

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УДК 681.518.5

DOI: 10.31471/1993-9981-2023-1(50)-81-92

### МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ДЛЯНКИ ТРУБОПРОВОДУ У ПРОГРАМІ ASPEN HYSYS

*О. В. Кучмистенко*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; e-mail: pma@nung.edu.ua*

В роботі досліджується проблеми створення віртуальної моделі трубопровідної системи в програмі Aspen HYSYS, враховуючи фізичні параметри, компоненти, технологічні процеси та обмеження. Отримані динамічні характеристики моделі можуть бути використані для дослідження адекватності моделі та перевірка її поведінки за реальних умов. Також необхідно дослідити чутливість моделі до зміни параметрів та збурень. Задачею є забезпечення високої адекватності моделі та ефективного регулювання технологічних параметрів трубопровідної системи. На основі результатів аналізу, можуть бути запропоновані виправлення та удосконалення моделі з метою досягнення стабільності, точності та оптимальної роботи процесу. Рештовною метою є розробка автоматизованої системи керування, яка базується на створеній моделі трубопровідної системи у програмі Aspen HYSYS. Матеріал розглядає необхідність удосконалення трубопровідних систем у контексті транспорту різних речовин. Він підкреслює важливість ефективності, безпеки та надійності цих систем у зв'язку з зростанням обсягів транспорту, дотриманням стандартів безпеки та вимогами екологічних норм. Дані дослідження направлені на ефективне управління технологічними процесами, використання автоматизованих систем контролю і керування для забезпечення оптимальних параметрів роботи системи. Враховуючи отримані динамічні характеристики і результати досліджень, такі системи можуть забезпечити ефективне регулювання технологічних параметрів трубопровідної системи. Загалом, цей матеріал підкреслює актуальність вдосконалення трубопровідних систем для забезпечення їх найвищої продуктивності, безпеки та стійкості. Моделювання та симуляція у Aspen HYSYS дозволяє проводити моделювання та симуляцію роботи системи з різними налаштуваннями та дає можливість виконувати віртуальні експерименти, досліджувати вплив змінних параметрів та оцінювати результати процесу.

**Ключові слова:** віртуальна модель трубопровідної системи; система автоматичного контролю і керування; Aspen HYSYS.

The paper examines the challenges of creating a virtual model of a pipeline system in Aspen HYSYS, taking into account physical parameters, components, technological processes, and constraints. The obtained dynamic characteristics of the model can be used to investigate the adequacy of the model and validate its behavior under real conditions. It is also necessary to study the sensitivity of the model to parameter changes and disturbances. The task is to ensure a high level of model adequacy and effective regulation of the technological parameters of the pipeline system. Based on the results of the analysis, improvements and enhancements to the model can be proposed to achieve stability, accuracy, and optimal process performance. The ultimate goal is the development of an automated control system based on the created model of the pipeline system in Aspen HYSYS. The material discusses the need for improving pipeline systems in the context of transporting various substances. It emphasizes the importance of efficiency, safety, and reliability of these systems in light of increasing transport volumes, compliance with safety standards, and environmental requirements. The material also highlights the role of efficient management of technological processes and the use of automated control and monitoring systems to ensure optimal operating parameters of the system. Considering the obtained dynamic characteristics and research results, such systems can provide effective regulation of the technological parameters of the pipeline system. Overall, this material underscores the relevance of enhancing pipeline systems to ensure their highest productivity, safety, and stability. Modeling and simulation in Aspen HYSYS allow for conducting simulations of the system's operation with various configurations and enable virtual experiments to investigate the impact of variable parameters and evaluate process outcomes.

**Keywords:** virtual model of a pipeline system; automated control and management system; Aspen HYSYS.

**Вступ.** Необхідність удосконалення трубопровідних систем обумовлена рядом факторів, що впливають на їх функціональність та надійність. Спостерігається постійне зростання обсягів транспортування різних речовин, включаючи нафту, газ та інші ресурси, яке ставить високі вимоги до потужності і пропускної здатності трубопроводів. Також необхідно враховувати різні умови експлуатації, такі як тиск, температура, склад транспортованих речовин, що вимагає розробки та впровадження нових технологій і матеріалів для покращення стійкості і безпеки трубопровідних систем.

