

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Фика Михайла Ілліча «**Теоретичні основи процесів
тепломасообміну раціонального вилучення
геотермальних флюїдів вуглеводневих свердловин**»
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
зі спеціальності 05.17.08 — процеси та обладнання хімічної технології

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Фика Михайла Ілліча «Теоретичні основи процесів тепломасообміну раціонального вилучення геотермальних флюїдів вуглеводневих свердловин» є етапним дослідженням в якому запропоновано шляхи подальшого розвитку науково-прикладної проблеми теорії і практики процесів суміщеного вилучення геотермальних флюїдів та залишків вуглеводнів.

Збільшення з кожним роком кількості виснажених нафтогазових родовищ, нерентабельних вуглеводневих свердловин та попиту на енергоресурси потребує подальшого пошуку технічних і економічних рішень пов'язаних з створенням та вдосконаленням свердловинних геоенергетичних систем з оптимізованими техніко-економічними показниками. В багатьох державах світу ця робота проводиться спираючись на вдосконалені теорії та методології опису та регулювання тепломасообмінних процесів, які присутні в підземних теплообмінниках та трубопровідних системах, суттєво залежать від місцевих та локальних геолого-промислових умов.

В дисертаційній роботі ключовими питаннями визначається вдосконалення процесів в природних та штучно утворених теплообмінниках. Це можливо пояснити актуальністю прогнозування та регулювання теплопродуктивності та ефективності існуючих та перспективних геоенергетичних систем, зокрема – геотермальних систем побудованих на базі вуглеводневих свердловин нафтогазових родовищ.

В Україні є значна кількість діючих видобувних вуглеводневих свердловин, що розкриті в продуктивні пласти та виходять шлейфами до сепараційних установок. Проводити відповідну прикладну наукову роботу та детально досліджувати тепломасообмінні процеси є актуальним завданням та підґрунтям побудови раціональної геоенергетики.

В роботі зроблена спроба на запропонованих моделях врахувати характерні риси геолого-промислових умов свердловин родовищ української частини Дніпровсько-Донецької западини, зокрема – термоградієнти та термобаричні умови діючих свердловин, динамічні температури та тиски в прилеглих гірських породах, конструкцію та глибину піддослідних свердловин, наявність масивних та умовно-тонких пластів-колекторів,

фізико-хімічні властивості флюїдів, умови та регламенти використання інгібіторів гідратоутворення, обводнення вибою та інше. Ці умови потребують окремих та спеціальних досліджень термогазодинамічних параметрів та параметрів тепломасообміну, які пов'язані між собою.

Запропонована модельна геометрична топологія теплообмінників ефективного вилучення геотермальної енергії з пласта-колектора нафти (газу) та приколонного простору, проведення її через перехідну кольматаційну зону «пласт-вибій свердловини» і ліфтування енергії по свердловині та транспортування поверхневими системами до споживача є здобутком роботи. В наведених окремих моделях враховуються властивості бокових гірських порід свердловини, колекторів, теплоносіїв, структури підземного теплообмінника, схемотехніка ефективного видобування, накопичення та зберігання енергоресурсів, геологічні та технологічні особливості нафтогазоконденсатних родовищ, ресурсо- та теплопродуктивність нафтогазоносних та виснажених пластів-колекторів, що сприяє реалізації суміщеного видобутку «флюїд – геотермальне тепло» як дуально-суміщеної технології раціонального вилучення енергоресурсів.

Загальна оцінка змісту дисертаційної роботи та її довершеність

Дисертація складається із анотацій, змісту, семи розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків.

