

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи

**«Характеризація нафти та робота з Електронною таблицею»**

з курсу

«Проектування комп'ютерно-інтегрованих систем хімічних технологій»

для студентів спеціальностей

151.03 «Комп'ютерно-інтегровані енергоефективні системи

і програмне забезпечення»

та 161 «Хімічна технологія та інженерія»

Затверджено

редакційно-видавничою

радою університету,

протокол № 3 від 06.11.2019 р.

Харків

НТУ «ХП»

2019

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Характеризація нафти та робота з Електронною таблицею» з курсу «Проектування комп'ютерно-інтегрованих систем хімічних технологій» для студентів спеціальностей 151.03 «Комп'ютерно-інтегровані енергоефективні системи і програмне забезпечення» та 161 «Хімічна технологія та інженерія» / уклад. А.М. Миронов, М.В. Ільченко. – Харків : НТУ «ХПІ». – 20 с.

Укладачі А.М. Миронов  
М.В. Ільченко

Рецензент К.О. Горбунов

Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів

## ВСТУП

Робота за Диспетчером нафт у UniSim Design суттєво розширює рамки застосовності імітаційних моделей не тільки у дослідницьких, але й у виробничих цілях. Він одночасно дозволяє дослідити можливості моделювання складних вуглеводневих сполук з різною молекулярною масою та зрозуміти сутність процесів розділення нафтопродуктів на окремі фракції. Крім того, процедура характеристизації нафт поглиблює у інженерів знання принципів роботи з гіпотетичними компонентами та використання різних термодинамічних пакетів для несхожих хімічних речовин.

Диспетчер нафт дозволяє представити сировинну нафтову суміш у якості набору окремих складових з відомими параметрами. Фізичні, термодинамічні, критичні та транспортні властивості кожного з цих гіпотетичних компонентів визначаються програмою UniSim Design самостійно за однією з відомих методик, згідно вибору користувача. Повністю визначені гіпокомпоненти можуть бути інстальовані до матеріального потоку та використані при побудові будь-якої технологічної схеми.

За допомогою операції «Електронна таблиця» можна у реальному часі коригувати певні параметри роботи обладнання або параметрів потоків. Її структура відповідає базовому функціоналу відомих обчислювальних електронних таблиць (наприклад, Microsoft Office Excel) та підтримує роботу з формулами. Завдяки сумісному застосуванню Диспетчера нафт та експортованих за допомогою Електронної таблиці даних можна суттєво спростити та пришвидшити моделювання аналогічних нафтопереробних виробництв.

# 1 ОПИС ЗАВДАННЯ

У розглянутому прикладі потік сирої нафти змішується з потоком легких фракцій виробництва, а потім пара та рідини поділяються за різних тисків у серії з двох сепараторів. Цей приклад також демонструє використання операції Електронних таблиць.

Загальний вигляд схеми наведено на рис. 1.

