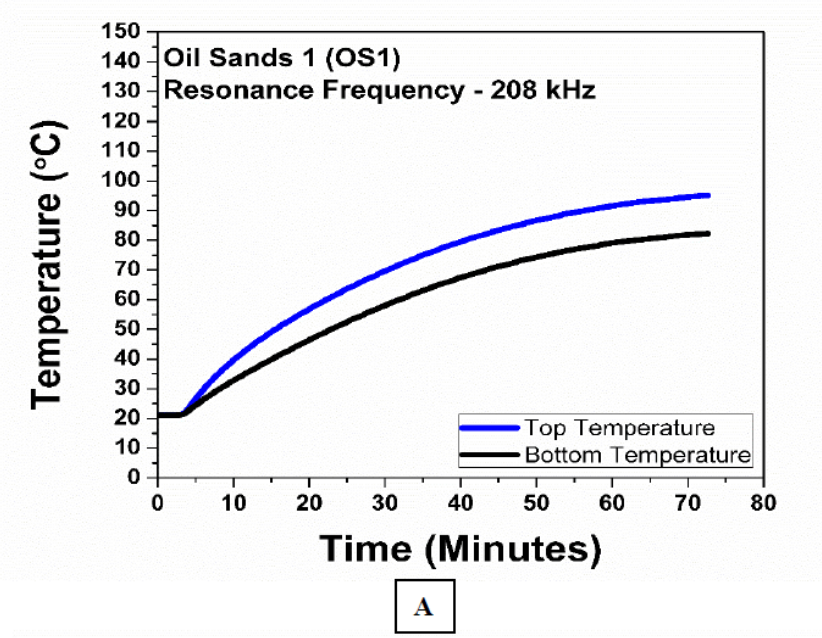


Рис.4. Нагрів нафтоносного піску першого типу (OS1).

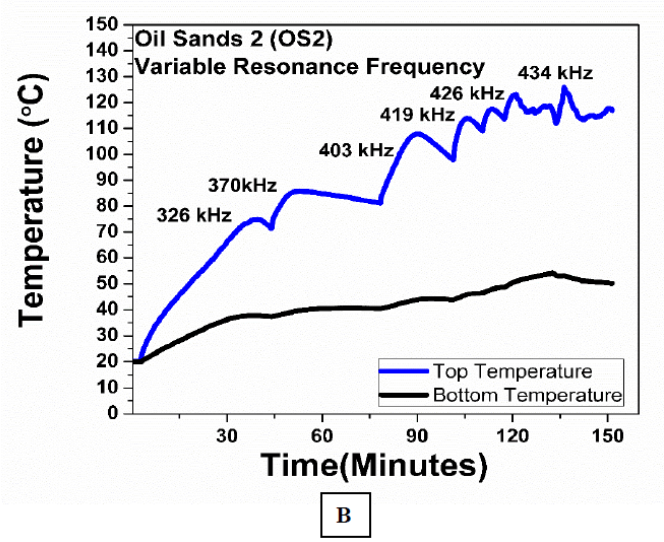


Рис. 5. Нафтоносний пісок другого типу OS2OS2 нагрівається до резонансної частоти 326 кГц і налаштовується на інші резонансні частоти для підтримки або підвищення температури

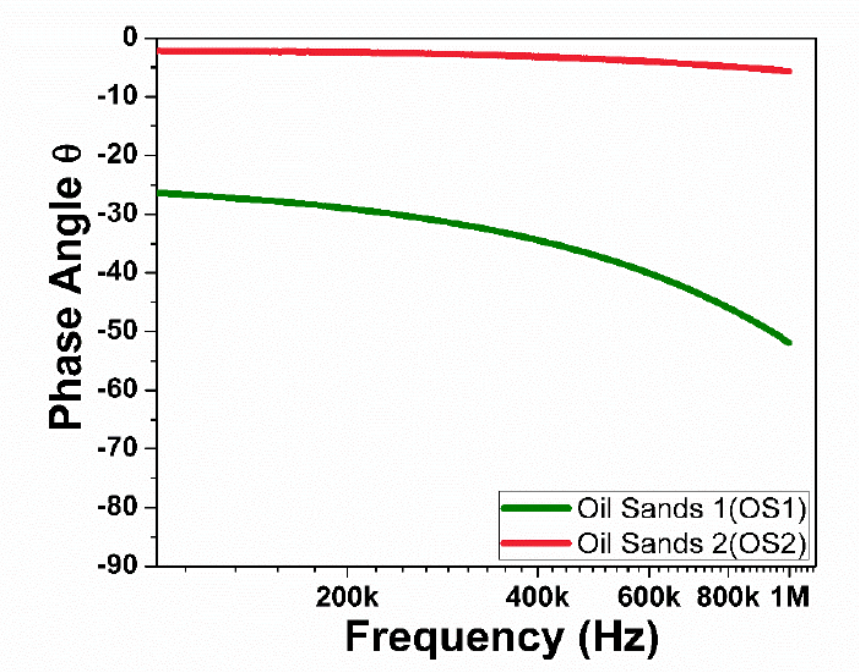


Рис. 6. Фазовий кут нафтоносних пісків обох типів.