Перший розділ присвячений огляду та аналізу проблеми освоєння геотермальних ресурсів вуглеводневих свердловин. В розділі здобувачем аналізується стан розвитку свердловинної геоенергетики, розкриваються особливості теоретичних досліджень процесів тепломасообміну свердловинних геоенергетичних систем, а також експериментальних досліджень тепломасообмінних процесів свердловинних геоенергетичних систем. Розділ завершений сформульованими задачами досліджень, серед яких слід визначити за теоретичним значенням наступні:

– розробити по-процесну (феноменологічну) модель гідродинамічно-відкритої свердловинної геоенергетичної системи нафтогазової свердловини, виділити ключові субпроцеси суміщеного вилучення «флюїд-геотепло», встановити основні входні і вихідні чинники та залежності і закономірності процесів тепломасообміну в цих субпроцесах;

– на основі феноменологічної моделі розробити математичну модель свердловинної геоенергетичної системи суміщеного вилучення з пласта та ліфтування флюїду і геотепла на базі двошарового бонд-графу, і електрогідравлічної та електротеплової аналогії, яка відрізняється врахуванням обладнання нахилених бічних стовбурів донизу по нагнітання та доверху по евакуації, роботи теплових насосів на гирлі та вибої, що описує процеси тепломасообміну в зонах проходження видобувним флюїдом шляху від бортів зони дренажу до гирла свердловини;

– встановити залежність теплопродуктивності свердловинної геоенергетичної системи від її геометричної організації та використання теплових насосів на вибої та гирлі;

– встановити залежності і закономірності процесів тепломасообміну свердловинної геотермальної системи для реалізації технології та обладнання сайклінг-процесу, підтримування пластового тиску, яка враховує внутрішній конвективний теплообмін, на основі ефекту Джоуля-Томсона, поправки Форчхеймера-Краснопольського та Клінбергера, ефект теплового насоса для оцінок дебітів та теплопродуктивності свердловини та порівнянні з відомими методичними підходами в умовах здійснення термобаричних методів інтенсифікації видобування вуглеводнів;

– розробити модель геотермального резервуару газоконденсатної свердловини, яка враховує зміни теплопровідності гірських порід від бортів до вибою свердловини. Одержати уточнене рівняння теплового балансу енергії при радіальній фільтрації продукції свердловини, що містить конвективну та кондуктивну складову теплообміну та теплоприпливу в присутності вуглеводневих теплоносіїв. Проаналізувати залежність термобаричних параметрів, швидкості та густини від радіусу дренажу флюїдів, що вилучаються свердловиною із геотермальною енергією;

– встановити залежності інтегрального коефіцієнта перетворення теплової потужності вибійного теплообмінника від його топології, геометричних та технологічних параметрів. Сформулювати теоретико-методологічні засади технологій внутрішньосвердловинних теплообмінників для боротьби з гідратуутворенням в нагнітальних свердловинах, які містять такий теплообмінник.

В другому розділі надається опис та обраний набір базових методів проведення досліджень, розглядаються особливості елементів традиційних методологій, розкриваються особливості досліджень тепломасообмінних процесів в основних просторових елементах системи вилучення «флюїд-геотеппло» з теплообмінниками та трубними ділянками, зазначаються аспекти потреби вдосконалення існуючих методів та розробки нових. У висновках цього розділу автором наголошуються наступні особливості тепломасообмінних процесів, які вимагають дослідження та внесення їх в прикладну теорію:

- розповсюдження тепла вуглеводної маси при паралельно-послідовному її переміщенню вздовж свердловини через теплообмінні елементи;

- залежності припливу геотермального флюїду від геометрії і властивостей пласта-колектора, теплопродуктивності від радіусу екранування теплових потоків, а також концентрації-притоку до вибою безпосередньо із флюїдом-теплоносієм.

