Geotechnologies
ISSN: 2616-8839 (Print)
Journal homepage: http://library.kpi.kharkov.ua/
Volume 4 (2021), pp. 6-13

УДК 550.8

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУВАННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ФЛЮЇДІВ

В.Романова[1], В.Білецький[2]
[1] аспірант, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна
[2] докт. техн. наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна
електронна адреса ukcdb@i.ua, тел. +380 (067) 717-80-68.

MODELING OF PROCESSES OF EXTRACTION OF HYDROCARBON FLUIDS

V.Romanova[1], V. Biletskyi[2]
[1] Postgraduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
[2]National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
e–mail ukcdb@i.ua, tel. +380(067) 717–80–68.

ABSTRACT

The relevance of the problem. The article is devoted to the modern software modeling of hydrocarbon fluid production processes. A series of PETEX IPM programs is described which is a leading software package in oil and gas tucked. Petex IPM allows you to simulate the entire technological chain of production processes from the productive formation to surface arrangement systems.
The purpose of the article. Introduction to the scientific circulation of the main characteristics of the PETEX IPM software product.
Methods and equipment. Literary review, attracting Internet resources, a description of the components of the PETEX IPM subroutines ..
Results. The general characteristic of Petex IPM is presented. The capabilities of the GAP, PROSPER, MBAL, REVEAL and PVTP subprograms are described.
Scientific value of development. Functions and fields of application of the PETEX IPM resource subroutines are described, which makes it possible to use them in the study of production of hydrocarbon fluids.
Practical importance. Using Petex IPM, an engineer, on existing geological and industrial data, can create integrated deposit models, perform preliminary adaptation of reservoir models, wells and pipelines. Petex IPM allows you to optimize the entire system and use the model for predicting production. The article may be useful to researchers from producing hydrocarbon fluids and lecturers, students and graduate students with a degree in 185 "oil and gas engineering and technology".
Keywords: *hydrocarbon fluid mining, modeling, software, Petex IPM.*

ВСТУП

Станом на 2020-ті роки лідируючим пакетом програмного забезпечення в нафтогазовій галузі, який дозволяє моделювати весь технологічний ланцюг процесів видобутку від продуктивного пласта до систем поверхневого облаштування, є серія програм *Petex IPM* (Petroleum Experts Integrated Production Modelling – Інтегроване Моделювання Розробки від Petroleum Experts) [1, 2]. Назва «Petex» від назви компанії-розробника Petroleum Experts.

Серія програм *Petex IPM* поєднує програми *GAP, PROSPER, MBAL, REVEAL і PVTP* і постійно доповнюється та вдосконалюється.

Використовуючи Petex IPM інженер, за наявними геолого-промисловим даними, може створювати комплексні моделі родовищ, виконувати попередню адаптацію моделей пласта, свердловин і системи трубопроводів. Petex IPM дозволяє оптимізувати всю систему і використовувати модель для прогнозу видобутку.

Ресурс RESOLVE розширює інтеграцію, контроль і оптимізацію для родовищ які включають моделі пласта-колектора і системи промислової підготовки, виконані в програмних пакетах сторонніх розробників.

Програми, що входять до складу IPM дозволяють отримати швидкі надійні результати і прийняті в якості галузевого стандарту найбільшими операторами по всьому світу. Понад 320 нафто- і газодобувних, а також сервісних компаній, використовують IPM у усьому світі.

Використання OpenServer дозволяє безпосередньо підключати додатки IPM до технологічних процесів компанії, що дозволяє більш ефективно організувати схему роботи.

Petex IPM забезпечує:

- Швидку і надійну оптимізацію та прогноз видобутку вуглеводневих флюїдів
- Моделювання одно- або багатоколекторних покладів з гідродинамічної зв'язком
- Моделювання багатовибійних і горизонтальних свердловин з урахуванням втрат тиску в горизонтальній секції стовбура, а також з урахуванням взаємовпливу перфорованих інтервалів свердловини
- Проектування і діагностика свердловин з механізовантм видобутком, включаючи смердловини з електро-відцентровими, гідропоршневими, гвинтовими, струминними і штанговими насосами, а також свердловини з постійним і періодичним газліфтом.
- Детальне проектування і розрахунок технічних показників роботи трубопроводів: режим течії, розміри і частота водяних або газових пробок, аналіз стійкості течії.
- Моделювання систем поверхневого облаштування: мережі трубопроводів, насосних і компресорних станцій, багатотрубних і замкнутих нафтозбиральних систем.
- Моделювання свердловин, оснащених пристроями управління припливом (ICD, ICV)
- Кореляції розроблені Petroleum Experts визнані кращими в своєму класі і дозволяють отримати стійкі рішення для найбільш складних випадків експлуатації нафтогазовидобувних підприємств.