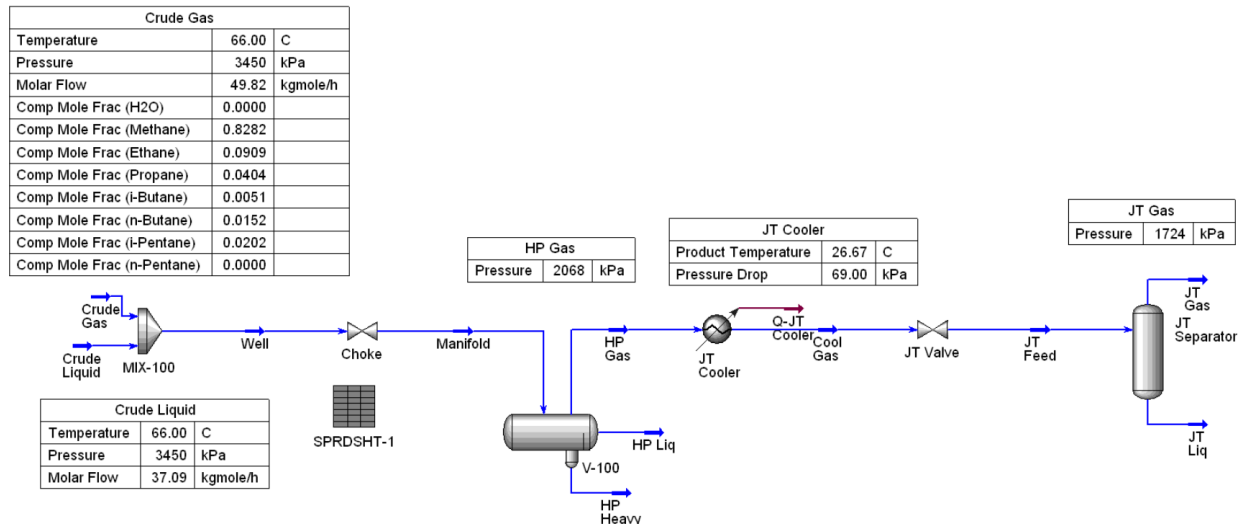


Рисунок 1 – Технологічна схема переробки нафти

## Мета навчання

Після завершення цього розділу ви навчитесь:

- розуміти процес характеристики нафти;
- використовувати операцію «Електронна таблиця»;
- експортувати та імпортувати змінні за допомогою Електронної таблиці.

## Передумови

Перед початком даного завдання потрібно знати процедури встановлення термодинамічного пакету, інсталяції потоків, завдання їхніх характеристик, встановлення операцій та обладнання.

## 2 ХАРАКТЕРИЗАЦІЯ НАФТ

### 2.1 Алгоритм характеристики нафтових проб та сумішей з використанням UniSim Design

Для моделювання видобувної нафтогазової рідини комп'ютерна програма дозволяє достовірно точно змоделювати паро-рідинну рівновагу (VLE) та властивості рідини. Існують різні методи, які використовуються для опису VLE та властивостей нафти як рідини у комп'ютерному моделюванні. Вибір методу у значній мірі залежить від наявних у моделіста даних, які можуть бути обмежені простими даними, зібраними на виробництві, або включати детальні лабораторні аналізи.

У UniSim Design доступні чотири основні методи характеристики нафти:

- визначені користувачем гіпотетичні компоненти;
- характеристика сирої нафти за стандартом ASTM (частина опції «Аналіз проб сирої нафти»);
- моделі мазуту (частина опції Upstream);
- PVT-характеристика (частина опції Upstream).

Основна увага у даній лабораторній роботі буде приділена моделям ASTM для аналізу сирої нафти.

Характеризація сирої нафти за стандартом ASTM є тріступневим процесом:

- 1) характеризується проба;
- 2) генеруються гіпотетичні компоненти нафти (обов'язково) і проби суміші (опціонально);
- 3) створена Нафта інсталюється у модель.

#### *1. Характеризація проби*

UniSim Design використовує різні лабораторні дані та генерує так звані робочі криві. Ці внутрішні робочі криві представляють поведінку VLE (крива температури кипіння) та основні фізичні властивості (молекулярна маса, щільність, в'язкість) рідини. Цього цілком достатньо для отримання інформації (через встановлені кореляції) усіх інших фізичних властивостей рідини. Якщо лабораторні дані не надані, для побудови робочих кривих використовуються кореляції ASTM.

## **2. Генерування гіпотетичних компонентів нафти та проб сумішей**

При аналізі гіпотетичних компонентів нафти та проб сумішей криві розбиваються на сегменти (основі точки кипіння), кожен з яких також представлений гіпокомпонентом, й для отримання їхніх властивостей використовується інший набір кореляцій ASTM. За вибором користувача декілька проб можуть бути змішані одна з одною, перш ніж будуть отримані гіпотетичні компоненти.

## **3. Інсталяція Нафти до моделі**

Під час інсталяції Нафти до моделі вона поміщується до однієї зі схем моделювання у вигляді потоку. У процесі установки ці гіпотетичні компоненти додаються до термодинамічного пакету технологічної схеми, і потік створюється таким чином, щоб його властивості відповідали вихідним робочим кривим для нафти.

### **2.2 Створення нафтової проби**

Охарактеризована нафта повинна бути додана до термодинамічного пакету, тому перший крок – це його створення.

1. Створіть термодинамічний пакет. Оберіть **Пенг-Робінсон** у якості пакету властивостей.

2. Створіть список компонентів, пов'язаних з даним термодинамічним пакетом. Додайте ненафтові компоненти (H<sub>2</sub>O, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, i-C<sub>4</sub>, n-C<sub>4</sub>, I-C<sub>5</sub>, n-C<sub>5</sub>). Зверніть увагу, що ці компоненти повинні включати будь-які легкі фракції, які будуть визначені як частина процесу характеристикації нафти.