Додатково, забезпечення ефективного управління трубопровідними системами має велике значення. Це включає розробку та впровадження автоматизованих систем контролю і керування, які дозволяють ефективно відслідковувати і регулювати різні параметри, такі як тиск, витрата, температура тощо. Покращення управління трубопровідними системами сприяє зниженню витрат, збільшенню ефективності та забезпеченню високої якості транспортування речовин.

Також, необхідність удосконалення трубопровідних систем обумовлена потребою відповідності вимогам стандартів безпеки та екологічних норм. Вдосконалення систем включає розробку та впровадження заходів для запобігання аваріям, витокам, забрудненню навколишнього середовища, а також ефективного виявлення і вирішення можливих проблем.

Всі ці аспекти підкреслюють необхідність постійного удосконалення трубопровідних систем з метою забезпечення їх оптимальної функціональності, ефективності і безпеки. Це означає постійне вдосконалення технологій, матеріалів та методів проектування, будівництва та експлуатації трубопроводів.

Удосконалення систем транспорту нафти і газу включає розробку більш точних і надійних методів прогнозування та моделювання гідравлічних і теплових процесів у трубопроводах, що дозволяє більш ефективно розраховувати оптимальні режими роботи. Також проводяться дослідження щодо впливу фізичних, хімічних і механічних факторів на деградацію матеріалів трубопроводів та розробка нових матеріалів з покращеними характеристиками стійкості і тривалості служби.

Одним з важливих аспектів удосконалення трубопровідних систем є розробка та впровадження систем автоматизованого керування, які дозволяють ефективно контролювати та регулювати режими роботи трубопроводів. Це включає використання передових технологій і алгоритмів керування, таких як системи ПД-регулювання, для забезпечення точного утримання потрібних параметрів, наприклад, тиску та температури у трубопроводі. Такі системи забезпечують стабільну і надійну роботу трубопровідної системи, покращують її ефективність та знижують ризик виникнення аварійних ситуацій.

**Метою даної роботи** є встановлення ефективного регулювання технологічних параметрів системи, таких як тиск, температура, витрата, забезпечення стабільності та точності процесу.

**Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій**

Оптимізація проектування нафто- та газопроводів є важливим процесом для забезпечення ефективного, безпечного і економічно вигідного транспортування нафти і газу [1, 2]. Цей процес включає в себе розрахунки, аналіз та врахування різних факторів, таких як географічні умови, властивості транспортованих речовин, обсяги поставок, економічні чинники та вимоги щодо безпеки та

нормативів [3, 4]. Під час оптимізації проектування нафто- та газопроводів використовуються різноманітні методи і підходи, включаючи математичне моделювання, розрахунки гідравлічних характеристик, вибір оптимального маршруту прокладання, визначення оптимальних параметрів трубопроводу (таких як діаметр, товщина стінки, матеріал), а також врахування факторів екологічної, соціальної та економічної природи [5, 6].

Метою оптимізації є досягнення максимальної продуктивності, ефективності і безпеки транспортування нафти і газу, зниження витрат і ризиків, а також використання доступних ресурсів інфраструктури з максимальною вигодою [7, 8]. Процес оптимізації проектування нафто- та газопроводів може включати дослідження, аналіз різних варіантів, врахування вимог нормативних документів та стандартів, а також оцінку економічної ефективності та стійкості проекту [9, 10].

**Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми** моделювання трубопровідних систем у Aspen HYSYS включає такі аспекти:

1. Розробка точних моделей гідравліки. Однією з ключових проблем у моделюванні трубопровідних систем є розробка точних моделей гідравлічних характеристик, які дозволять враховувати різноманітні фактори, такі як тертя, розширення, турбулентність тощо. Необхідно постійно вдосконалювати і точніші моделі, щоб забезпечити більш точні результати.