Таким чином, у дослідженні [1] нафтоносні піски нагрівали в ємнісному випробувальному осередку з використанням методики **резонансу стоячій хвилі в ближньому полі**. На відміну від типових систем, в яких нафтоносний пісок розглядається як навантаження для джерела передачі енергії, ця система знаходиться в резонансі з елементом нафтоносного піску, і будь-який нагрівання відбувається через внутрішні втрати конденсаторної комірки, що містить його в якості діелектричної середовища. **Будь-яка енергія**, яка не розсіюється на внутрішній провідності / опорі, зберігається в резонуючій системі. Нижче наведені висновки проведених експериментів:

• Нагрівання нафтоносних пісків спостерігається тільки тоді, коли резонатор був налаштований на характерну резонансну частоту. Характеристична резонансна частота залежала від імпедансу діелектричних нафтоносних пісків в конденсаторі, а також від геометрії конденсатора.

• Оскільки нафтоносні піски нагріваються під час резонансу, їх імпеданс змінюється в міру досягнення максимального температурного насичення. Резонатор можна налаштувати на нову резонансну частоту, щоб відповідати

новому імпедансу, щоб підтримувати або збільшувати нагрів. Це вказує на те, що різні типи нафтоносних пісків з різним вмістом води, бітуму та дрібних частинок можуть бути нагріті з використанням цього методу шляхом настройки резонатора на його характеристичну резонансну частоту.

• Максимальна температура 150 ° C спостерігалася при масштабуванні конденсатора на порядок. Оскільки обсяг був більше, а споживана потужність системи була фіксованою на рівні 7 Вт, спостерігалася більш низька швидкість нагріву. Більш висока швидкість нагріву може бути легко досягнута за рахунок збільшення вхідної потужності системи. Ефективність електричної передачі енергії до осередку від джерела живлення склала 95%.

Цей метод нагріву, якщо його масштабувати, може бути вигідним для зниження втрат енергії і споживання води у порівнянні з відомими тепловими процесами. Така система може бути інтегрована з існуючими свердловинами для передачі енергії стоячій хвилі ближнього поля пласту. Він також може бути введений в експлуатацію в районах проміжних покладів нафтоносних пісків, які в даний час не використовуються через відсутність безпечних технологій видобутку в цій зоні.

3.4.Аналітичне розв’язання задачі

Електричне поле, прикладена до будь-якого діелектрика, поляризує матеріал в залежності від складу. В поле змінного струму полярні молекули і заряджені частинки в середовищі обертаються і так, щоб відповідати вживаному електричному полю. Нагрівання відбувається так як атоми, молекули, іони і частки взаємодіють зі своїми сусідами, приводячи до втрат на решітці і тертю, за рахунок коливань, тертя і переходів. Чим вище частота змінного поля, тим більше енергія, що передається середовищі, поки частота не досягне порога, при якому обертання молекул вже не дає істотного вкладу за рахунок обмеженого розміру решітки.

Нагрівання речовини визначається комплексної діелектричної проникністю ε (ω) матеріалу, яка визначається співвідношенням:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) + i\varepsilon''(\omega) \quad (1)$$

Тут ω – кутова частота, $\varepsilon'(\omega)$ – реальна частина діелектричної проникності (діелектрична константа), а $\varepsilon''(\omega)$ – уявна частина діелектричної проникності, яка визначає діелектричні втрати, пов'язані з дипольної релаксацією.

Дипольна релаксація грає суттєву роль при частотах порядку МГц. Для більш низьких частот в діапазоні від Гц до МГц втрати енергії відбуваються через втрати провідності вільних зарядів – іонів. Кількісно це провідність визначається величиною σ в результаті поляризації просторового заряду для однорідних середовищ або міжфазової поляризації, яка виникає на границях в гетерогенних середовищах.

Тангенс втрат визначається відношенням діелектричних потер до діелектричної константи таким чином:

$$tg\delta = \frac{\omega\varepsilon''(\omega) + \sigma}{\omega\varepsilon'(\omega)} \quad (2)$$

У діелектричної середовищі без провідності тангенс втрат буде визначається співвідношенням:

$$tg\delta = \frac{\varepsilon''(\omega)}{\varepsilon'(\omega)} = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} \quad (3)$$

тобто є тангенсом фази комплексної діелектричної проникності.

Втрати енергії електричного поля в одиниці об'єму визначають потужність тепла, що виділяється:

$$Q = \omega\varepsilon'(\omega)tg\delta\ E^2 = \left(\omega\varepsilon''(\omega) + \sigma\right)E^2 \quad (4)$$

де E – пружність електричного поля.

Для визначення розподілу температури при нагріванні матеріалів за рахунок ємнісного нагріву в роботі буде розроблена модель теплопередачі, яка враховує провідність матеріалу і нагрів усередині матеріалу за рахунок діелектричних втрат. Основним рівнянням буде рівняння теплопровідності з розподіленими джерелами тепла:

$$\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\kappa \nabla T) + Q \tag{5}$$

Тут $\kappa = \kappa(T)$ – коефіцієнт теплопровідності середовища, ρ – густина речовини, а C_P – теплоємність при сталому тиску..

