

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**  
**Навчально-науковий інститут нафти і газу**  
**Кафедра нафтогазової інженерії та технології**

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МОДЕЛЮВАННЯ В НАФТОГАЗОВІЙ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**

Освітній рівень	Третій (доктор філософії)	
Програма навчання	вибіркова	
Галузь знань	18	Виробництво та технології
спеціальність	185	Нафтогазова інженерія та технології
Освітня програма	Нафтогазова інженерія та технології	
Обсяг дисципліни	5 кредити ECTS (150 академічних годин)	
Види аудиторних занять	лекції (38 академічних годин), практичні роботи (22 академічних годин), самостійна робота (90 академічних годин)	
Форма контролю	екзамен	

**Викладач:**

професор, д-р Бранімір Цветковіч

д-р Бранімір Цветковіч, провідний фахівець відділу контролю та розробки нафтогазового пласта компанії Petro Brelle Energy, Норвегія, має ступінь доктора філософії зі спеціальності моделювання пласта від Тронхеймського технологічного університету.

З квітня 2020 року він є професором кафедри нафти і газу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» - НУПП в Україні, де викладає курси з підземної нафтогазової інженерії.

З 2017 по 2020 рік він брав участь у дослідженнях розробки родовищ на пізній стадії розробки, проведених міжнародною командою Шлюмберже, на посаді менеджера проекту та начальника відділу розробки пласта у Нафтогазі - УГВ, розташованого у Києві та Харкові. Працював консультантом у міжнародній консалтинговій компанії ОРС, Лондон (проводив тренінги для кувейтських нафтових компаній, де читав кілька курсів (як ПВТ характеристика пласта; поглиблена фізика пласта, поглиблене проектування інтенсифікації та динамічне моделювання пласта) з 2014 по 2017 рік.

Працював над проектами розробки родовищ у таких нафтогазових компаніях як Maersk Oil, Копенгаген (2015); Waugnsgas Norge, Осло, де був головним інженером з розробки та старшим інженером з розробки (2007-2014); і за сумісництвом у ENI, Мілан; STATOIL, Ставангер; DNO, Осло. Працював у INA-Naftaplin Загреб, де очолював відділ проектування технології розробки родовищ.

Досвід роботи у сервісних компаніях включає службу консультації з питань даних Schlumberger та сервісну службу родовищ (розміщену в Лондоні, WesternGeco у Гатвіку, Будапешті та Москві у 2001-2007 р.р.), а також у Aker-Kvaerner, Oslo Norway (2001).

Дослідницький досвід походить з Інституту енергетичних технологій, IFE-Kjeller Norway де обіймав посаду головного дослідника та завідувача секції моделювання пласта з 1994 по 2001; а також з Інституту нафтогазових технологій та прикладної геофізики в університеті Тронхейму (1991-1994).

З 2018 працював за сумісництвом лектором у ХПІ. Окрім того, читав лекції в університеті Лорейн, у Нансі, Франція (з 2013 по 2017); в університеті Аль-Фарабі в Алматі, Казахстан; в університеті Espirito Santo, UFES Vitoria, Бразилія; в університеті Тронхейму, Норвегія, та на факультеті гірництва, геології та нафтогазової інженерії університету Загребу.

Обіймав посаду виконавчого голови комітету “Розробка тріщинуватих колекторів” семінарів Praxis Interactive Technology проведених у Дубаї (2013) та Істамбулі (2014). В подальшому, був запрошеним лектором до літньої нафтогазової школи у Дубровніку (протягом 7 років аж до 2014).

У 2009-2014 активно співпрацював з FORCE – технічним комітетом по інтенсифікованому видобутку нафти і газу (IOGR), створеному за ініціативою Норвезького нафтогазового директорату, NPD.

З 2014 займається рецензуванням фахових нафтогазових видань (Elsevier та SPE Фізика пласта та оцінка параметрів продуктивного пласта) та рецензував численні науково-дослідницькі проектні пропозиції з проектування розробки родовищ. Працював менеджером двох трирічних Європейських дослідницьких проектів (потужної газової репресії у тріщинуватому колекторі з дослідженням процесів дифузії у поровому, керновому та

польовому масштабах; а також у науковому дослідженні фільтрації полімерів у пористому середовищі на керновому та польовому масштабах). У 2017 взяв участь у ролі доповідача на SIS Schlumberger Форумі у Києві у 2019, у 2020 був спеціально запрошеним спікером на конференції IFEDC у Ченгду, КНР. У 2021 був запрошеним спікером на конференцію IFEDS у Чінгдао, КНР. У травні 2021 запрошений прочитати курс по “Дренуванню нафти та газу по горизонтальним та похилоскерованим багатостовбурним свердловинам” на Міжнародній конференції JEM у Vitoria, Espirito Santo, Бразилія.