2. Урахування нестационарних процесів. Багато трубопровідних систем піддаються нестационарним процесам, таким як зміна температури, тиску, складу речовини тощо. Розв'язання цієї проблеми вимагає розробки адекватних моделей, які зможуть враховувати ці динамічні зміни та забезпечити достатню точність результатів.

3. Оптимізація процесу моделювання. Важливим аспектом є розробка ефективних алгоритмів та методів оптимізації для використання в Aspen HYSYS. Це включає розробку алгоритмів пошуку оптимальних параметрів трубопровідної системи, а також вдосконалення процесу моделювання для забезпечення швидкості обчислень та ефективного використання ресурсів.

4. Врахування різноманітних фізико-хімічних процесів. В деяких випадках, трубопровідні системи включають різноманітні фізико-хімічні процеси, такі як конденсація, кристалізація, реакції, поглинання тощо. Розробка моделей, які можуть враховувати ці процеси та їх взаємодію з гідравлікою системи, є одним з викликів у сфері моделювання трубопроводів.

**Формулювання цілей статті.** Задача полягає в дослідженні можливостей використання програми Aspen HYSYS для моделювання та аналізу трубопровідної системи з метою розробки автоматизованої системи керування. У контексті використання програми Aspen HYSYS, об'єктом дослідження є віртуальна модель трубопровідної системи, яка створюється та аналізується в програмі. Ця модель відтворює фізичні параметри та компоненти, технологічні процеси та обмеження реальної трубопровідної системи.

**Висвітлення основного матеріалу дослідження:** для досягнення вказаної мети забезпечення результатів, необхідно вирішувати наступні завдання:

1. Створення віртуальної моделі трубопровідної системи в програмі Aspen HYSYS, враховуючи фізичні параметри, компоненти, технологічні процеси та обмеження. Це включає встановлення топології трубопроводу, вибір матеріалів, визначення геометричних параметрів труб та інших елементів системи.

2. Налаштування технологічних параметрів в моделі, таких як тиск,

температура, витрата, концентрація. Це вимагає визначення початкових значень параметрів та встановлення правильних обмежень для забезпечення безпечної та ефективної роботи системи.

3. Розробка та налаштування блоків PID контролерів для регулювання технологічних параметрів системи. Це включає налагодження коефіцієнтів PID контролера, встановлення цілей регулювання та налаштування режимів роботи контролера для досягнення бажаних значень параметрів.

Необхідність удосконалення систем транспорту нафти і газу та інших речовин пояснюється кількома науковими аспектами [3]:

1. Ефективність. Розвиток технологій та наукових розробок ставить перед науковцями виклик забезпечити більш ефективну та оптимальну систему транспорту нафти і газу. Це означає максимізацію пропускну здатності трубопроводів, зниження енерговитрат, оптимізацію процесу перекачки та забезпечення ефективного використання ресурсів.

2. Надійність. Одним з ключових факторів є забезпечення надійності систем транспорту нафти і газу. Це включає у себе запобігання витокам, аварійним ситуаціям та забезпечення безперебійної роботи системи. Наукові дослідження допомагають вдосконалювати матеріали, технології контролю та системи моніторингу для забезпечення безпеки і надійності транспортних мереж.

3. Екологічна стійкість. Розвиток наукових знань дозволяє нам більш усвідомлено підходити до питань екологічної стійкості систем транспорту нафти і газу. Це включає використання екологічно чистих матеріалів, виявлення та запобігання забруднення навколишнього середовища, а також розробку ефективних методів очищення та реабілітації забруднених ділянок.

4. Енергоефективність. Системи транспорту нафти і газу потребують значних енергетичних витрат. Наукові дослідження спрямовані на розробку енергоефективних технологій та процесів, що дозволяють знижувати споживання енергії та покращувати енергетичну ефективність систем транспорту. Це може включати оптимізацію процесів перекачки, використання високоефективних насосів та компресорів, впровадження технологій когенерації, забезпечення оптимального режиму роботи системи та використання відновлюваних джерел енергії для зменшення впливу на довкілля та зниження витрат на енергію.