3. Перейдіть на вкладку **Диспетчер нафт («Oil Manager»)**. Ви можете обрати термодинамічний пакет (якщо їх декілька), який забезпечить, що компоненти легких фракцій будуть прийняті до уваги у процесі характеристикації.

4. Натисніть кнопку **Увійти до нафтового середовища («Enter the Oil Environment»)**. З'явиться вікно властивостей нафти.

### **2.3 Характеризація нафтової проби**

Кожна проба включає до себе усі лабораторні дані щодо зразка нафти: криві температури кипіння, об'ємні фізичні властивості, інформацію про легкі фракції та криві властивостей (для молекулярної маси, щільності, в'язкості). UniSim Design генерує внутрішні криві ТВР, молекулярної маси, щільності та в'язкості на основі даних цього аналізу. Ці внутрішні криві називаються робочими кривими.

Мінімальна інформація, необхідна UniSim Design для характеристики нафти, складається з наступних елементів:

- лабораторні дані дистиляційної кривої (UniSim Design приймає декілька типів аналітичних даних);
- масова молекулярна вага;
- масова щільність;
- фактор Ватсона К.

Крива дистиляції ТВР та об'ємної стандартної щільності:

Об'єм рідини, %	ТВР (°C)	ТВР (°F)
0	2	35
2	25	78
5	48	119
10	75	167
15	92	197
20	114	238
30	154	309
40	199	390
50	247	477
60	298	568
70	356	673
80	431	809
90	551	1024
95	644	1191
98	719	1327
100	776	1429

5. Перейдіть на вкладку **Проба** («Assay») і натисніть кнопку **Додати**, щоб додати пробу.

6. На вкладці **Вхідні дані** виберіть **Використовується** з випадаючого списку **Об'ємні властивості** та **ТВР** з випадаючого списку **Тип даних проби**.

7. Натисніть на перемикач **Дистиляція** справа. Потім натисніть кнопку **Редагувати пробу** та введіть дані ТВР.

*Примітка.* Переконайтеся, що при вводі даних ви використовуєте коректну розмірність! У даному випадку це об'ємні відсотки рідини.

8. Натисніть на селективну кнопку **Об'ємні властивості** та введіть стандартну об'ємну щільність **900 кг/м<sup>3</sup>**.

9. Натисніть кнопку **Розрахувати**. У рядку стану відобразиться повідомлення «Проба була розрахована».

10. Перейдіть на вкладку **Робочі криві**. Внутрішні криві, розраховані UniSim Design для характеристики проби, зображені на рис. 2 та рис. 3.

Point #	Moles	Cum. Moles	NBP [C]	Mole Wt	Mass Density [kg/m3]	Viscosity 1 [cP]	Viscosity 2 [cP]
0	0.00000	0.00000	1.667	54.80	724.6	0.349	0.163
1	0.01000	0.01000	8.490	56.86	730.5	0.365	0.174
2	0.01000	0.02000	20.39	60.61	740.7	0.388	0.190
3	0.01000	0.03000	30.26	63.87	748.9	0.405	0.202
4	0.01000	0.04000	38.44	66.82	755.6	0.411	0.210
5	0.01000	0.05000	45.24	69.60	761.0	0.406	0.212
6	0.01000	0.06000	51.55	72.22	766.0	0.382	0.207
7	0.01000	0.07000	57.67	74.81	770.8	0.353	0.199
8	0.01000	0.08000	63.21	77.19	775.1	0.331	0.195
9	0.01000	0.09000	68.27	79.39	778.9	0.341	0.201
10	0.01000	0.10000	72.87	81.41	782.4	0.351	0.207
11	0.02500	0.12500	79.58	84.41	787.5	0.368	0.216
12	0.02500	0.15000	87.47	88.02	793.3	0.389	0.227
13	0.02500	0.17500	96.94	92.62	800.2	0.418	0.243
14	0.02500	0.20000	108.6	98.52	808.5	0.458	0.264