Рівняння (5) є суто нелінійним, і дозволяє враховувати нелінійний великий нагрів, при якому необхідно враховувати залежність коефіцієнта теплопровідності від температури. Другою особливістю даної моделі є істотна при будь якій діелектричної проникності від параметрів середовища, що призводить до необхідності нового налаштування резонансної системи в процесі нагрівання.

3.5. Результати аналітичного дослідження

Для вирішення завдання складемо еквівалентну схему для пристрою, який використовувався для нагріву бітумінозних пісків в роботі [1], і яку ми пропонуємо використовувати для високочастотного нагріву.

Еквівалентна схема являє собою коливальний контур, який може налаштовуватися на різні частоти. У цьому коливальному контурі конденсатор заповнений діелектриком, який і необхідно нагріти. Нагрівання відбувається за рахунок діелектричних втрат, тобто через наявність у коефіцієнта діелектричної сприйнятливості уявної частини (1).

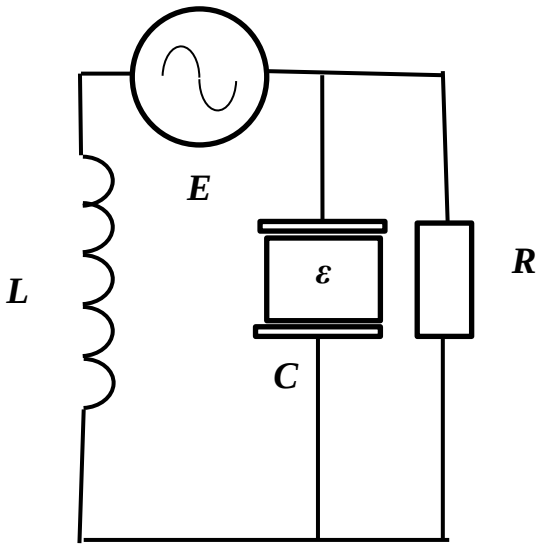


Рис. 7. Еквівалентна схема високочастотного нагріву.

У запропонованій схемі передбачається, що джерело змінної напруги створює ЕРС.

$$E = E_0 e^{-i\omega t} \tag{6}$$

Здесь E_0 – амплитуда напряжения.

Для замкнутих ділянок ланцюга випишемо відповідні рівняння :

$$E = L\frac{dI_L}{dt} + \frac{Q_C}{C} \tag{7}$$

яке описує повне падіння напруга на замкнутому контурі, що містить конденсатор і індуктивність, рівняння

$$I_R R = \frac{Q_C}{C}, \tag{8}$$

яке відображає рівність падінь напруг на конденсаторі і опорі, а також рівняння збереження струму:

$$I_L = I_C + I_R, \tag{9}$$

В рівняннях (7) – (9) I_L – струм індуктивності, Q_C – заряд на конденсаторі, а I_R – струм опору R.

Обчислюючи похідну за часом від співвідношення (7) і (8), здобуваємо:

$$-i\omega E = -L\omega^2 I_L + \frac{1}{C} I_C \tag{10}$$

$$-i\omega I_R R = \frac{1}{C} I_C \tag{11}$$

У співвідношеннях (10), (11) і далі (до обчислення потужності нагріву) фізичні величини замінені їх комплексними значеннями. Тепер використовуємо (11) в (9):

$$I_L = I_C + I_R = I_C \left[1 + \frac{i}{\omega RC} \right] \tag{12}$$

Підставляємо цей вираз в (10):

$$-i\omega E = -L\omega^2 I_C \left[1 + \frac{i}{\omega RC} \right] + \frac{1}{C} I_C \tag{13}$$

Тепер остаточно отримуємо вирази для струму через конденсатор:

$$I_C = \frac{-i\omega E}{-L\omega^2 \left[1 + \frac{i}{\omega RC} \right] + \frac{1}{C}} \tag{14а}$$

$$I_C = \frac{-i\omega EC}{-L\omega^2 \left[C + \frac{i}{\omega R} \right] + 1} \tag{14б}$$

Зараз врахуємо, що ємність конденсатора має такий вигляд

$$C = \varepsilon(\omega)C_0 = \{\varepsilon'(\omega) + i\varepsilon''(\omega)\}C_0 \tag{15}$$

де C_0 – ємність конденсатора без діелектрика. В результаті для струму в конденсаторі маємо

$$I_C = \frac{-i\omega E\{\varepsilon'(\omega) + i\varepsilon''(\omega)\}C_0}{-L\omega^2\left[\{\varepsilon'(\omega) + i\varepsilon''(\omega)\}C_0 + \frac{i}{\omega R}\right] + 1} \tag{16}$$

Звідси

$$I_C = \frac{-i\omega EC_d\{1 + itg\delta\}}{-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\left[\{1 + itg\delta\} + \frac{iL}{\omega R}\right] + 1} \tag{17}$$

Тобто

$$I_C = \frac{-i\omega EC_d\{1 + itg\delta\}\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega^2\left[tg\delta + \frac{iL}{\omega R}\right]} \tag{18}$$