5. Технологічний розвиток. Наукові дослідження допомагають розвивати нові технології транспорту нафти і газу, які відповідають сучасним вимогам. Це включає використання передових матеріалів для трубопроводів, вдосконалення систем контролю та моніторингу, впровадження автоматизованих процесів та інтелектуальних систем управління.

6. Економічна ефективність. Удосконалення систем транспорту нафти і газу має на меті забезпечити економічну ефективність. Наукові дослідження спрямовані на зниження витрат, оптимізацію процесів, використання нових технологій та стратегій, що дозволяють покращити прибутковість та конкурентоспроможність систем транспорту.

7. Вимоги керованості. Системи транспорту нафти і газу повинні відповідати вимогам керованості, які стосуються безпеки, нормативних стандартів та екологічних обмежень. Наукові дослідження спрямовані на розробку технологій та практик, які дозволяють дотримуватися цих вимог і забезпечувати високий рівень виконання нормативів.

Всі ці аспекти потребують наукових досліджень, впровадження новітніх технологій та співпраці між науковими

установами, промисловими підприємствами та регуляторними органами. Результати наукових досліджень допомагають покращити ефективність, надійність, екологічну стійкість та економічну ефективність систем транспорту нафти і газу, що є важливими факторами для сталого розвитку енергетичної інфраструктури.

Автоматичні системи прокладання і проектування трубопроводів представляють собою технологічні рішення, спрямовані на автоматизацію процесу прокладання трубопроводів з метою забезпечення високої точності, ефективності та безпеки виконання робіт. Однією з головних переваг автоматичних систем прокладання трубопроводів є їх висока точність і узгодженість. Вони використовують сучасні технології, такі як глобальне позиціонування (GPS) для точного визначення траси прокладання. Це сприяє уникненню відхилень від проектних параметрів траси та забезпечує високу геометричну точність. Крім того, автоматичні системи прокладання трубопроводів забезпечують зменшення часу і затрат. Їх використання дозволяє прискорити процес прокладання і проектування трубопроводів і знизити витрати робочої сили. Це призводить до економії часу та ресурсів і сприяє ефективному виконанню проектів.

Безпека є ще однією важливою перевагою автоматичних систем прокладання трубопроводів. Вони дозволяють виконувати роботи на безпечній відстані від небезпечних зон та забезпечують контроль над процесом прокладання. Це зменшує ризик виникнення аварійних ситуацій та пошкоджень трубопроводів і сприяє забезпеченню безпеки персоналу та довкілля [5].

Автоматичні системи прокладання і проектування трубопроводів також сприяють мінімізації впливу на довкілля. Вони дозволяють точно визначити

оптимальні траси, уникати чутливих екологічних об'єктів, зменшувати розкопки та земляні роботи. Це сприяє збереженню природних ресурсів, зменшенню руйнування природних екосистем і забезпеченню сталого розвитку.

У результаті, автоматичні системи прокладання і проектування трубопроводів є важливими інноваціями в галузі транспорту нафти і газу. Вони сприяють покращенню точності, ефективності та безпеки робіт, зменшують вплив на довкілля та сприяють використанню передових технологій. Впровадження таких систем допомагає забезпечити стале розвиток галузі та забезпечити надійний і безпечний транспорт нафти і газу. Дослідження та розробки в цій області включають в себе пошук нових методів та технологій, які можуть забезпечити ефективно та екологічно безпечно прокладання трубопроводів.

Одним з ключових аспектів удосконалення систем транспорту нафти і газу є забезпечення безпеки. Автоматичні системи прокладання трубопроводів можуть відігравати важливу роль у зниженні ризиків, пов'язаних з аваріями та витокami, шляхом автоматизації процесів та впровадження надійних систем моніторингу та контролю. Це включає в себе використання датчиків, систем виявлення витоків, автоматичного керування та аналізу даних для реагування на потенційні небезпеки та запобігання аваріям.