### **Мета**

Моделювання процесів видобутку з пласта на поверхню є важливим інструментом, який може бути використаний для моделювання, а також прогнозування видобутку із звичайних, нетрадиційних та природних тріщинуватих колекторів. Тип імітаційної моделі пласта, що використовується, є важливим у цьому процесі. Для моделювання пласта можна використовувати моделі блек ойл та композиційну. Моделювання за допомогою блек ойл простіше і менш трудомістке, ніж композиційне моделювання.

Однак наскільки точні результати моделювання на блек ойл порівняно з результатами композиційного моделювання? Чи можемо ми дозволити собі поставити під загрозу точність прогнозів видобутку, використовуючи простіші та менш трудомісткі методи моделювання пласта? Чи можна певною мірою довіряти результатам? Результати однофазного (на основі аналітичних рівнянь дифузії) та двофазного моделювання блек ойл (кінцеві різниці), а також результати композиційного моделювання були проаналізовані та порівняні у окремо вибраних польових дослідженнях.

Крім того, ми досліджуємо надійність рішення. Після виконання моделювання виникає запитання "Наскільки добре рішення?" Невелика помилка у підрахунку матеріального балансу вказує на те, що загальний об'єм флюїду підрахований правильно, але не гарантує правильності його розподілу. Якщо отриманий розподіл флюїду викликає сумніви, необхідний систематичний аналіз. Змінні, що впливають на розподіл насичення, пов'язані із застосованою дискретизацією часу та простору. Таким чином, для правильного математичного аналізу слід дослідити чутливість результатів до часово-просторової дискретизації.

Таким чином, підготовка за програмою актуальна для фахівця з інших галузей, крім нафтової інженерії, який хотів би у подальшому будувати кар'єру у нафтогазовій інженерії.

### **Завдання**

Навчальна програма надає не тільки дуже корисні приклади, але також відповідне обговорення керівних принципів у роботі за обраним проектом (наприклад, фронтальне заводнення із врахуванням гравітаційних ефектів та без нього). Крім того, вправи у межах проекту моделювання фільтрації супроводжуються простим симулятором пласта, де можна відтворити багато подібних прикладів. Найголовніше, що зміст курсу наголошує на важливості того, щоб починати з найосновнішої моделі для вирішення вашої інженерної задачі. Найчастіше рівняння аналітичної моделі можуть стати рішенням у результаті правильного розуміння фізики фільтрації у пористих середовищах.

Далі, дослідження охоплюють поєднання елементів пласта, методи кількісної оцінки невизначеності в позиціонуванні свердловини (з різними траєкторіями). Учасники курсу повинні знати про використання геостатистики та методів Монте-Карло при моделюванні фільтрації вуглеводнів. У межах курсу вибрані приклади задач та їх рішень забезпечать інженерам-нафтовикам велику практику в галузі вирішення задач, зміцнять їх стратегії пошуку рішень, критичного мислення та підготують їх до унікальних задач, з якими вони зіткнуться у галузі інженерного моделювання фільтрації.

### **Програмні результати**

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен знати: Процедури верифікації та прогнозу роботи пласта, умови видобутку та пластові умови у конкретних умовах розробки або експлуатації. Бути обізнаними із різноманітними додатками для моделювання фільтрації у польових умовах. Вибрати серед багатьох підходів до прогнозування виробничих показників найбільш ефективний. Використовувати програмні засоби моделювання фільтрації з іншими традиційними методами як матеріальний баланс, який, як вказує його назва, базується на балансі маси. Це також можна сприймати це як нульвимірне наближення, оскільки

повний опис пласта не є необхідним. Крім того, це наближення розглядає незалежне від часу значення ємності пласта (без змін у пористому середовищі) як відносно прості термодинамічні репрезентації флюїда, які однозначно визначають весь пласт. Цей підхід добре працює у багатьох ситуаціях, включаючи первинні етапи розробки та заводнення.