Тепер врахуємо зв’язок між ємністю та опором для речовини в конденсаторі:

$$R = \frac{1}{\sigma}\frac{d}{S} = \frac{1}{\sigma}\frac{d}{S}\frac{Cd}{\varepsilon' S} = \frac{C}{\sigma\varepsilon'} \tag{19}$$

Остаточно здобуваємо

$$I_C = \frac{-i\omega EC_d\{1 + itg\delta\}\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega^2 tg\delta_{eff}} \tag{19}$$

Тут ефективний кут втрат враховує електричну провідність середовища в конденсаторі:

$$tg\delta_{eff} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} + \frac{\sigma}{\omega\varepsilon'} \tag{20}$$

Тепер можна знайти трати електричного поля на нагрів, тобто знайдемо потужність нагріву усереднену за період:

$$P = \overline{I_C E} \tag{21}$$

Зараз врахуємо, що фізичні величини було записано в комплексному вигляді, а в визначенні (21) використовуються тільки дійсні значення. Тобто, (21) треба переписати в іншому вигляді, в якому в явному вигляді присутні дійсні фізичні величині:

$$P = \frac{\overline{\left(I_C + I_C^*\right)}}{2}\frac{\overline{\left(E + E^*\right)}}{2} = \frac{1}{4}\left(\overline{I_C E^*} + E\overline{I_C^*}\right) = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left(I_C E^*\right) \tag{22}$$

$$\mathrm{Re}\, I_C E = E_0^2\,\mathrm{Re}\left\{\frac{-i\omega C_d\left\{1 + itg\delta\right\}\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega^2 tg\delta_{eff}}\right\} = E_0^2\omega\omega_0^2 C_d\,\frac{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)tg\delta + \omega^2 tg\delta_{eff}}{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + \omega^4 tg^2\delta_{eff}} \tag{23}$$

Тобто

$$P = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left(I_C E^*\right) = \frac{1}{2}E_0^2\omega\omega_0^2 C_d\,\frac{\omega_0^2 tg\delta + \omega^2\dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon'}}{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + \omega^4 tg^2\delta_{eff}}\,. \tag{24}$$

Таким чином ми здобуваємо шукану формулу для потужності нагрівача:

$$P == \frac{\omega}{2}E_0^2\,\frac{\omega_0^2}{\omega^2}C_d\,\frac{\dfrac{\omega_0^2}{\omega^2}tg\delta + \dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon'}}{\left(1 - \omega_0^2/\omega^2\right)^2 + tg^2\delta_{eff}} \tag{25}$$

Цю формулу можна перевірити в граничному випадку низьких частот:

$$P(\omega \to 0) = \frac{\omega}{2} E_0^2 C_d \left(tg\delta + \frac{\sigma}{\omega \varepsilon'} \right) \tag{26}$$

Ця формула визначає елекричний нагрів квазістаціонарним струмом.

Найбільш цікавим є випадок біля резонансу, коли й спостерігається ефективний нагрів речовини. В цьому разі :

$$P(\omega \approx \omega_0) = \frac{\omega}{2} E_0^2 C_d \frac{tg\delta_{eff}}{\left(1 - \omega_0^2 / \omega^2\right)^2 + tg^2 \delta_{eff}} \tag{27}$$

Це є шукана формула, яка дає змогу дати опис високочастотному нагріві речовини резонансною методикою.

На Рис 8 наведено приклади резонансних кривих розрахованих за формулою (27), які описують діелектричні втрати в певних нафтових пісках [47] для низки частот.