Рисунок 2 – Робочі криві для характеристики проби

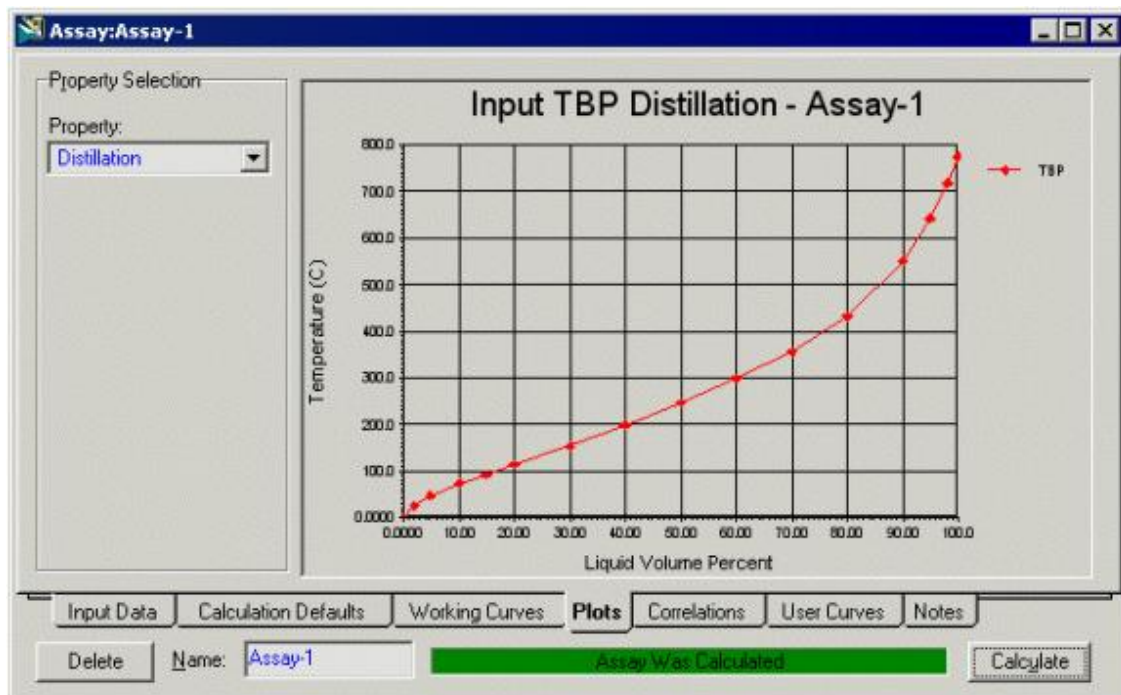


Рисунок 3 – Графіки характеристики проби

## 2.4 Генерування гіпотетичних компонентів

При генеруванні гіпотетичних компонентів існує три варіанти розбивки.

- **Автоматична розбивка.** UniSim Design розбиває пробу, ґрунтуючись на внутрішніх показниках.

Діапазон	Розбивка
37,78-425 °C (100-797 °F)	28 (4 по 37,78 °C/100 °F)
425-650 °C (797-1202 °F)	8 (2 по 37,78 °C/100 °F)
650-871 °C (1202-1600 °F)	4 (1 по 37,78 °C/100 °F)

- **Користувацькі точки.** Вказується кількість необхідних гіпокомпонентів. UniSim Design пропорційно розподіляє дані відповідно до внутрішнього алгоритму.

Діапазон	Розбивка
IBP-425 °C (IBP-797 °F)	4 по 37,78 °C/100 °F
425-650 °C (797-1202 °F)	2 по 37,78 °C/100 °F
650 °C-FBP (1202 °F- FBP)	1 по 37,78 °C/100 °F

- **Користувацькі діапазони.** Вказуються діапазони температури кипіння та кількість розділів на діапазон.

У даній роботі буде використана опція **Автоматична розбивка**.

11. Перейдіть на вкладку **Розбивка/Суміш** («Cut/Blend»). Натисніть кнопку **Додати**, щоб додати нову суміш.

12. На вкладці **Дані** натисніть кнопку **Додати**, щоб додати необхідну пробу до нової суміші. Вказування витрати є необов'язковим, якщо у суміші присутня тільки одна проба. Швидкість потоку вказувати не потрібно.

13. Параметр **Вибір способу розбивки** слід залишити за замовчуванням на пункті **Автоматична розбивка**.