RESOLVE.
IPM – Контролер IPM. Сполучна ланка між IPM і програмами сторонніх розробників

RESOLVE дає можливість з'єднувати і здійснювати централізо-ваний контроль декількох додатків, аналізувати і оцінювати вплив на прогноз видобутку всіх заходів на родовищі, від свердловин до систем переробки і економіки проекту. Дозволяє оптимізувати всю систему – системи видобутку і нагнітання – одночасно з вивченням маршрутизації.

Кожна програма працює автономно, в той час як RESOLVE відповідає за синхронізацію, передачу даних, черговість завдань, представлення результатів, збір даних і глобальну оптимізацію (рис. 1).

Моделі можуть бути розподілені по мережі і використовувати різні операційні системи, Windows, Linux, Unix або кластерні системи.

Розрахунок індивідуальних компонентів (моделей) системи може проводитися на віддалених комп'ютерах. Це створює додаткову зручність при використанні чисельних симуляторів, які можуть вести розрахунок паралельно на декількох комп'ютерах або на 64-х розрядних системах.

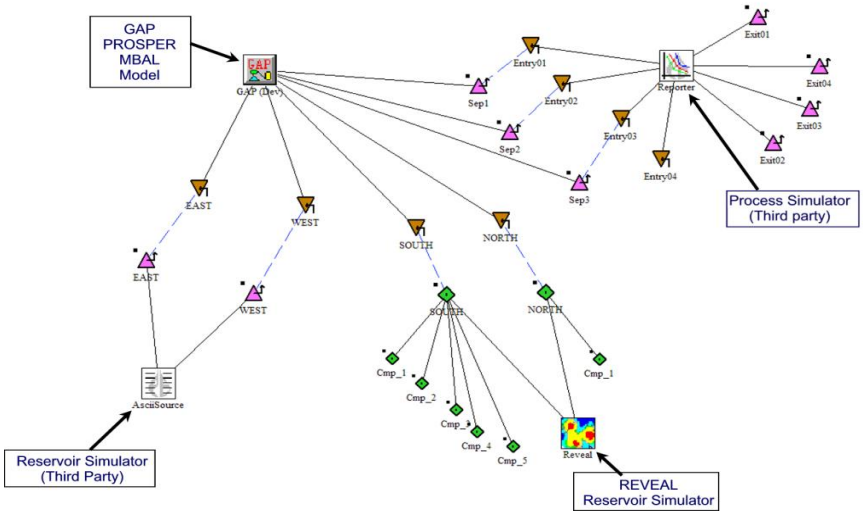

Рисунок 1. – Фрагмент поєднань RESOLVE

RESOLVE може використовуватися як інтерфейс для з'єднання додатків різних розробників або програм пакета IPM. Взаємодія з клієнтськими додатками будується на основі драйверів, які представляють собою бібліотеки (.dll), запрограмовані для з'єднання з RESOLVE.

GAP IPM – багатофазний оптимізатор системи видобутку. Оптимізація системи видобутку та прогноз.

GAP – програма, призначена для оптимізації нафто- і газозбиральних мереж, яка дозволяє

об'єднати PROSPER і MBAL для створення повної моделі родовища від пласта до системи видобутку. GAP дозволяє моделювати системи видобутку для нафтових, газових і газоконденсатних родовищ, а також системи нагнітання газу і води.