- раціональне вилучення геотермального флюїду вуглеводневої свердловини по теплопродуктивності, інтегральному коефіцієнту перетворення геотермальної енергії та масовій витраті при незмінних інших техніко-економічних критеріях;

- аналіз процесів тепломасообміну при вилученні геотермальних флюїдів вуглеводневою свердловиною при суміщеному режимі вилучення

флюїду та утилізації набутого геотермального енергоресурсу повинен враховувати особливості розробки родовищ та термобаричні параметри в умовах інтенсифікації пластової фільтрації та ліфтингу;

- врахування додаткових ефектів, що потребують більш детального аналізу в рамках досліджень тепломасообмінних процесів в трубопровідних ділянках та пластових системах СГС пов'язаних зі зміною стисливості, реологічних властивостей та теплового опору в динаміці квазіусталених течій, а також дроселювання та акомодация енергії;

В третьому розділі проведено формування феноменологічної моделі суміщеного процесу вилучення «флюїд-геотепло», а також субпроцесів зони притоку до вибою та ліфтингу з комплексним врахуванням специфіки теплообміну по висхідній колоні, при вибійній зоні та пласту-колектору, прогнозних параметрів вилучення газорідного геотермального флюїду з урахуванням режимів розробки родовищ вуглеводнів, ліфтингу вологого газоподібного геотермального флюїду по вертикальній та нахилений до вертикалі колоні свердловини.

Висновки здобувача за розділом полягають у наступному:

- вдосконалено модель субпроцесу пласта-колектора введенням уточнених рівнянь теплового балансу енергії при радіальній фільтрації від бортів зони дренажу до гирла та ліфтингу продукції свердловини, які містять коефіцієнти теплопередачі та дроселювання, а також уточненої ізобарної теплоємності теплоносія. Це надає можливість реалізувати адаптаційне уточнення прогнозу обсягів видобування, зберігання та використання вуглеводнів та енергії в розрахункові періоди;

- розроблена уточнена методика розрахунку дебіту продукції вуглеводнево-геотермальної свердловини в неізотермічному режимі ліфтингу, яка відрізняється від базової урахуванням взаємовпливу втрат напору і теплової енергії. Методика враховує конвективну складову теплообміну в вертикальному (нахиленому) трубопроводі, а також гідравлічні втрати від в'язкого тертя «флюїд-НКТ»;

- показано можливість оптимізації дуально-суміщеного режиму роботи вуглеводнево-геотермальної свердловини за сумарно- видобутою енергією тепла та теплової енергії згоряння газового конденсату, а також окремо по теплопродуктивності;

- запропоновано коригувальні коефіцієнти і аналітичні залежності, що дозволяють уточнити прогноз роботи газоконденсатного родовища за сумарним середньорічним вилученням вуглеводневого флюїду на 5-15%;

- обґрунтовано встановлення компресорно-насосного обладнання на технологічних лініях, що суттєво змінює алгоритм розробки родовищ на пізній стадії їх експлуатації та надає потенціал збільшення вилучення вуглеводнево-геотермальної продукції, покращення загальних результатів від робіт з інтенсифікації припливу вуглеводнів.

В четвертому розділі розглядаються процеси тепломасообміну в пласті-колекторі та на вибої, представлено обґрунтування методологічних

основ прогнозування вилучення геотермальних ресурсів газоконденсатних родовищ на прикладі системи «пласт-привибійна зона-свердловина». Висновки здобувача наступні:

- врахування фактичної зміни теплопровідності гірських порід по глибині в залежності від їх температури (усталенні значення в динаміці), а також змінення температури видобувного флюїду від дроселювання в привибійній зоні та стовбурі свердловини дозволяє уточнити прогнозування дебіту свердловини на 10-15%, обсягів видобутого тепла – до 20-30%;

- гирлова температура та масова витрата флюїду залежать прямо пропорційно від пластового тиску;

- масова витрата флюїду через свердловину залежить обернено пропорційно від пластової температури;

- масова витрата флюїду та гирлова температура залежать прямо пропорційно від молярної маси та обернено пропорційно від коефіцієнта теплопередачі «гірські породи – флюїд»;

- дебіт свердловини при довгостроковому прогнозуванні зменшується із зменшенням пластового тиску (виснаженням родовища);

- різниця температур продуктивного пласта та флюїду на гирлі свердловини збільшується при виснаженні газоконденсатного родовища за 50 років експлуатації з 10 до 45 К;