вміти:

- правильно інтерпретувати фундаментальний процес, що відбувається у пласті, так званої «фільтрації рідини у пористих середовищах». Уміти вибирати різне програмне забезпечення для флюїдів, що фільтруються через проникну породу, дістаються до стовбура свердловини і потім подаються до сепаратора по трубах. Крім того, знання з інтеграції даних, тобто побудови імітаційної моделі пласта, залучення до перегляду даних з усіх різних ресурсів. У додачу до перевірки правильності та узгодженості даних і формування "огляду" пласта.
- знати, що прогноз видобутку зі свердловини, який виконується під час моделювання, дає прогноз продуктивності пласта.
- забезпечувати проведення аналізу, щоб визначити найкращі рішення проблем верифікації моделі. Розраховувати та зменшувати операційні ризики для нових або існуючих родовищ. Створювати точні прогнози за допомогою автоматизованих робочих процесів.
- розуміти, що описати родовище без значної кількості невизначеності надзвичайно складно і важко. Основні причини, через які не можливо вимірювати властивості безпосередньо, є те, що геологічна структура формується природним осадженням у поєднанні з дуже складними геологічними процесами. Навіть геометричний простір пласта дуже складно описати. Бути знайомими з інструментами прийняття рішень, оскільки інформація, запропонована моделюванням, допоможе менеджменту приймати рішення з різних інженерних або економічних питань.

### **Передумови для вивчення дисципліни**

Загальні знання фізики пласта та розуміння геології та геофізики:

петрофізика; поглиблена фізика пласта; ПВТ характеристика флюїдів; випробування свердловин, аналіз геопромислових даних;

Фізика і математика пористого середовища

Теорія фільтрації, Математика – теорія гомогенізації; Математичне та чисельне моделювання фільтрації у пористому середовищі

Математична статистика

Варіограми; Крігінг; Стохастичне моделювання; Геостатистика та метод Монте Карло

Оцінки ризиків:

Проксі моделювання, Нейронні мережі; Штучний інтелект

Невизначеності даних

Невизначеність та інтегровані дані

Маючи фізичні залежності за керуючий принцип, ми можемо побудувати імітаційну модель пласта, наповнюючи її іншою детальною інформацією, включаючи властивості гірських порід, властивості флюїдів, початкові та граничні умови колектора тощо. Імітаційна модель пласта - це дистиляція величезної кількості багатомасштабних даних значної кількості різних досліджень.

### **Очікувані результати навчання з дисципліни**

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен знати:

Процедури верифікації та прогнозу роботи пласта, умови видобутку та пластові умови у конкретних умовах розробки або експлуатації. Бути обізнаними із різноманітними додатками для моделювання фільтрації у польових умовах. Вибрати серед багатьох підходів до прогнозування виробничих показників найбільш ефективний. Використовувати програмні засоби моделювання фільтрації з іншими традиційними методами як матеріальний баланс, який, як вказує його назва, базується на балансі маси. Це також можна сприймати це як нульвимірне наближення, оскільки повний опис пласта не є необхідним. Крім того, це наближення розглядає незалежне від часу значення ємності пласта (без змін у пористому середовищі) як відносно прості термодинамічні репрезентації флюїда, які однозначно визначають весь пласт. Цей підхід добре працює у багатьох ситуаціях, включаючи первинні етапи розробки та заводнення.

Навчитися робити прогнози щодо продуктивності пласта, що є таким самим, що і прийняття рішень щодо проектів з підвищеним видобутком нафти. Бути обізнаним щодо використання аналогових методів скринінгу та вибраних математичних методів, що ілюструють їх відповідність методам підвищення нафтовилучення, особливо на початку роботи з оцінки родовища.

вміти:

– правильно інтерпретувати фундаментальний процес, що відбувається у пласті, так званої «фільтрації рідини у пористих середовищах». Уміти вибрати різне програмне забезпечення для флюїдів, що фільтруються через проникну породу, дістаються до стовбура свердловини і потім подаються до сепаратора по трубах. Крім того, знання з інтеграції даних, тобто побудови імітаційної моделі пласта, залучення до перегляду даних з усіх різних ресурсів. У додачу до перевірки правильності та узгодженості даних і формування "огляду" пласта.

– знати, що прогноз видобутку зі свердловини, який виконується під час моделювання, дає прогноз продуктивності пласта.

– забезпечувати проведення аналізу, щоб визначити найкращі рішення проблем верифікації моделі.