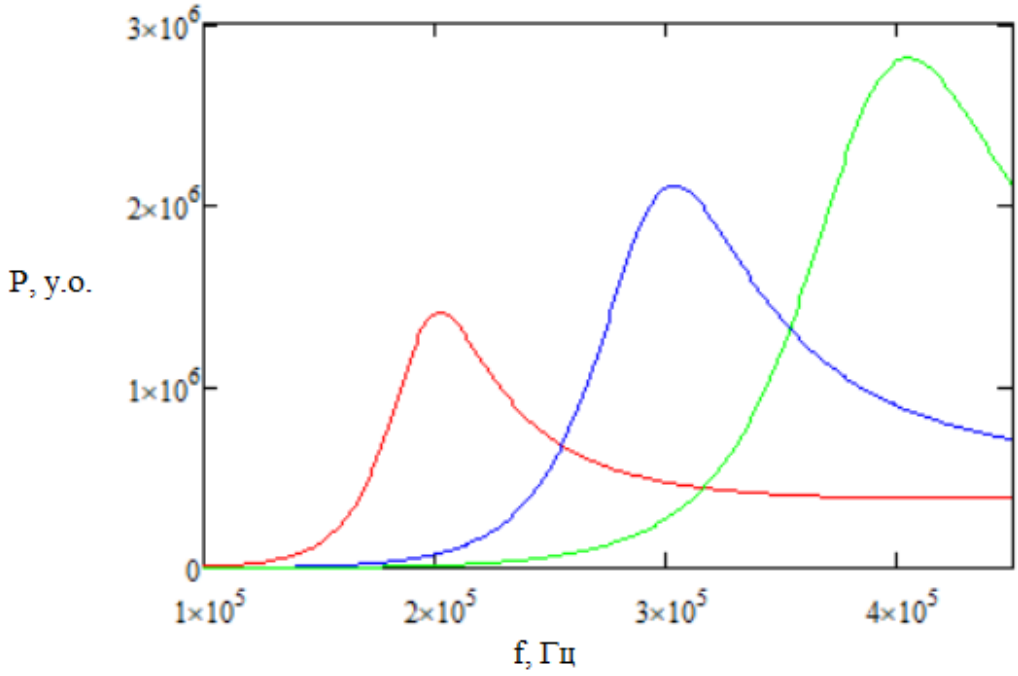


Рис. 8. Приклади резонансних кривих, які описують діелектричні втрати в певних нафтових пісках для низки резонансних частот 200 кГц (червона лінія), 300 кГц (синя лінія) та 400 кГц (зелена лінія).

Здобуті результати дозволяють розглянути задачу про часову залежність температури зразків, що гріються.

3.6. Результати моделювання процесу нагріву

Для дослідження нагріву було застосовано модель однорідного нагріву джерелами тепла (27) за наявністю потоку тепла P_{out} на границі зразка. В цій моделі часова залежність температури може бути представлена наступною формулою

$$T(t) = T_{room} + \left(T_{\max} - T_{room}\right)\left[1 - e^{-t/\tau}\right] \tag{28}$$

Тут T_{room} – початкова кімнатна температура та температура зовні зразка, $T_{\max}$ – гранична температура, до якої прагне кінцева температура нагріву:

$$T_{\max} = T_{room} + \frac{P}{C\text{K}} \tag{29}$$

C – теплоємність зразка, P – потужність нагріву, K – коефіцієнт теплопередачі границі зразка. Характерний час нагріву τ визначається таким чином:

$$\tau = \frac{1}{\text{K}}. \tag{30}$$

Величина коефіцієнту теплопередачі в при певному виборі систем одиниць вимірюється в хвилинах. Це робиться для зручності опису експериментальних даних.

Співвідношення (27) та (28) дозволяють розглядати нагрів бітумінозних пісків з будь-якими діелектричними властивостями. Тобто вони дають

можливість досліджувати речовини з певним змістом нафти, води, та мілко дисперсних фракцій.

Розрахунки за формулою (28) наведені на Рис. 9 для випадку нагріву з резонансною частотою 200 Кгц.

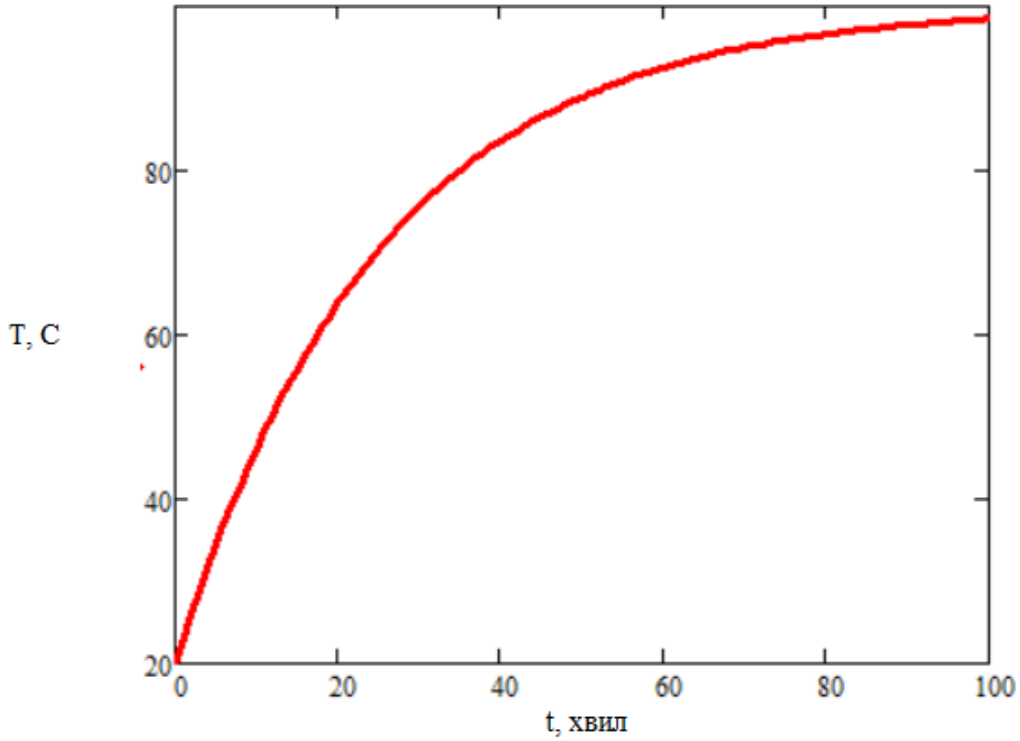


Рис 9. Приклад часової залежності температури зразка бітумінозного піску. Розрахунок за формулою (28). Резонансна частота 200 кГц.

Крім того співвідношення (27) і (28) дозволять підтвердити ідею, яка була запропонована в статті [1] та надати кількісне пояснення результатам експерименту.