14. На вкладці **Таблиці** показані гіпотетичні компоненти, згенеровані **Диспетчером нафти**. За принципами найменування їхні назви включають до себе нормальну температуру кипіння (НТК) для розбивки.

15. Для перевірки згенерованих гіпотетичних властивостей компонентів слід перейти на вкладку **Зведений графік** та подивитися, наскільки добре введені (проба) та розраховані (гіпотетичні компоненти) дані відповідають одне одному – рис. 4.

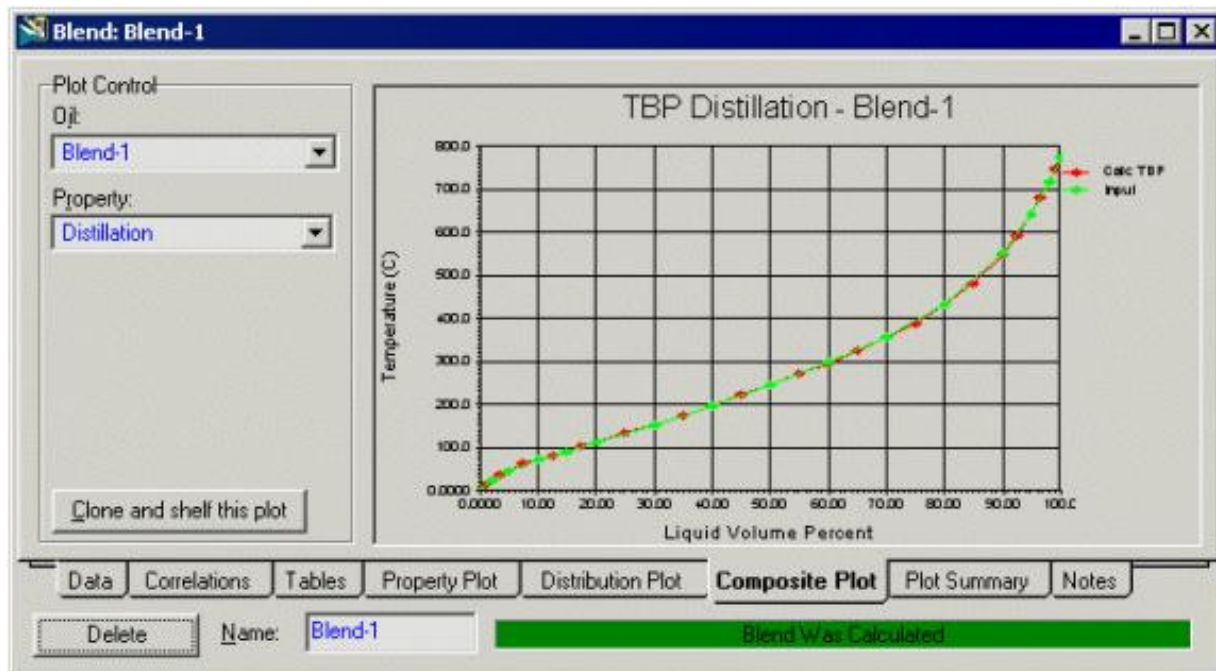


Рисунок 4 – Зведений графік властивостей проби та гіпокомпоненту

## 2.5 Інсталяція нафти

16. Віконце **Розбивка/Суміш** необхідно закрити та на екрані **Характеризація нафти** перейти на вкладку **Інсталяція нафти**.

17. **Суміш 1** («Blend-1») з'явиться у груповій рамці **Інформація про інсталяцію нафт**. Для **Суміші 1** введіть ім'я потоку «Сира рідина».

18. Натисніть кнопку **Повернутися до базового середовища**.

На створені гіпокомпоненти можна подивитися у **Диспетчері базису** на вкладці **Гіпотетичні**. Якщо відкрити термодинамічний пакет, можна побачити, що до нього також були додані ці гіпотетичні компоненти.

При інсталяції нафти UniSim Design автоматично створив окрему гіпогрупу для інсталюваної нафти та додав цю гіпогрупу до списку компонентів термодинамічного пакету. Крім того, UniSim Design створив потік з відповідним складом для «фізичної» репрезентації нафти.

19. Натисніть кнопку **Увійти до середовища моделювання** («Enter Simulation Environment»). Встановлений потік буде перебувати у PFD.