Другим аспектом удосконалення систем є збільшення ефективності транспорту нафти і газу. Це можна досягти шляхом використання передових технологій та інноваційних матеріалів, які забезпечують зменшення опору та втрат енергії в трубопроводах. Впровадження автоматичних систем прокладання трубопроводів також може сприяти оптимізації трас, зменшенню кількості необхідних розкопок та земляних робіт, а також управлінню режимами експлуатації з

метою забезпечення оптимальної продуктивності та ефективності.

Необхідність удосконалення систем транспорту нафти і газу також обумовлена вимогами сталого розвитку та збереження природних ресурсів. Автоматичні системи прокладання трубопроводів можуть допомогти уникнути прокладання трас через чутливі екологічні зони, забезпечуючи мінімальний вплив на природні екосистеми. Вони дозволяють точно визначити оптимальні траси, уникнути руйнування природних об'єктів та забезпечити збереження різноманіття природи. Крім того, автоматичні системи прокладання трубопроводів можуть впроваджувати нові технології, які зменшують втрати та витрати енергії, сприяють зменшенню викидів шкідливих речовин і мінімізують вплив на кліматичні зміни.

Удосконалення систем транспорту нафти і газу також вимагає врахування соціально-економічних аспектів. Автоматичні системи прокладання трубопроводів можуть сприяти зниженню витрат на робочу силу та скороченню часу виконання проектів, що позитивно впливає на економічну ефективність. Вони також забезпечують надійність транспортування нафти і газу, зменшуючи ризик аварій та втрати продукції, що має значення для енергетичної безпеки та стабільності постачання.

Отже, удосконалення систем транспорту нафти і газу шляхом впровадження автоматичних систем прокладання трубопроводів є необхідним кроком у напрямку покращення ефективності, безпеки, сталості та екологічної придатності. Вони поєднують наукові розробки, передові технології та інженерні рішення для досягнення цих цілей. Впровадження таких систем сприятиме сталому розвитку галузі та задоволенню потреб сучасного суспільства у безпечному та ефективному транспорті нафти, газу та інших речовин [6].

Створення моделі трубопровідної системи для вивчення її статичних і динамічних властивостей є важливою необхідністю з точки зору аналізу, проектування та оптимізації таких систем. Модель трубопровідної системи є абстрактним представленням реальної фізичної системи, що дозволяє досліджувати її різні аспекти та властивості у контрольованому середовищі.

Перш за все, модель трубопровідної системи дозволяє вивчати статичні властивості системи. Це включає аналіз розподілу тиску, швидкості та потоків речовин у системі при різних режимах роботи. Модель може враховувати параметри трубопроводів, насосів, клапанів, регуляторів тиску та інших компонентів, а також умови навколишнього середовища. Це дозволяє оцінити ефективність системи, знайти можливі проблеми та визначити оптимальні параметри для досягнення потрібних показників продуктивності [7].

Другим аспектом є дослідження динамічних властивостей трубопровідної системи. Модель може враховувати вплив зовнішніх факторів, таких як перехідні процеси, зміна тиску або витрати, а також реакцію системи на зміни внутрішніх параметрів. Це дозволяє аналізувати динаміку системи, виявляти резонансні явища, коливання, перепади тиску та інші динамічні явища. Такі дослідження дозволяють покращити стійкість системи до змін та виявити можливі проблеми, що можуть виникнути при зміні умов експлуатації. Створення моделі трубопровідної системи для вивчення статичних і динамічних властивостей також є корисним інструментом для вирішення проблем з проектування, вдосконалення та оптимізації системи. Модель може служити для виконання різних сценаріїв, дослідження впливу змінних параметрів, виявлення слабких місць та визначення оптимальних рішень.

Подальший аналіз статичних і динамічних властивостей трубопроводної системи допомагає зрозуміти її поведінку при різних умовах та сприяє покращенню якості та надійності системи. Наприклад, можна вивчити вплив зміни діаметру трубопроводів, розташування компонентів, налаштування регуляторів, щоб знайти оптимальний баланс між продуктивністю, витратами та енергоефективністю. Також можна аналізувати вплив різних факторів, таких як розширення або скорочення системи, зміна температури, для оцінки їх впливу на здатність системи до адаптації та стійкості. Усі ці дослідження та аналізи, проведені на основі моделі трубопроводної системи, дозволяють отримати цінну інформацію, яка допомагає уникнути проблем при фізичному впровадженні системи, вдосконалити її дизайн та оптимізувати параметри експлуатації. Це дозволяє зекономити час, кошти та ресурси, а також забезпечити більш ефективне, безпечне та стійке функціонування трубопроводної системи на практиці [8, 9].