- спостерігаються експоненційне зменшення пластового тиску, дебіту та гирлової температури при експлуатації свердловини: дебіт за 50 років для цього родовища зменшиться за прогнозом в 20 разів, пластовий тиск в 4 рази, гирлова температура на 15-17% (на 50К);

- зміна температур ґрунтового масиву ± 10 °С на ділянках транспортування газу багатониткової системи довжиною 20 км може спричинити зміну тиску газу в межах 5–15 %. Ступінь впливу температур ґрунтового масиву на тиск транспортованого газу прямо пропорційно залежить від транзитного і внутрішнього завантаження трубопровідної системи;

- система рівнянь розробленої математичної моделі неізотермічного усталеного одновимірного руху вуглеводнів у трубопроводі відрізняється від відомих математичних моделей одночасним врахуванням ефекту Джоуля-Томсона та акомодатії енергії, дозволяє визначити гідравлічні опори трубопроводу і втрати тиску при транспортуванні газорідинної суміші в реальному неізотермічному процесі. Введено регулювання температури і коефіцієнт акомодатії в розрахунках гідравлічного опору трубопроводу як системи з розподіленими параметрами;

- аналіз геометричної топології геотермальних теплообмінників: I-II - прямолінійні вертикальний гладкий і оребрений трубопровід; III-IV - кластер у вигляді безлічі гладких і оребрених однострубних елементів, що представляє собою фігуру типу «біляче колесо» або «меридіанна сфера» приводить до висновку, що найбільш ефективним технічним рішенням послуговуючим збільшенню COP свердловинних геотермальних систем є ребра

теплообмінних труб. Для теплообмінників III-типу розрахункове збільшення COP в порівнянні з гладкими трубами складає 40%, а для III-IV типу - 95%. Встановлено, що ключовими параметрами, які впливають на коефіцієнт перетворення теплоти COP геотермального теплообмінника є: радіус дренування флюїдів, радіус трубопроводів з циркулюючим теплоносієм, діаметр кластерного теплообмінника, теплообмінна площа, параметри теплового опору порід в привибійній зоні теплосприймання. Дана кількісна оцінка впливу цих параметрів на COP, а також вплив фактора оребрення поверхні теплообмінника на тепловий опір гірської породи в міжреберному просторі.

В п'ятому розділі автор розглядає тепломасообмінні процеси вилучення вуглеводнів-теплоносіїв на базі суміщених технологій. В розділі представлено два підходи. Перший - оцінка теплопродуктивності та можливості її утилізації для запобігання гідратоутворень в нагнітальних вуглеводневих свердловинах нафтового родовища з використанням геотермального флюїду. Другий - вплив гомогенізуючих спінюючих поверхнево-активних речовин (ПАР) на масову витрату газоподібного геотермального флюїду свердловин. Здобувач надає наступні висновки:

- ефективність застосування ПАР лінійно залежить від початкового дебіту і експоненціально від частоти обробки свердловини;

- багаторазова обробка з постійною частотою дає максимально позитивні результати при мінімальних швидкостях потоку флюїду і малому відхиленні тиску від діапазону стійкого піноутворення розглянутих реагентів. При виході з режимних діапазонів швидкості потоку і тиску важливим є регулювання концентрації розчину ПАР;

- оптимізація режимних карт і регламентів обробок в частині концентрації ПАР, схемного підключення інгібіторопровода піноутворення до свердловини, раціонального періоду введення ПАР в систему «пласт-свердловина» призводить до зменшення сумарного часу простоїв свердловин за період експлуатації в умовах інтенсифікації, а також викидів метану в атмосферу під час продувок свердловин.