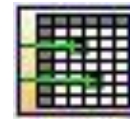
### 3 СТВОРЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

Побудуйте технологічну схему з робочими операціями та усіма необхідними параметрами, які наведені на скріншоті PFD. При встановленні об'єктів використовуйте подані на рисунку назви потоків та апаратів. Після закінчення побудови технологічна схема повинна повністю автоматично розрахуватися.

#### Електронна таблиця у UniSim Design

1. Додайте електронну таблицю з **Каси об'єктів** (натисніть **F4**), двічі клацнувши на іконці електронної таблиці.

Іконка Електронної таблиці виглядає наступним чином:



2. Перейдіть на вкладку **Електронна таблиця**.

Щоб імпортувати змінні до клітинки Електронної таблиці виконайте наступні дії.

- Клацніть правою кнопкою миші на клітинці, до якої треба імпортувати значення. Оберіть **Імпорт змінної**. З'явиться **Навігатор змінних**.
- Оберіть **Об'єкт** (наприклад, Потік, Операцію тощо) та **Змінну** (наприклад, температуру, навантаження тощо), яка вас цікавить.
- Натисніть кнопку **ОК**.

Щоб експортувати змінні з клітинки Електронної таблиці до об'єкту моделі виконайте наступні дії.

- Клацніть правою кнопкою миші на необхідній клітинці. Оберіть **Експорт результату формули**.
- З'явиться Навігатор змінних. Оберіть **Об'єкт** (наприклад, Потік, Операцію тощо) та **Змінну** (наприклад, температуру, навантаження тощо), до якої ви хочете експортувати значення.
- Натисніть кнопку **ОК**.

*Примітка.* Для експорту змінної з електронної таблиці її значення повинно відображатися червоним.

3. Заповніть **Електронну таблицю** наступною інформацією та отримайте значення у останньому стовпчику:

Клітинка	Імпортована/експортована Змінна або Формула	Значення
A1	Імпорт: HP Gas – Std Gas Flow (MMSCFD)	
A2	Імпорт: HP Liq – Std Liquid Volume Flow (Barrels/Day)	
A4	Формула: $Gas\ Oil\ Ratio = 1000000 * A1 / A2$	
A6	Перейдіть до <b>Робочої книги</b> та видаліть тиск (300 psia) потоку HP Gas. До A6 введіть число, яке буде використовуватися для тиску у HP Gas.	
A7	Формула: зробіть значення A6 експортованим. Експортуйте це значення до HP Gas – Тиск.	

4. У **Електронній таблиці** заповніть стовпчик B відповідними позначками.