На наступному етапі досліджень проведемо кількісний аналіз моделі, в якої склад речовини змінюється під час нагріву (див. Рис.5.). В цьому разі частота нагрівач починає відрізнятися від резонансної і необхідним становиться налаштування частоти. Така необхідність значно покращує ефективність нагрівання [1].

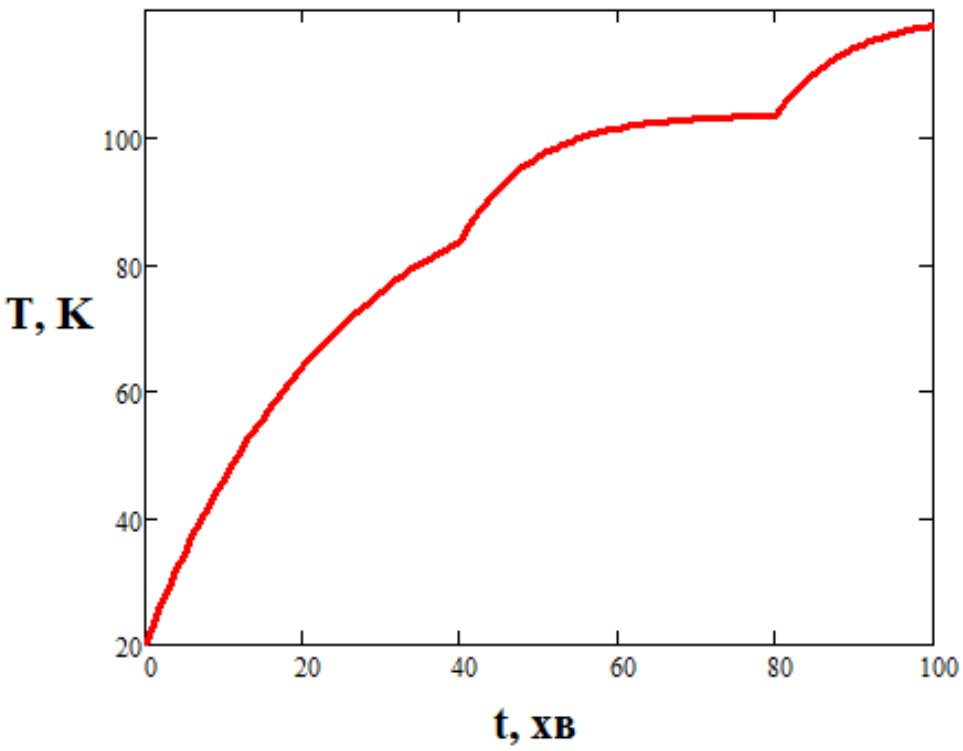


Рис.10. Нагрів з налаштування частоти нагрівача

На Рис. 10. наведено приклад нагріву зі налаштування частоти під час експерименту. Таке налаштування дозволяє в залежності від змінного складу речовини завжди знаходитись в резонансі системи – «електрична схема – речовина» . Це забезпечує підтримку або навіть підвищення ефективності нагріву. На Рис. 10 обчислення зроблені для усередненого складу бітумінозного піску Азербайджану та з вибором оптимальних параметрів нагріву.

3.7. Висновки розділу

У розділі розглянуті існуючі експерименти по високочастотному нагріванню бітумінозних пісків і проведено теоретичне розгляд отриманих даних. Розроблена модель застосовується до нафтоносних пісків, склад яких характерний для бітумінозних родовищ Азербайджану. Визначено параметри для оптимального здійснення нагріву таких пісків для реалізації ефективного видобутку нафти.

ВИСНОВКИ

Основною проблемою є використання нетрадиційних джерел нафти є, зокрема, ефективний видобуток нафти з бітумних пісків. В роботі запропоновано і досліджено технології електричного нагріву, в якості альтернативи використовуваним методам видобутку нафтоносних пісків на основі пара. Пропоновані методи призводять до зниження витрати води при одночасному підвищенні ефективності видобування нафти. Однією з особливостей електричних методів є їх чутливість до фізичних властивостей ґрунту, зокрема до діелектричної проникності і теплопровідності. З цієї причини, для кожного з родовищ необхідно проводити окремий аналіз часових, енергетичних і температурних умов нагріву. У цій роботі ми провели дослідження і розробку конкретних умови застосування методів електричного нагріву для ефективної експлуатації нафтоносних пісків Азербайджану.

В основі запропонованої методики лежить техніка, заснована на резонансі електричної стоячій хвилі, який забезпечує перенесення електричної енергії в ближню зону для нагріву нафтоносних пісків. В роботі проведено комп'ютерне моделювання впливу енергії електричного поля на нафтоносні піски, розташовані в якості діелектрика в конденсаторі. Досліджено різні конфігурації цього безвипромінювального методу для кількісної оцінки максимальної температури, а також тимчасових і просторових залежностей температурного градієнта. Також була проведена спектроскопія нафтоносних пісків для відомих електричних характеристик нафтоносних пісків Азербайджану. В результаті аналітично отримані електричні параметри ближнього поля, що відносяться до розподілу ємності, щільності і температури. В результаті моделювання було отримано, щоб пропонований процес може забезпечити нагрів до температури 120°, при цьому ефективність передачі електричної енергії досягала 90%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. T. Abraham, R. Gaikwad, A. Hande, Ch. W. Van Neaste etc In Situ Heating of Oil Sands Using an Electrical Standing Wave Resonance Excitation Approach // World Heavy Oil Congress 2015. – 233.