- розроблено системний підхід до проведення профілактичних обробок свердловин із застосуванням ПАР і намічено шляхи їх раціонального використання на пізніх стадіях розробки родовищ;

- встановлено, що ефективність застосування ПАР лінійно залежить від початкового дебіту по газу і експоненційно від частоти обробки свердловини;

- - випробувані методики застосування ПАР та уточнені регламенти відповідних промислових робіт;
- - розроблена схема внутрішньосвердловинного теплообмінника з геотермальним теплоносієм, яка включає лінію подачі геотермального носія через теплообмінну поверхню нагнітальної свердловини в продуктивний пласт нафтового родовища. Схема забезпечує цільову утилізацію термобаричної енергії геотермального джерела для боротьби з

гідратуутвореннями у нагнітальній свердловині. Запропоновано математичний апарат для опису процесу утилізації тепла та теплообміну в нагнітальній свердловині при суміщеному видобуванні нафти та вилученні геотермального флюїду. Виконано розрахунок сумарної геотермальної енергії необхідної для реалізації безгідратної роботи нагнітальної свердловини нафтового родовища за запропонованою схемою. Встановлено, що потужність однієї геотермальної свердловини розкритої на нафтоносних глибинах Дніпровсько-Донецької западини достатня для ліквідації гідратуутворення в 1-3 нагнітальних свердловинах, що обумовлює доцільність їх сумісної роботи.

В шостому розділі викладено та аналізуються результати процесів вилучення геотермальних флюїдів свердловин, висвітлюються оцінка теплопродуктивності свердловин Донецько-Дніпровської западини, термобаричні та гідравлічні параметри заглиблених мереж трубопроводів шлейфових полів Новотроїцького родовища, параметри процесів тепломасообміну в свердловинах Ланівського родовища в реальних промислових умовах, показники виникаючого ефекту теплового насосу між трубопровідними ділянками свердловин Юліївського родовища.

Здобувачем наведені результати досліджень на нафтогазових промислах з використанням наявних на діючому виробництві приладів, які свідчать наступне:

- на базі нафтогазових свердловин ДДЗ можливе створення геотермальних станцій з глибинами буріння або розкриття свердловин до 3-4,5 км. На таких глибинах тепловий потенціал 90% геотермальних вод в продуктивних нафтогазових горизонтах кам'яновугільних відкладів не перевищує 108 °С, тому його доцільно використовувати переважно для цілей геотермального теплопостачання. У наведеному випадку заміна органічного палива та електрики теплом геотермальних вод та гірських порід виявляється набагато більш вигідною для забезпечення теплопостачання та опалення (в 3-5 разів). Дві свердловини з глибин кам'яновугільних відкладів здатні надати 0,4-4,5 МВт теплової енергії;

- порівняльний аналіз фактичних гирлових температур свердловин Ланівського ГКР та їх прогнозованих значень показує збіжність модельних та фактичних промислових даних в межах 2-4 відносних % точності, що підтверджує адекватність розробленої математичної моделі щодо опису фізичної промислової системи для суміщеного вилучення вуглеводневого флюїду з геотермальним енергоресурсом, оскільки саме температурою на гирлі характеризується останній, достовірність одержаних результатів;

- відхилення результатів розрахунків за розробленою моделлю та фактичних вимірювань мережевих шлейфових трубопровідних систем Юліївського НГКР становить 1,5-1,7 % (по фактору середньої температури в шлейфі № 2).

В сьомому розділі проведено розрахунок ефекту від впровадження результатів досліджень на Єфремівському газоконденсатному родовищі, а

також очікуваний техніко-економічний ефект впровадження результатів досліджень вилучення геотермального флюїду при залученні свердловини із спостережного фонду Пролетарського підземного сховища газу. Наукові досягнення дисертаційного дослідження представлені у вигляді рекомендацій, схем та програмних алгоритмів щодо створення суміщених систем вилучення енергоресурсів свердловинами, підтверджено «Актами..» про фактичний та очікуваний економічний ефект від впровадження результатів науково-дослідних робіт у співавторстві Фика М. І.

Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному:

- розроблена по-процесна (феноменологічна) модель геотермальної свердловинної системи суміщеного «флюїд-геотепло» вилучення геотермальних флюїдів свердловин, яка включає наступні субпроцеси: вилучення геотермальної енергії з пласта-колектора та приколонного простору; передачу її через перехідну зону «пласт-вибій свердловини», по свердловині та поверхневими системами до споживача. Розроблено математичні моделі вказаних субпроцесів:

– модель геотермального резервуару газоконденсатної свердловини, яка враховує зміни теплопровідності гірських порід від бортів до вибою свердловини, яка дозволяє, у порівнянні з відомими методичними підходами, уточнити на 12 – 14% прогноз відбору тепла з геотермального резервуару на вибої газоконденсатної свердловини;

– модель геотермальної системи «теплообмінник-гірський масив» за коефіцієнтом перетворення теплоти геотермального теплообмінника в привибійній зоні теплоприймання. Встановлено, що ключовими параметрами впливу на коефіцієнт перетворення теплоти геотермального теплообмінника є: радіус дронування флюїдів при теплообмінному процесі, радіус трубопроводів з циркулюючим теплоносієм, діаметр кластерного теплообмінника, параметри теплового опору порід у привибійній зоні теплоприймання. Дана кількісна оцінка впливу цих параметрів на коефіцієнт перетворення теплоти геотермального теплообмінника;

– удосконалені теоретико-методологічні основи розрахунків внутрішньосвердловинних теплообмінників для боротьби з гідратоутворенням в нагнітальних свердловинах;

– розроблена математична модель неізотермічного руху газорідної суміші вуглеводнів у трубопроводі від вибою свердловини до сепараційної установки промислу.

Висновки дисертаційної роботи впливають з вищезазначених висновків по розділах.

До переваг дисертаційної роботи треба віднести встановлений за допомогою математичного моделювання теплоенергетичних ресурсів вуглеводневих свердловин. В конкретизованих геолого-промислових умовах перевірені математичні моделі та алгоритми прогнозування вилучення

геотермальних ресурсів з врахуванням розробленою по-процесною феноменологічною схемою.

Серед недоліків дисертаційної роботи потрібно зазначити наступне:

- назва дисертаційної роботи автора: «Теоретичні основи процесів тепломасообміну раціонального вилучення геотермальних флюїдів вуглеводневих свердловин», при цьому вказує «... в світі налічується близько 3000 діючих геотермальних свердловин, загальною геотермальною потужністю 16 ГВт...», та підтверджує теорію і практику їх роботи великою кількістю фахових джерел у списку літератури. «Теоретичні основи процесів тепломасообміну» автор будує опираючись на розрізнені математичні моделі, які описують супутні процеси вилучення геотермальних флюїдів вуглеводних свердловин, та між собою не об'єднані в одну модель процесу тепломасообміну раціонального вилучення геотермальних флюїдів вуглеводневих свердловин. Модель не може бути теорією, моделювання – це відображення процесів, а не «теоретичні основи». Модель потрібна для управління та оптимізації процесу вилучення геотермальних флюїдів вуглеводневих свердловин. У автора дисертації, нажаль, цього не простежується;

- автор не наводить прикладів використання розроблених моделей на практиці добутку геотермальних флюїдів. Вони не мають граничних умов їх використання. Відсутні зв'язки між розробленими моделями;

- автору на етапі написання дисертації не вдалося структурувати розроблені моделі в критеріальні залежності, які могли б стати основою теорії вилучення геотермальних флюїдів вуглеводневих свердловин. В тексті дисертації не знайшлося підтвердження будь-яких теоретичних передумов. Дисертаційну роботу автор будує як удосконалення практики процесів раціонального вилучення геотермальних флюїдів вуглеводневих свердловин, тим паче, що автор в тексті дисертації використовує ключове слово «удосконалення», коли мова йде про «... теоретично-методологічні основи розрахунків...»;

- в авторефераті в п. «Мета і задачі дослідження» і в тексті дисертації автор вказує «...дослідити тепловий насос як пристрій ..., що переносить низькопотенційну теплову енергію з оточуючого середовища у трубопровідний контур...». Не зрозуміло, чому в такій постановці потрібно досліджувати тепловий насос, тому що це його основне призначення;