Створення моделі трубопроводної системи дозволяє аналізувати статичні властивості, такі як розподіл тиску, швидкості та витрат речовин у системі. Це дозволяє визначити оптимальну конфігурацію системи, встановити оптимальні параметри трубопроводів, насосів, клапанів та інших компонентів. Також можна дослідити вплив різних

чинників, таких як розташування, геометрія труб, наявність перешкод, на роботу системи і виявити можливі проблеми або зони перевантаження.

Створення моделі трубопроводу у програмі Aspen HYSYS використовується для детального аналізу та моделювання транспорту різних речовин через трубопроводну систему. Цей процес включає кроки по визначенню компонентів системи, розміщенню трубопроводів, встановленню параметрів, проведенню симуляції та аналізу результатів.

Першим кроком є визначення компонентів системи, які можуть включати різні речовини, такі як рідини, гази або суміші. Кожен компонент має встановлені властивості, такі як температура кипіння, тиск насиченості, фізичні властивості та термодинамічні параметри. Ці дані використовуються для створення реалістичної моделі системи. Після визначення компонентів проводиться розміщення трубопроводів у програмі Aspen HYSYS. Встановлюються параметри трубопроводів, такі як довжина, діаметр, матеріал труб та характеристики розгалужень або з'єднань. Також встановлюються умови роботи, такі як тиск на початку та кінці трубопроводу, температура, режими роботи та потужність насосів (рис. 1).

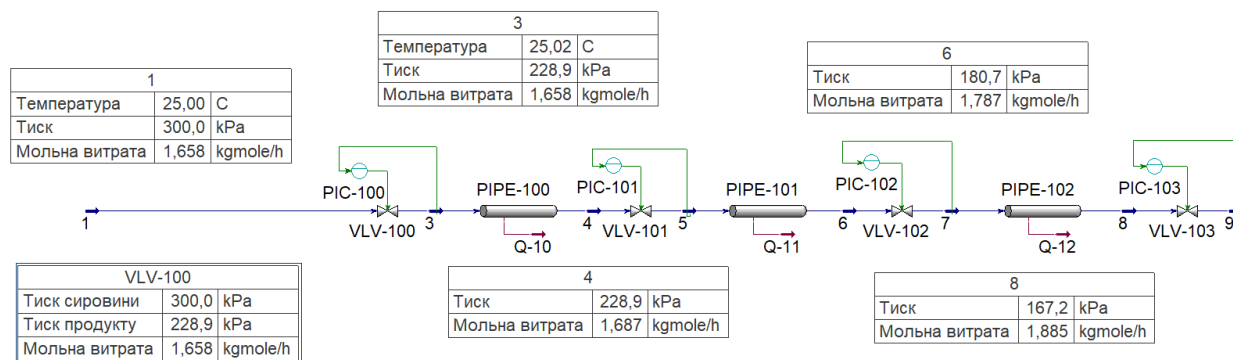


Рисунок 1 – Модель трубопроводної системи у програмі Aspen HYSYS

Після встановлення параметрів проводиться симуляція моделі. У програмі Aspen HYSYS використовуються різні математичні моделі та алгоритми для вирішення рівнянь масопередачі, енергобалансу та інших процесів, що відбуваються в системі. За допомогою цих моделей програма розраховує фізичні властивості речовин, тиски, швидкості потоків, температури та інші параметри вздовж трубопроводу.

Для розрахунку основних параметрів трубопровідної системи використовується модель Пенг-Робінсона (Peng-Robinson) яка є одною з найпопулярніших емпіричних математичних моделей розрахунку фазового рівноваги та властивостей рідин і газів. Вона використовується в хімічній та нафтогазовій промисловості для опису поведінки змішаних речовин, зокрема речовин, що зустрічаються в системах нафти та газу.