Розраховувати та зменшувати операційні ризики для нових або існуючих родовищ. Створювати точні прогнози за допомогою автоматизованих робочих процесів.

– розуміти, що описати родовище без значної кількості невизначеності надзвичайно складно і важко.

Основні причини, через які не можливо вимірювати властивості безпосередньо, є те, що геологічна структура формується природним осадженням у поєднанні з дуже складними геологічними процесами. Навіть геометричний простір пласта дуже складно описати. Бути знайомими з інструментами прийняття рішень, оскільки інформація, запропонована моделюванням, допоможе менеджменту приймати рішення з різних інженерних або економічних питань.

### **Вміти:**

Вміти застосовувати передові знання з моделювання глибинної фільтрації; поєднання різних траєкторій свердловин (з тріщинами або без них) до вуглеводневого пласта; методи розрахунку запасів; моделювання, що включає побудову статичної та динамічної моделі з її верифікацією; прогнози на основі моделювання фільтрації з аналізом ризиків; характеристика пласта за результатами випробування свердловин, дослідження дебіту.

Поглиблене розуміння традиційних колекторів та їх диференціація по відношенню до нетрадиційних колекторів. Інтерпретація результатів моделювання та їх використання у контролі параметрів розробки родовища. Таке навчання розвиває навички, необхідні для технічної підтримки при прийнятті управлінських рішень при розвідці та розробці родовищ. Навчальна програма розкриває багато важливих питань, необхідних для досліджень розробки родовищ на пізній стадії експлуатації.

Розпізнавати свердловинний видобуток із колекторів природної тріщинуватості та мати основні знання щодо їх статичного та динамічного моделювання.

Бути обізнаним у питаннях поєднання моделювання фільтрації з моделюванням мережі; моделюванні фільтрації, що включає напруження в гірських породах (як у НРНТ колекторах)

### **Критерії оцінювання результатів навчання**

Активна робота на лекціях та практичних заняттях з моделювання пласта!

### **Засоби діагностики результатів навчання**

Оцінювання за загальноприйнятими методиками

## Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р		л	п	лаб	інд	с.р
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Змістовий модуль 1. Аналіз даних та інформації</b>												
Тема 1. Мета і задачі динамічного моделювання пласта		2										
Тема 2. Статичне моделювання		2	1									
Тема 3 Сейсмічні вишукування, інверсія куба, та інтерпретація властивостей		2	1									
Тема 4. Петрофізична інтерпретація та розподіл властивостей		2	1									
Тема 5. Оновлення і масштабування		2	2									
Тема 6. Грідінг – структурний та неструктурний підходи до грідінгу, Декартові гріді, гріді кутових точок, гріді Вороного		2	1									
Тема 7. Задання свердловин і тектонічних порушень у імітаційних моделях пласта		2	1									
Тема 8. Чисельні помилки і артефакти у моделюванні пласта		2	1									
Тема 9. Вимоги до вихідної інформації, проблеми масштабів, і невизначеності		2	1									
Тема 10. Огляд властивостей гірських порід і флюїдів для введення у динамічну модель		2	2									
Тема 11. Ініціалізація моделей пласта		2	1									
Тема 12. Вступ до чисельної постановки симулятора фільтрації флюїда (блек-ойл, композиційний, термальний; потоковий симулятори)		2	1									
Тема 13. Методи розв'язку та параметри налаштування моделі		2	1									
Тема 14. Підходи до верифікації та прогнозування видобутку		2	2									
Тема 15. Рівняння дифузії та напів-аналітичні рішення при випробуванні свердловин та дебітів		2	1									
Тема 16. Характеризація пласта на основі випробування свердловин та дебітів		2	1									
Тема 17. Підтвердження об'ємних параметрів методами випробуванням свердловин та динамічним матеріальним балансом.		2	1									
Тема 18. Підтвердження видобутку по даним видобутку перерозподілених свердловин та даним вибійного тиску		2	1									
Тема 19. Оцінка ризиків при дослідженні родовищ на ранніх та пізніх стадіях розробки		1	1									
Тема 20. Окремі дослідження з питань моделювання		1	1									
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>150</b>	<b>38</b>	<b>22</b>				<b>90</b>					

Окремі дослідження з питань моделювання:

1. EOR/IOR studies conventional reservoir
2. Unconventional reservoirs
3. Naturally fractured reservoirs
4. Gas storage and CO<sub>2</sub> sequestration
5. Reservoir flow simulation-to-network simulation
6. Reservoir simulation coupled to rock mechanical stresses.
7. Numerical and analytical well testing's
8. Volume in Place calculations (well testing, rate-testing, static and dynamic simulation)
9. A Multi-fractured horizontal and A Multilateral well
10. Streamlines simulation.