GAP дає можливість інженеру створювати моделі родовищ, що включають продуктивні пласти, свердловини і наземні трубопроводи, а також системи нагнітання рідини в пласт. Добувна та нагнітальна системи можуть бути оптимізовані з метою максимального збільшення припливу або економічної вигоди з урахуванням накладених проектних обмежень. Крім того, існує можливість прогнозу видобутку з урахуванням зміни параметрів покладу і умов експлуатації.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Проектування мережі поверхневих трубопроводів
- Можливість включити моделі фонтануючих свердловин і свердловин з механізованим видобутком – газліфтом, відцентровими, кавітаційними, гідравлічними, струминними і штанговими насосами в єдину систему
- Вивчення оптимізації родовищ зі змішаним типом свердловин
- Оптимізація замкнутих нафтозбиральних систем
- Швидкий і надійний нелінійний алгоритм оптимізації
- Розрахунок параметрів гирлових штуцерів свердловин для забезпечення плану контролю за розробкою родовища
- GAP забезпечує зв'язок між PROSPER і MBAL що дозволяє моделювати і оптимізувати всю систему видобутку протягом життя родовища
- Вивчення стійкості течії, включаючи гідратоутворення і випадання солей
- Моделювання відцентрових і поршневих компресорних і насосних станцій
- Моделювання СПГ
- Прогноз видобутку
- Використання програмованих елементів
- Використання компонентної моделі флюїду від пласта колектора до систем промислової підготовки
- Моделювання CO2
- Легкий у використанні графічний інтерфейс для створення моделі родовища (вико ристання символічних піктограм для сепараторів, компресорів, трубопроводів, маніфольдів і свердловин, лінійних штуцерів і покладів)

GAP був розроблений для усунення штучних граничних умов у пластових, свердловинних і поверхневих мережевих моделях шляхом створення інтегрованих моделей з використанням інструментів Petex. Він здатний розглянути багатофазну мережеву реакцію кількох свердловин (з різними PVT), де реакція однієї свердловини могла б вплинути на видобуток іншої (тобто реакція протитиску). Сьогодні GAP – це найскладніший стаціонарний багатофазний оптимізатор мережі, який існує в галузі, з багатьма запатентованими функціями, які дозволяють інженерам максимізувати видобуток з нафтових і газових родовищ у всьому світі. GAP став інструментом вибору для понад 420 нафтових компаній у більш ніж 80 країнах світу та корпоративним стандартом для всіх суперсервісів у галузі інтегрованого моделювання.

GAP враховує всю фізику, яка присутня в системі, і працює, отримуючи інформацію з усіх частин системи, виконуючи динамічні розрахунки на фізичних моделях (для трубопроводів, дроселів, свердловин, компресорів тощо), або використовуючи попередньо –розраховані відповіді (наприклад, криві підйому).

PROSPER.

IPM – свердловини. Системний аналіз видобутку.

PROSPER – програма для розрахунку, проектування і оптимізації свердловин, яка є частиною пакета IPM. Програма є галузевим стандартом для моделювання свердловин серед найбільших компаній по всьому світу (рис. 2).

PROSPER включає опис властивостей пластової рідини (PVT), розрахунок робочих характеристик НКТ та індикаторних діаграм.

PROSPER дає унікальні можливості з калібрування властивостей пластового флюїду, багатофазних кореляцій та індикаторних діаграм за наявними промисловими даними, що дозволяє отримати узгоджену модель свердловини, яка може бути використана для прогнозу видобутку.

PROSPER дозволяє проводити детальний розрахунок і проектування трубопроводів: режими течії, індикатор гідратоутворення, вивчення стабільності, розрахунок розмірів і частоти пробок.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Проектування та оптимізація завершення свердловини включно багатовибійні, багатопластові і горизонтальні свердловини
- Проектування та оптимізація тюбінгу і трубопроводів
- Проектування, діагностика та оптимізація газліфтних свердловин, свердловин обладнаних гідравлічними, кавітаційними, струминними і відцентровими насосами
- Вивчення безперебійності припливу – свердловини і поверхневі трубопроводи
- Розрахунок робочих характеристик НКТ для використання в програмах чисельного моделювання покладів
- Розрахунок падіння тиску в свердловинах, трубопроводах і штуцерах
- Розрахунок температури флюїду (свердловини і трубопроводи)
- Контроль роботи свердловин для виявлення свердловин, що потребують ремонту
- Розрахунок параметрів перфорації – SPOT
- Розрахунок сумарного скін-фактора та індивідуальних значень (скін в зв'язку з погіршенням фільтраційних властивостей, скін викликаний нахилом свердловини, неповним

розкриттям пласта)

- Унікальна модель "нелеткої" нафти для газоконденсату, що враховує випадання конденсату в стовбурі свердловини
- Розподіл видобутку між свердловинами.