Модель Пенг-Робінсон базується на рівнянні стану для змішаних речовин, яке враховує взаємодію між молекулами та інтермолекулярні силові поля. Вона використовує параметри критичної температури, критичного тиску та фактору ацентричності, щоб описати поведінку речовини при різних температурах та тисках. Вона також забезпечує опис фазових рівноваг, таких як тиск насиченої пари, коефіцієнт компресії, об'ємну поведінку та коефіцієнти розподілу між фазами. Вона також використовується для визначення фізичних властивостей речовин, таких як теплоємність, теплопровідність, в'язкість та інші, що є важливими при проектуванні та експлуатації нафтових і газових систем.

Модель дозволяє проводити розрахунки фазових рівноваг та властивостей рідин і газів в широкому діапазоні температур та тисків, що робить її цінним інструментом для моделювання та проектування процесів у нафтогазовій промисловості. Вона допомагає визначити оптимальні умови експлуатації та планувати

оптимальні параметри для різних проектів, включаючи проектування та оптимізацію трубопровідних систем, процесів зберігання та транспортування нафти та газу.

Використання моделі Пенг-Робінсон [11] допомагає виявити вплив різних факторів, таких як температура, тиск, склад речовини, на фазову рівновагу та властивості речовини. Це дозволяє зрозуміти та прогнозувати поведінку речовин в різних умовах, спрощує проектування та оптимізацію систем, покращує ефективність процесів та сприяє прийняттю інформованих рішень у нафтогазовій промисловості.

У своєму термічному вигляді рівняння зводиться до формулювання

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(v-b)+b(v-b)} \quad (1)$$

та в поліноміальній (кубічній) формі широко використовується у практиці:

$$Z^3 + (B-1)Z^2 + (A-2B-3B^3)Z + (B^2+B^3-AB)=0. \quad (2)$$

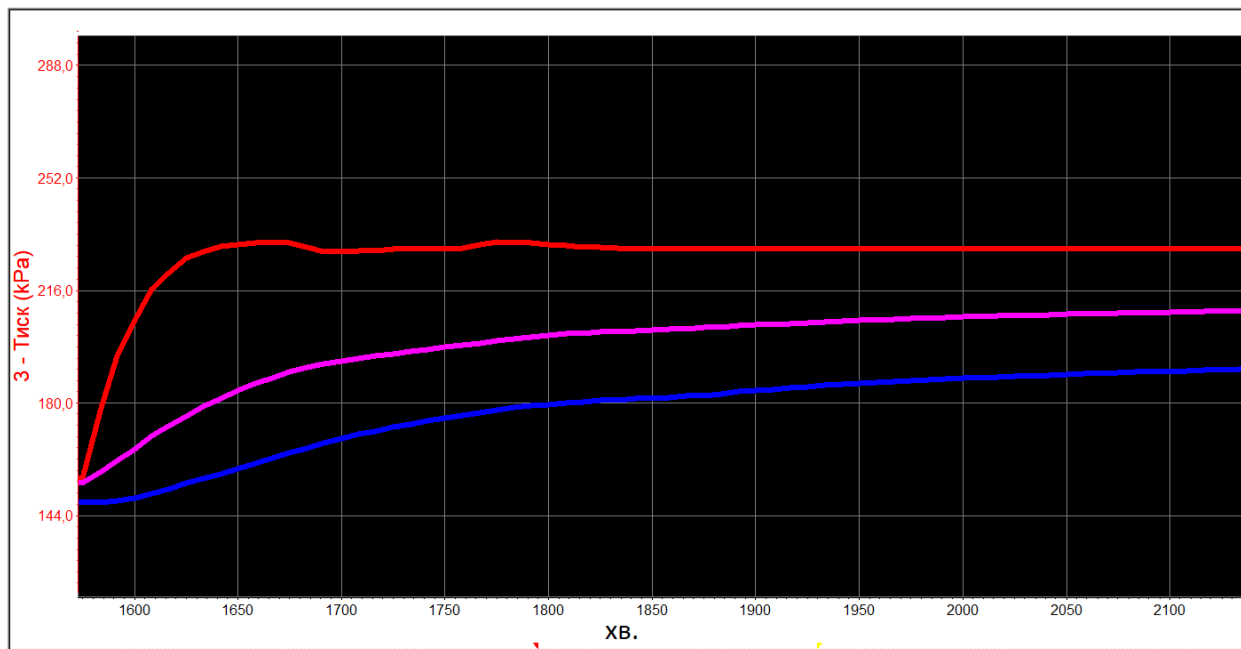
Тут  $P$  – тиск, Па;  $T$  – температура, К;  $v$  – молярний об'єм, м<sup>3</sup>/моль;  $R$  - універсальна газова постійна, Дж/(моль К);  $A$ ,  $B$  – коефіцієнти рівняння;  $a$ ,  $b$  – коефіцієнти рівнянь вандерваальсовського типу, м<sup>3</sup>/моль;  $Z$  – коефіцієнт стисливості.