- в авторефераті в п. «Предмет дослідження» в якості предмета дослідження автор формулює теоретичну інтерпретацію системи суміщеного «флюїд-геотепло» вилучення флюїдів-енергоресурсів свердловинами нафтогазових родовищ. «Теоретична інтерпретація» не може бути предметом досліджень, ним має бути об'єкт, а не його теоретична інтерпретація;

- в авторефераті в п. «Наукова новизна» автор вказує «... комплексна по-процедурна (феноменологічного) модель геотермальної свердловинної системи суміщеного «флюїд-геотепло» вилучення

геотермальних флюїдів свердловини, включає п'ять субпроцесів...», а наводить лише два: «...вилучення геотермальної енергії з пласта та прикордонного простору; ...» і «...передачу її через перехідну зону «пласт-вибій свердловини»...»;

- в тексті дисертації та авторефераті автор стверджує, що «...свердловини з глибинами 3-4,5 км здатні надати 0,4-4,5 МВт теплової енергії, що в 3-5 разів вище ніж теплота електропостачання...». Не зрозуміло на чому базується таке ствердження, тому що автор не наводить достатньо переконливих розрахунків, підтвердженими дослідженнями. Крім вказаного автор експериментально не підтверджує 27 % дебіта тепла від бортів до вибою свердловини при використанні математичної моделі геотермального резервуару газоконденсатної свердловини;

- адекватність перевірки математичної моделі полягає у експериментальній частині. Автор підмінює експериментальну частину «...теплогідравлічними розрахунками з використанням журнальних даних по експлуатації промислових продуктопроводів і шлейфів свердловин та трубопроводних мереж ПАТ «Укргазвидобування» та ПАТ «Укртрансгаз»...» на модельному трубопроводі. В тексті дисертації не наводиться методологія репрезентативної вибірки даних, які покладені в теплогідравлічні розрахунки;

- автор пропонує модифіковану формулу Адамова для неізотермічного ліфтингу-притоку-виснаження з гомогенним двофазним флюїдом та нахиленою до вертикалі колоною. Розрахунки за запропонованою формулою потребують спеціальних досліджень за ~20 показниками. Не зрозуміло яким чином користуватися такою формулою;

- абревіатуру ЕГДА автор використовує як «електрогідравлічну аналогію». ЕГДА – це електрогідродинамічна аналогія дослідження течій ідеальної рідини шляхом дослідження перебігу електричного струму в провіднику;

- здобувачем мало уваги приділено поясненню фізичної сутності ефекту акомодатії теплової енергії, яким чином він пов'язаний із дроселюванням геотермального флюїду, і як цей ефект впливає на результати визначення теплопродуктивності та масового дебіту свердловини під час вилучення геотермального флюїду свердловиною;

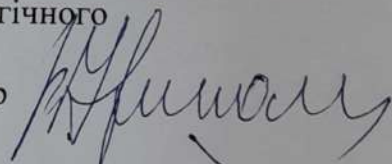
- в огляді та аналізі досліджень вказується ряд недоліків сучасних теорій та методів дослідження тепломасообмінних процесів, що відповідає дійсності, але незрозуміло - нащо вказані та деталізовані й такі, які не усуваються проведеними дослідженнями здобувачем;

- в розділах роботи висновки розділів ідентичні та повторюють окремі висновки по підрозділах, що говорить про недостатнє ієрархічне узагальнення;


Апробація результатів дисертації обґрунтована на задовільному рівні.

В цілому, незважаючи на вказані недоліки вважаю, що дисертаційна робота «Теоретичні основи процесів тепломасообміну раціонального вилучення геотермальних флюїдів вуглеводневих свердловин» відповідає вимогам пунктів 9,10,12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а здобувач Фик Михайло Ілліч заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.08 — «Процеси та обладнання хімічної технології».

Професор кафедри
енергетики
Українського державного
хіміко-технологічного
університету,
д.т.н., професор

 Валерій НІКОЛЬСЬКИЙ

Місце
завідуюч.
каф.
(Примітка)



Міхалюк В. В.