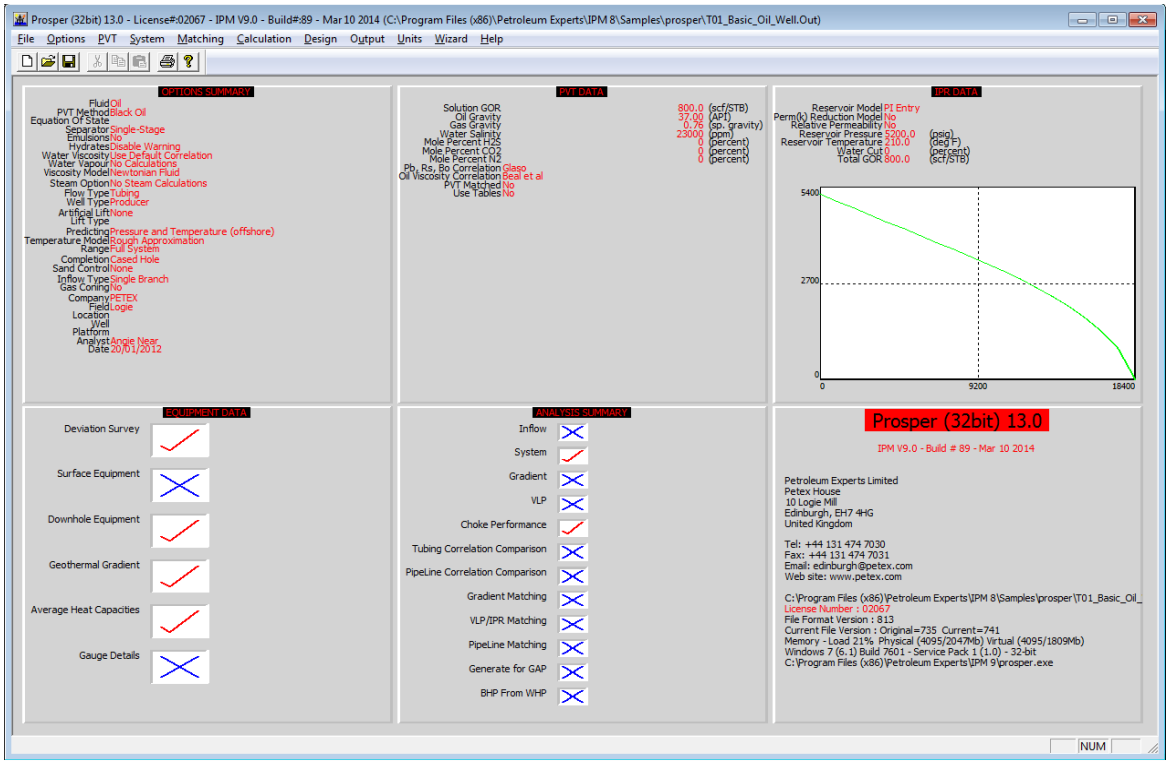

Рисунок 2. – Вікно програми PROSPER.

МОДЕЛІ ІНДИКАТОРНИХ ДІАГРАМ (IPR)

- Багатовибійної свердловини
- Прості свердловини з єдиним стовбуром
- Кілька спеціальних моделей припливу для різних типів флюїду
- Модуль для розрахунку швидкості течії рідини крізь гравійний фільтр
- Врахування зниження проникності при ущільненні колектора
- Врахування турбулентної багатофазної течії крізь гравійний фільтр

MBAL.

IPM - Пласт-колектор. Програмний пакет аналізу динаміки пласта.

Програма MBAL містить класичні інженерні інструменти розробки родовищ, які використовують аналітичні методи для аналізу динаміки флюїду в пласті.

MBAL використовує методи матеріального балансу, включає велику кількість інновацій компанії Petroleum Experts, які недоступні в інших програмах подібного роду.

Ефективна розробка родовища передбачає знання фізики пласта і системи видобутку. MBAL допомагає інженеру визначити механізм видобутку і обсяг запасів нафти і газу. Це необхідні умови для успішного моделювання родовища.