2. Larry W. Lake Petroleum Engineering Handbook, Volume VI – Emerging and Peripheral Technologies, H.R. Warner Jr., Copyright 2007, Society of Petroleum Engineers, Chapter 12 – Electromagnetic Heating of Oil, by E. Roberto C. Callarotti, Inst. Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). – P. 575 – 617.

3. L. Pedchenko, K. Niemchenko, N. Pedchenko, M. Pedchenko Use of alternative energy sources to improve the efficiency of natural gas hydrate technology for gas offshore deposits transportation // Mining of Mineral Deposits. – 2018. – V. 12. – Iss. 2. – P. 122 – 131. https://doi.org/10.15407/mining12.02.122

4. Мамахатов Т.М. Битуминозные пески в Сибири и их значение для топливно-энергетического комплекса стран мира // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. и выставка, 8-18 апр. 2014 г., г. Новосибирск: Междунар. науч. конф. "Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью": Сб. матер. в 2 т.. – 2014. – Т. 1. – С. 116-120.

5. Липаев А.А. Разработка месторождений тяжелых нефтей и природных битумов. – М.– Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2013. – 484 с.

6. Якуцени В.П., Петрова Ю.Э., Суханов А.А. Нетрадиционные ресурсы углеводородов – резерв для восполнения сырьевой базы нефти и газа России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2009. – Т. 4. – № 1. – С. 20–26.

7. Основы прогноза и поисков нетрадиционного углеводородного сырья / подредакцией В.П. Якуцени. - Л.: ВНИГРИ, 1989. – 161 с.

8. Annual Report of the Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC, 2010, 2011, 2012, 2013. Available at: http://www.opec.org/opec_web /en/publications/337.htm (accessed August 2014);

9. Statistical Review of World Energy, BP, 2014. Available at: http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/ BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf (accessed May 2015).

10. Fuel Focus. Natural Resources Canada. Available at: http://www.nrcan.gc.ca/energy/fuel-prices/4593 (accesed May 2015).

11. Sawatzky Ron, Huerta Marlene, London Mike, Meza Brigida. Cold Production in Western Canada: A Step Forward in Primary Recovery. Russian Oil And Gas Technologies Magazine, 2010, issue 20. Available at: http:// www.rogtecmagazine.com/2010/03/cold-production-in-western-canada-step.html (accessed May 2015);

12. Canadian Association of Petroleum Producers. Available at: http://www.capp.ca/Pages/default.aspx (accessed May 2015);

13. Canadian Energy Pipeline Association (CEPA).Available at: http://www.cepa.com (accessed May 2015);

14. Energy Outlook 2012-2013, National Energy Board, 2013. Available at: http://www.neb-one.gc.ca/clf-nsi/ rnrgynfmtn/nrgyrprt/nrgytlk/nrgytlk-eng.html (accessed May 2015);

15. Салыгин В.И. Анализ текущего состояния и перспектив развития нефтепроводной системы Канады / В.И. Салыгин, И.А. Гулиев, А.О. Хубаева // Science in the modern information society. Vol. 3. North Charleston, SC, USA. 2015. P. 213-219 .

16. Transportation Safety Board of Canada (TSB). Available at: http://www.tsb.gc.ca/eng/

17. A Look to the Future, CIBC, 2013-2014. Available at: http://research.cibcwm.com/economic_public/ download/a_look_to_the_future_2014.pdf (accessed May 2015);

18. Energy Sources and Distribution. Natural Resources Canada. Available at: http://www.nrcan.gc.ca/energy/ energy-sources-distribution (accessed May 2015).

19. Алиев Ад.А. Нетрадиционные топливно-энергетические ресурсы Азербайджана // Мінеральні ресурси України. – 2016. – № 4. – С. 32 – .38.

20. Алиев Ад.А., Белов И.С. Химико-микроэле-ментный состав битумов Азербайджана и их практическое применение. // Труды Ин-та геологии, 1995, №25, С. 43-51.

21. Алиев Ад.А., Белов И.С., Алиев Г.М.А. Горю- чие сланцы миоцена Азербайджана. // АНХ,2000, №5, С. 7-11

22. Алиев Ад.А., Белов И.С, Ибадзаде А.Д. Горючие сланцы Азербайджана (геология, геохимия и использование). // Труды ИГНАНА,2002, №30, С. 5-24

23. Алиев Ад.А., Белов И.С. Горючие сланцы. //Геология Азербайджана, т. VI. Полезные ископаемые. 2003, Баку, изд. ≪Nafta-Press≫, С. 518-531.

24. Ad.A. Aliyev. 2012. Geochemical peculiarities of oilbearing rooks and clayey shale from Azerbaijann mud volcanoes ejection. // International Conference “Integrated Approach for Onlocking Hydrocarbon Resources”, 3-5 October 2012

25. С. Т. Юсиф кызы Состояние и перспективы разработки нетрадиционных топливно-энергетических месторождений Азербайджана // Евразийский Союз Ученых. – 2016. – №. 6 (27). – С. 53 – 54.