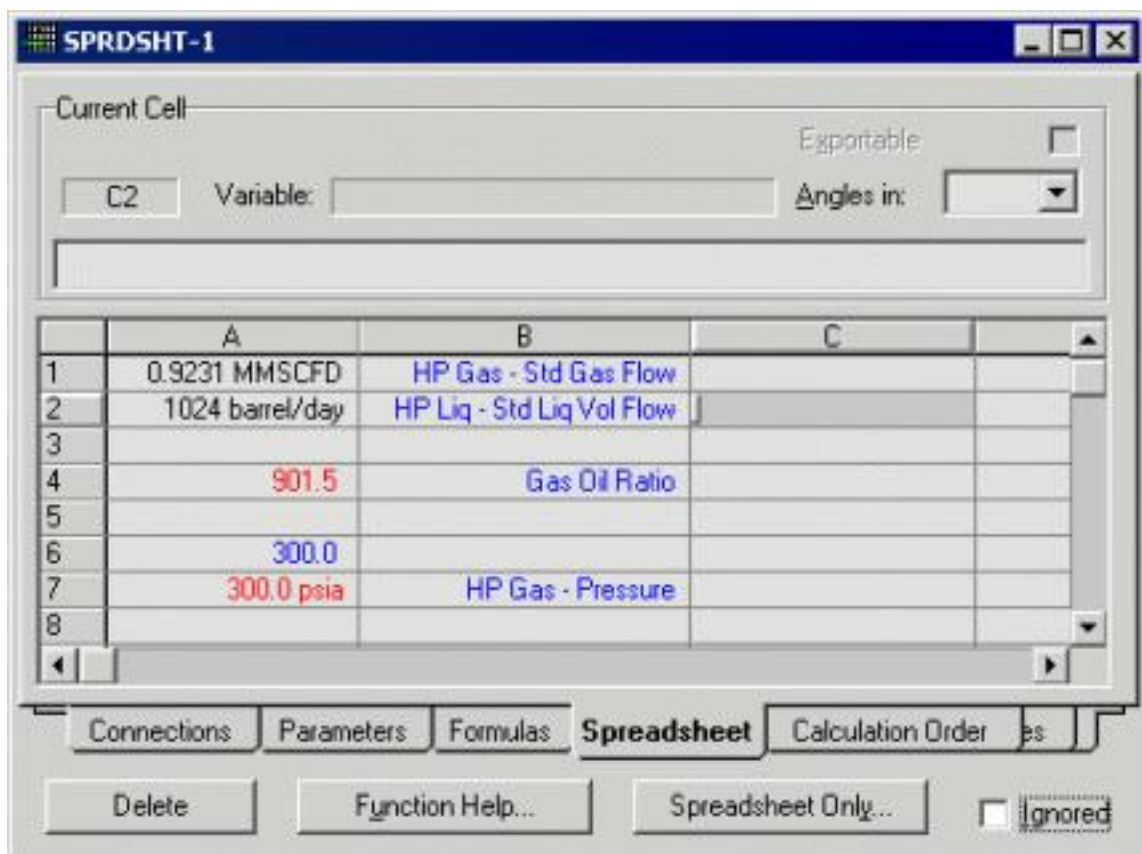


Рисунок 5 – Робочий аркуш Електронної таблиці

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СХЕМИ

1. Поверніться до Диспетчеру нафт та відкрийте віконце параметрів для «Суміш-1».

2. На вкладці Дані для Суміші-1 змініть значення параметру **Вибір способу розбивки на Користувацькі точки**. Введіть значення **2** для параметра **Кількість розділень**.

3. Натисніть на вкладку **Зведений графік**, щоб переглянути дистиляційну ТВР-криву суміші.

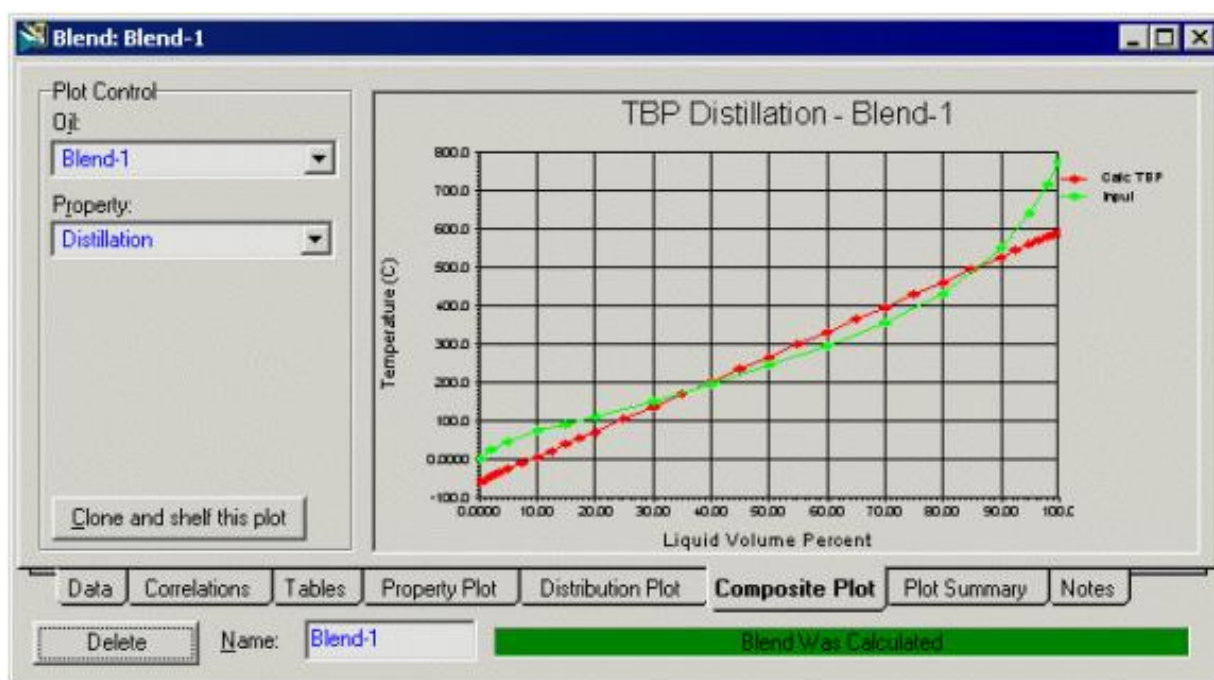


Рисунок 6 – Зведений графік дистиляційної ТВР-кривої

4. Поверніться до середовища моделювання (коли програма запитає, чи бажає користувач залишитися у режимі очікування, слід натиснути «Ні»).