Для родовищ, що знаходяться на стадії розробки, MBAL надає широкий набір методів адаптації моделі за геолого-промисловими даними.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Адаптація моделі покладу за наявними промисловими даними для визначення запасів вуглеводнів і механізму витіснення
- Побудова багатоколекторних моделей родовища
- Прогноз динаміки видобутку
- Аналіз сценаріїв розробки родовища
- Визначення щоденної контрактної кількості газу
- Моделювання динаміки експлуатації газоконденсатних
- родовищ в режимі виснаження і рециркуляції
- Аналіз кривої падіння видобутку
- Моделювання методом Монте-Карло
- Моделювання процесу лінійного заводнення
- Моделювання видобутку газу в щільних породах
- Видобуток метану з вугільних пластів
- Калібрування відносної проникності за наявними даними
- видобутку
- Контроль змішування компонент
- Контроль рециркуляції газу
- Використання композиційної моделі

флюїду

BAL володіє логічним і покроковим інтерфейсом, який поступово направляє інженера від процесу адаптації моделі до прогнозу видобутку. Програма проста у використанні і легка в навчанні. MBAL дає можливість інженеру калібрувати PVT кореляції для отримання відповідності з промисловими даними. Це дозволяє уникнути помилок в розрахунках між різними етапами моделювання.

REVEAL.
IPM – Симулятор. Спеціалізований чисельний симулятор пласта.

REVEAL – спеціалізована система чисельного моделювання пласта-колектора, що моделює процеси у привибійній зоні свердловини, включаючи зміни рухливості і приймальності. Точно моделюються температурні і хімічні процеси, ефекти, які можуть виникнути при нагнітанні флюїду відмінного за властивостями і температурі від пластового.

Закачування хімічних речовин або флюїдів з температурою відмінною від пластової суттєво впливає на рухливість пластового флюїду і, отже, на приймальність і обсяги видобутку. Приймальність також буде залежати від перфорації, включаючи можливість гідророзриву пласта.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Термальне чисельне моделювання пласта-колектора
- Термальний розрив пласта
- Запомповування пари – гравітаційне дренування із застосуванням пари (SAGD)
- В'язка нафта
- Хімічний розрахунок
- Хімічний склад води
- Окиснення нафти в пласті
- Полімерне заводнення
- Заводнення з використання ПАР
- Геомеханічне моделювання
- Гідророзрив пласта
- Винесення піску
- Утворення глинистого фільтра
- Моделювання складних свердловин
- Пристрої контролю припливу (ICD, ICV)
- Гравійна набивка
- Нагнітання пари і розрахунок зміни паровмісту
- Подвійні паралельні НКТ

Модель закачування пари може бути використана для моделювання циклічної обробки свердловини парою при гравітаційному дренуванні (рис. 3).

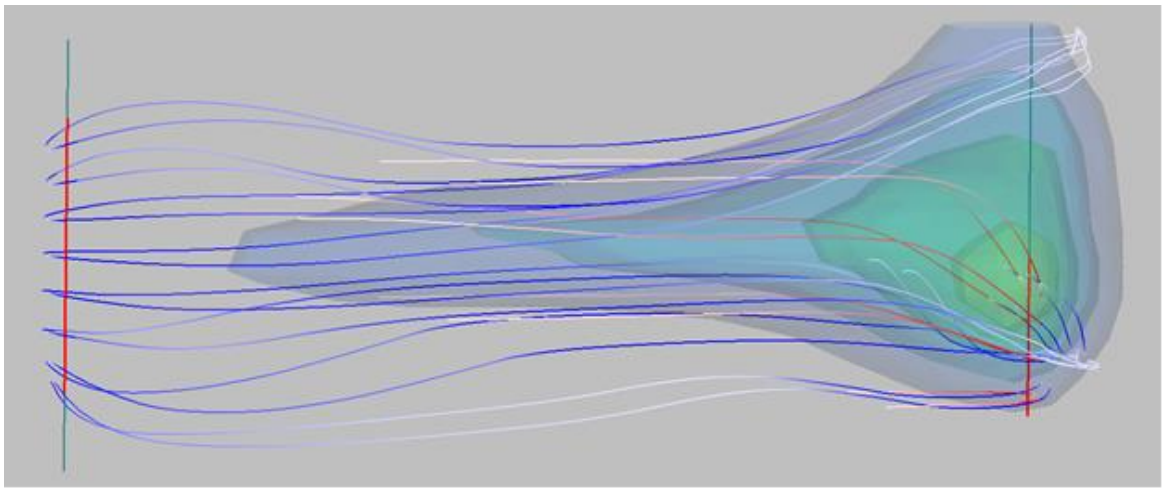

Рисунок 3.– Модель витіснення нафти парою з лініями течії води і пари.