26. Коржубаев А.Г., Эдер Л.В. Современное состояние и прогноз развития нефтяного рынка Азиатско-Тихоокеанского региона // Минеральные ресурсы. — 2004. — № 1. — С. 82-99.

27. Мамахатов Т.М. Битуминозные пески в Сибири и их значение для топливно-энергетического комплекса стран мира. Интерэкспо Гео-Сибирь, Выпуск№ 1 / том 3 /2014.

28. https://aze.az/news_natig_aliev_dokazannyie_83412.htmlНатиг Алиев: доказанные запасы нефти в Каспийском регионе — 48 миллиардов баррелей.

29. https://ru.oxu.az/economy/23408 Эксперт: Запасов нефти и газа в Азербайджане хватит на 70-80 лет.

30. https://inosmi.ru/economic/20160328/235882063.html.Докучаев Д.А. Если в России и Азербайджане закончится нефть.

31. Алиев А.А., Аббасов О.Р., Гусейнов А.Р., Балогланов Э.Э., Ахундов Р.В. Геолого-геохимическое изучение природных битумов, связанное с грязевыми вулканами (в пределах Абшеронского п-ва и Гобустанского района). Труды молодых ученых. Баку:2012, №5, с. 66-78.

32. Блохин А.И., Стельмах Г.П., Салихов Р.М., Петров М.С. Горючие сланцы – реальная альтернатива нефти. Вестник Российской Академии Естественных Наук. Энергетика и экология 2009, №1, С.52-56.

33. Алиев А. Природные битумы и горючие сланцы — альтернатива нефти. Информационный бюллетень «Нефть и газ» //Президентская Библиотека АР №1(5), 2010.С.10.

34. Alberta Environment and Sustainable Resource Development http://environment.alberta.ca/apps/osip/ (Accessed May 31st, 2014)

35. Betancourt-Torcat Alberto, Almansoori Ali, Elkamel Ali, Ricardez-Sandoval Luis, 2013, Stochastic Modeling of the Oil Sands Operations under Greenhouse Gas Emission Restrictions and Water Management, Energy & Fuels, 27.

36. Suncor Energy, Jacobs Consultancy, 2012, A Greenhouse Gas Reduction Roadmap for Oil Sands, http://ccemc.ca/wp-content/uploads/2013/01/C101221-CCEMC-GHG-Reduction-Roadmap-Final-Report.pdf (downloaded 10th July 2014)

37. . Hiebert A.D., Vermeulen F.E., Chute F.S., Capjack C.E., 1986, Numerical Simulation Results for the Electrical Heating of Athabasca Oil Sands Formations, SPE Reservoir Engineering, 1.

38. McPherson R.G., Chute F.S. and Vermeulen F.E., 1985, Recovery of Athabasca bitumen with the Electromagnetic Flood (EMF) process, Journal of Canadian Petroleum Technology, 24.

39. Chute F.S., Vermeulen F.E., Cervenan M.R., McVea M.J., 1979, Electrical properties of Athabasca Oil Sands, Canadian Journal of Earth Sciences, 16

40. Fisher Sidney, 1980, Solid Fossil-Fuel Recovery by Electrical Induction Heating In Situ: A Proposal, Resource Recovery and Conservation, 4.

41. Bridges J., Stresty G., Taflove A., and Snow R., 1979, Radio-Frequency Heating to Recover Oil from Utah Tar Sands, The future of Heavy Crude Oils and Tar Sands, Chapter 44, New York, Mining Informational Services, McGraw-Hill, Inc.

42. Kinzer Dwight Eric, 2006, In Situ Processing of Hydrocarbon-Bearing Formation With Variable Frequency Automated Capacitive Radio Frequency Dielectric Heating, US Patent US 7,091,460 B2.

43. Sandberg Chet, Hale Arthur, Kovscek Anthony R., 2013, History and Application of Resistance Electrical Heaters in Downhole Oil Field Applications, 165323-MS SPE Conference Paper – April 19 2013.

44. McGee Bruce, 2008, Electro-Thermal Pilot in the Athabasca Oil Sands: Theory Versus Performance, PETSOC-2008-209 presented at Canadian International Petroleum Conference, Calgary, Alberta, 17-19 June 2008

45. McGee Bruce, Sullivan L., Backs J.A.J, 2012, Analytical Model for Estimating the Production of Bitumen from the ET-DSP Process with Economics and Comparisons to SAGD, Canadian Energy Technology and Innovation.

46. Mehdizadeh Mehrdad, 2009, *Microwave/RF Applicators and Probes for Material Heating, Sensing, and Plasma Generation*, Elsevier Publication, Chapter 2, pp37.

47. T. Abraham, A.Afacan, P.Dhandharia, T.Thundat Conduction and Dielectric Relaxation Mechanisms in Athabasca Oil Sands with Application to Electrical Heating// Energy Fuels. – 2016. – V. 30. – P. 5630 − 5642,

DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b00954.