Програмні інструменти для моделювання:

Моделювання фільтрації

ECLIPSE 100/300, PVTi, PETREL-RE (Schlumberger)

IMEX- BO, GEM- Compositional and Unconventional, STARS-Chemical-Thermal, CMOST-AI History Matching and Optimization tool (for Conventional and Tight Reservoirs), WINPROP-PVT (CMG)

RUBIS – Unstructured grid, near-wellbore, and sector simulation (KAPPA)

REVEAL - REVEAL is a specialized reservoir simulator that enables integrated reservoir and production studies to be performed, RESOLVE - field development and Economic analysis (Petroleum Experts Limited)

Характеризація пласта та аналіз залежностей тиск-дебіт у часі

SAPHIR-TOPAZ-RUBIS (KAPPA)

HARMONY-ENTERPRISE (IHS)

Матеріальний баланс та коригування фільтрації до свердловини

MBAL, PROSPER, GAP (Petroleum Experts Limited)

PIPESIM, HYSIS (Schlumberger)

### Методи контролю

Правила оцінювання:

Активна участь і тест	10%
Виконання проекту (презентація і доповідь)	20%
Вправи по проекту (проект з моделювання пласта)	20%
Письмовий іспит	50%

Поточне оцінювання, тестування та самостійна й індивідуальна робота														Іспит	Сума
Змістовий модуль 1															
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12-16	T17	T18-20		
3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	5	50	100

### Рекомендована література

1. Thomas, Gordon W. 1982. *Principles of Hydrocarbon Reservoir Simulation*, IHRDC, Boston.
2. Mattax, Calvin C., and Dalton, Robert L. (eds.). 1990. *Reservoir Simulation*, SPE Monograph Series.
3. Aziz, Khalid. 1983. *Advanced Petroleum Reservoir Simulation*, NTH (NTNU) Ph.D. Course lecture notes, Trondheim.
4. Golan, Michael and Whitson, Curtis. 1991. *Well Performance*, ISBN-13: 978-0139466090, Prentice Hall; Subsequent edition.
5. Whitson, C.H. and Brulé, M.R. 2000. *Phase Behavior*, Monograph Series, Society of Petroleum Engineers.
6. Raghavan, Rajagopal. 1993. *Well Test Analysis*, Prentice Hall Petroleum Engineering.
7. Cvetkovic, Branimir. 2009. *Well Production Decline*, ISBN 978-82-471-1782-2, NTNU Trondheim Norway.

8. Cvetkovic, Branimir. 1992. *Fundamental Equations and Techniques Used in Decline Curve Analysis*, The University of Trondheim.
9. van Golf-Racht, T.D. 1982. *Fundamentals of Fractured Reservoir Engineering*, Volume 12, **ISBN: 9780444420466**.
10. Cvetkovic, B et al. 1998. *OPTIMAL MASSIVE GAS INJECTION CONDITIONS FOR OIL RECOVERY ENHANCEMENT BY DIFFUSION IN FRACTURED AND HETEROGENEOUS RESERVOIRS (MAGIC-OR), FINAL REPORT (First Part)*, Non-Nuclear Energy Program –Joule III European Research Project, Institute for Energy Technology, IFE-Kjeller Norway.
11. Zoback, D. Mark. 2019. *Unconventional Reservoir Geomechanics: Shale Gas, Tight Oil, and Induced Seismicity*, ISBN-10: 1107087074.
12. Tiab, Djebbar, Donaldson, Ernie C. 2015. *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties* 4th Edition, Gulf Professional Publishing.
13. *Mathematical Modelling of Flow Through Porous Media - Proceedings of the Conference* Hardcover by Alain P Bourgeat (Editor), Claude Carasso (Editor), Stephan Luckhaus (Editor), Andro Mikelic (Editor) – October 1, 1996.
14. Smith, G. D., *Numerical Solution of Partial Differential Equations*, Clarendon Press (1978).
15. Chen, Z. *Reservoir Simulation: Mathematical Techniques in Oil Recovery*. Society of Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, PA 2007.