КОНТРОЛЬ РУХЛИВОСТІ

Зміна температури і в'язкості флюїду з температурою також позначається на приймальності свердловини і відносних фазових проникностях нафти і води. Ці зміни враховуються REVEAL при моделюванні.

REVEAL також враховується зміна рухливості гелів, полімерів, піни, що нагнітаються в пласт для поліпшення заводнення або уникнення прориву води.

REVEAL дозволяє моделювати аномально в'язкі (неньютонівські) нафти, де динамічна в'язкість зменшується при збільшенні напруження зсуву.

Капілярне витіснення, пов'язане зі зміною поверхневого натягу, може бути враховано REVEAL як функція числа капілярності при додаванні ПАР, а також при зміні поверхневого натягу з температурою, тиском або газовим фактором.

REVEAL може врахувати гістерезис кривих фазової проникності при циклічному заводненні.

Для REVEAL доступні моделі дисперсії і дифузії для відстеження трасуючих компонентів. Програма також включає опції підігріву стовбура свердловини для моделювання зменшення в'язкості навколосвердловинного флюїду. Зокрема, програма моделює мікрохвильові і електронагрівачі.

PVTP

IPM – Флюїди. Термодинаміка пластового флюїду.

Знання властивостей флюїду є основною вимогою для всіх аспектів розробки родовища, видобування і переробки вуглеводнів.

PVTP дозволяє уточнювати рівняння фазового стану (РС) для отримання відповідності з лабораторними даними. Відкалібровані РС може бути використано для моделювання процесів у покладі, а також процесів видобутку, які впливають на вибір обладнання й ефективність вилучення вуглеводнів (рис. 4).

Результати досліджень пластових флюїдів об'єднуються в єдиний проект, що дозволяє користувачеві створювати повну картину пласта.

Логічна структура PVTP допомагає інженеру в процесі характеризації флюїду, який включає калібрування РС для отримання відповідності з лабораторними даними як в пластових умовах так і в умовах промислової підготовки.

PVTP може бути використаний для розрахунку таблиць властивостей флюїду, флюїду з меншим числом компонентів або параметрів калібрування (Tc, Pc і коефіцієнтів бінарної взаємодії) для використання при моделюванні пласта-колектора або вузловому аналізі.

PVTP був вдосконалений для врахування твердого осаду, гідратів і асфальтенів, а також розрахунку тиску гідратоутворення, пригнічення гідратів, температури початку кристалізації парафінів і температури випадання парафінів.

При розробці інтегрованої моделі родовища від пласта-колектора до систем промислової підготовки, дуже важливо мати узгоджену модель флюїду.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Характеризація флюїдів
- Рекомбінація проб флюїду взятих з сепаратора
- Визначення положення газонафтового контакту
- Оптимізація стадій сепарації
- Прогноз фазового стану
- Дослідження здатності нафти розчиняти газ при тиску вище тиску насичення
- Моделювання твердої фази (гідратів і парафінів)
- Моделювання процесу витіснення нафти на моделі у вигляді тонкої трубки, заповненої піском
- Структурний підхід до процесу очищення проби від домішок, полегшує проблему аналізу проб забруднених домішками