5. Змініть у Електронній таблиці значення тиску для HP Gas на 350, 400, 450 та 500 psia. Відзначте, як характеристика важких фракцій впливає на результат розрахунків.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке характеристика нафти?
2. На чому заснований стандарт ASTM?
3. Назвіть та опишіть три етапи характеристики нафти.
4. Скільки існує типів розбивки проб при генеруванні гіпотетичних компонентів? Опишіть кожен з них.
5. Опишіть, як імпортувати або експортувати змінну за допомогою Електронної таблиці.

## **ПЛАН ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ ТА НАПИСАННЯ ЗВІТУ**

1. Ознайомитися з методикою проведення роботи.
2. Виконати послідовність дій, викладених у методичних вказівках.
3. Продемонструвати викладачу працюючу імітаційну модель у програмі UniSim Design.
4. Сформувати звіт.

### **Зміст звіту**

1. Титульний аркуш.
2. Ціль роботи.
3. Завдання.
4. Набір знімків екрану (скріншотів) з базовими робочими вікнами програми та короткими поясненнями до них.
5. Висновки.

Звіт оформлюється з використанням текстового редактора LibreOffice Writer (або Microsoft Word). Обсяг звіту – до 10 сторінок.

Титульний аркуш до пояснювальної записки наведений у Додатку А.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. UniSim Design user guide. April R390 release / Honeywell / London-Ontario – 2009. – 482 p.
2. HYSYS. Версия 2006 / AspenTech // Руководство пользователя – International edition – 2006. – 235 с.
3. Introduction to OLI Engine in Unisim Design. A getting started guide / OLI Systems, Inc. – 2016. – 60 p.
4. Pannocchia G. On the use of dynamic process simulators for the quantitative assessment of industrial accidents / G. Pannocchia, G. Landucci // Chemical Engineering Transactions – 2014. – № 36. – P. 505–510.
5. Conroy R. J. Successful multivariable control without plant tests: First-principles dynamic simulation models can be used instead / R. J. Conroy, U. Mathur // Hydrocarbon Processing – 2003. – 82(4). – P. 55–58.

**ДОДАТОК А**  
**ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО АРКУША ЗВІТУ**

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
Навчально-науковий інститут хімічної технології та інженерії

Кафедра інтегрованих технологій, процесів і апаратів

Лабораторна робота  
на тему  
«Характеризація нафти та робота з Електронною таблицею»  
з дисципліни  
«Проектування комп'ютерно-інтегрованих систем хімічних технологій»

Студент

---

Група

---

Викладач

---

Оцінка

---

Харків 2019

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Опис завдання.....	4
2 Характеризація нафт .....	5
3 Створення імітаційної моделі .....	11
4 Дослідження роботи схеми .....	13
Контрольні запитання .....	14
План виконання лабораторної роботи та написання звіту.....	15
Список джерел інформації .....	16
Додаток А Зразок оформлення титульного аркуша звіту .....	17



Навчальне видання

МИРОНОВ Антон Миколайович  
ІЛЬЧЕНКО Марія Володимирівна

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи

«Характеризація нафти та робота з Електронною таблицею»

з курсу

«Проектування комп'ютерно-інтегрованих систем хімічних технологій»

для студентів спеціальностей

151.03 «Комп'ютерно-інтегровані енергоефективні системи

і програмне забезпечення»

та 161 «Хімічна технологія та інженерія»

Відповідальний за випуск проф. *В.С. Ведь*

Роботу до видання рекомендував проф. *О.М. Рассоха*

В авторській редакції

План 2019 р., п. 286

Підписано до друку 25.11.2019 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсет.

Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,9

Наклад 10 прим. Зам. № Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

---

Копіювальний центр «Моделіст»,

вул. Мистецтв, 3