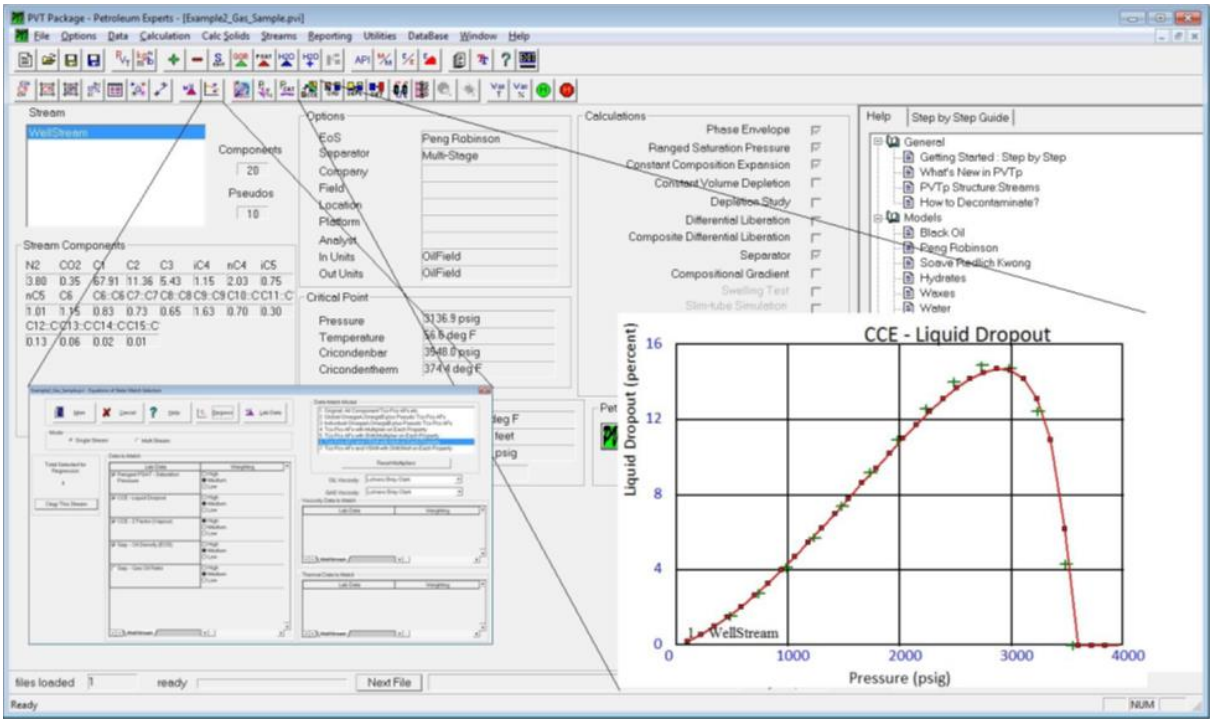

Рисунок 4. – Вікно програми **PVTP**

- Рекомбінація і перевірка коректності даних PVT
- Моделювання лабораторних тестів
- Підбір відповідності з пластовими властивостями і результатами
- диференціального розгазування одночасно
- Калібрування рівнянь стану (РС) для прямого використання в програмі моделювання свердловин PROSPER
- Розрахунок даних калібрування моделі "нелеткої" нафти для
- газоконденсату, яка використовується в програмі матеріального балансу MBAL

- Створення стислої і розгорнутої композиційних моделей флюїду
- (Lumping / Delumping) з можливістю переходу від однієї моделі до іншої. Подібна подвійна модель флюїду далі може використовуватися в інтегрованій моделі від пласта (стисла композиція) до переробки (розгорнута композиція).

OpenServer

Поєднання (суміщення) з програмами сторонніх розробників

OpenServer дозволяє використовувати відкриту архітектуру серед всіх додатків Petroleum Experts. Це дає можливість безпосереднього доступу і конторолю програм за допомогою сторонніх додатків.

Додатки доступні для OpenServer включають:

- Електронні таблиці, що використовують сценарії і макроси для розрахунків на основі результатів IPM
- Економічні програми
- Бази даних
- Системи контролю розробки родовища
- Внутрішні і приватні додатки компаній

Зокрема, OpenServer дозволяє використовувати інші програми (такі як Excel або програми написані на VisualBasic) для доступу до відкритих функцій програм Petroleum Experts. Стороння програма в автоматичному режимі може використовувати програми Petroleum Experts для розрахунків.

OpenServer може бути використаний для запуску програми Petroleum Experts спільно з іншими додатками і обміну даних між ними.

ВИСНОВКИ

Таким чином, використовуючи Petex IPM ін.-женер, за наявними геолого-промисловим даними, може створювати комплексні моделі родовищ, виконувати попередню адаптацію моделей пласта, свердловин і системи трубопроводів. Petex IPM дозволяє оптимізувати всю систему і використовувати модель для прогнозу видобутку.

Стаття може бути корисна як дослідникам процесів видобування вуглеводневих флюїдів, так і лекторам, студентам та аспірантам зі спеціальності 185 "Нафтогазова інженерія та технології".

REFERENCES / СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нові підходи щодо застосування програмного забезпечення для підготовки фахівців спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Є. Коровяка, В. Білецький, В. Расцвєтаєв, Т. Калюжна, В. Яворська // Матеріали Форуму гірників-2021. Дніпро. 04 – 05 листопада 2021 р.
2. Petroleum Experts (Petex) develop the Integrated Production Modelling software (IPM). URL:https://www.petex.com/products/ipm-suite/
3. PETROLEUM ENGINEERING AND STRUCTURAL GEOLOGY SOFTWARE. https://www.petroleumexperts.com/
4. INTEGRATED PRODUCTION MODELLING. http://itps.com/uploads/files/Petex%20IPM%20Brochure%20RUS.pdf (2021, вересень, 04).
5. Білецький, В.С. (2021). *Моделювання у нафтогазовій інженерії.* Львів: «Новий Світ – 2000», Харків: НТУ «ХПІ» — 306 с.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Актуальність проблеми. Стаття присвячена сучасному програмному забезпеченню моделювання процесів видобування вуглеводневих флюїдів. Описано серію програм Petex IPM що є лідируючим пакетом програмного забезпечення в нафтогазовій галузі, який дозволяє моделювати весь технологічний ланцюг процесів видобутку від продуктивного пласта до систем поверхневого облаштування.

Мета статті. Введення у науковий обіг основних характеристик програмного продукту Petex IPM.

Методи і апаратура. Літературний огляд, залучення інтернет-ресурсів, опис складових підпрограм Petex IPM..

Результати. Подана загальна характеристика Petex IPM. Описані можливості підпрограм GAP, PROSPER, MBAL, REVEAL і PVTP.

Наукова цінність розробки. Описані функції і області застосування підпрограм ресурсу Petex IPM, що уможливлює їх використання при дослідженні процесів видобування вуглеводневих флюїдів.

Практичне значення. Використовуючи Petex IPM інженер, за наявними геолого-промисловим даними, може створювати комплексні моделі родовищ, виконувати попередню адаптацію моделей пласта, свердловин і системи трубопроводів. Petex IPM дозволяє оптимізувати всю систему і використовувати модель для прогнозу видобутку. Стаття може бути корисна як дослідникам процесів видобування вуглеводневих флюїдів, так і лекторам, студентам та аспірантам зі спеціальності 185 "Нафтогазова інженерія та технології".

Ключові слова: *видобування вуглеводневих флюїдів, моделювання, програмне забезпечення, Petex IPM*

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Актуальность проблемы. Статья посвящена современному программному обеспечению моделирования процессов добычи углеводородных флюидов. Описана серия программ Petex IPM которая является лидирующим пакетом программного обеспечения в нефтегазовой отрясли. Petex IPM позволяет моделировать всю технологическую цепочку процессов добычи от продуктивного пласта к системам поверхностного обустройства.
Цель статьи. Введение в научный оборот основных характеристик программного продукта Petex IPM.
Методы и аппаратура. Литературный обзор, привлечение интернет-ресурсов, описание составляющих подпрограмм Petex IPM ..
Результаты. Представлена общая характеристика Petex IPM. Описаны возможности подпрограмм GAP, PROSPER, MBAL, REVEAL и PVTP.
Научная ценность разработки. Описаны функции и области применения подпрограмм ресурса Petex IPM, что делает возможным их использование при исследовании процессов добычи углеводородных флюидов.
Практическое значение. Используя Petex IPM инженер, по имеющимся геолого-промышленным данным, может создавать комплексные модели месторождений, выполнять предварительную адаптацию моделей пласта, скважин и системы трубопроводов. Petex IPM позволяет оптимизировать всю систему и использовать модель для прогноза добычи. Статья может быть полезна как исследователям процессов добычи углеводородных флюидов, так и лекторам, студентам и аспирантам по специальности 185 "Нефтегазовая инженерия и технологии".

Ключевые слова: *добыча углеводородных флюидов, моделирование, программное обеспечение, Petex IPM.*

ABOUT AUTORS

В.Романова, *аспірант, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна*

В.Білецький, *докт. техн. наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, електронна адреса ukcdb@i.ua, тел. +380 (067) 717-80-68.*