Після завершення симуляції можна провести аналіз результатів моделі. Це може включати перегляд профілі тисків, температур, швидкостей та інших параметрів вздовж трубопроводу, виявлення зон перевантаження або зменшення тиску, аналіз розподілу компонентів у системі та їх зміну з часом (рис. 2). Крім того, можна вивчити ефективність системи, шляхом визначення коефіцієнтів перетину труб, споживання енергії та інших параметрів.

Програма Aspen HYSYS також дозволяє проводити різноманітні сценарії та випробування для визначення впливу різних факторів на роботу трубопроводу. Це може включати зміну параметрів тиску, температури, витрати речовини або введення різних режимів роботи. Такі



сценарії дозволяють виявити потенційні проблеми, здійснити оптимізацію та встановити оптимальні параметри для досягнення найкращої ефективності системи.



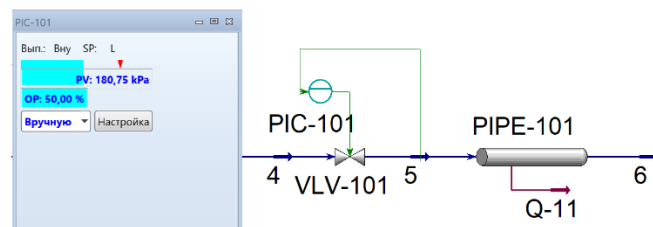
**Рисунок 2 – Результат моделювання зміни тисків у трубопровідній системі**

Розроблена у модель може забезпечити регулювання технологічними параметрами за допомогою блоку PID контролера. Цей елемент використовується для автоматичного керування та регулювання процесу, шляхом зміни значень вхідних сигналів. Також можливе і ручне керування. Блоки PID контролерів підключені до ділянок трубопроводів PIPE-100, PIPE-101, PIPE-102, та здійснюють регулювання технологічних параметрів (рис. 3).

Блоки PID контролерів у Aspen HYSYS можна налаштовувати, аналізувати їх вплив на процес, встановлювати коефіцієнти складових (P, I, D) та інші параметри для досягнення оптимального моделювання та регулювання технологічних параметрів відповідно до реальних динамічних перехідних характеристик.

Узагальнюючи, створення моделі трубопровідної системи в програмі Aspen HYSYS дозволяє провести детальний аналіз

та моделювання різних аспектів системи, включаючи розподіл тиску, швидкостей та витрат речовин, ефективність роботи, вплив зовнішніх факторів та проведення різноманітних сценаріїв. Це допомагає вдосконалити трубопровідну систему, забезпечити її надійну та безпечну роботу, а також знайти оптимальні рішення для поліпшення продуктивності та ефективності (рис. 4).



**Рисунок 3 – Реалізація регулювання тиску у трубопровідній системі блоком PID контролера (PIC-101)**

Отримані динамічні характеристики можуть бути використані для дослідження адекватності моделі трубопровідної

системи. Ці характеристики відображають поведінку системи в часі та дозволяють зрозуміти, наскільки точно модель відтворює реальний процес.

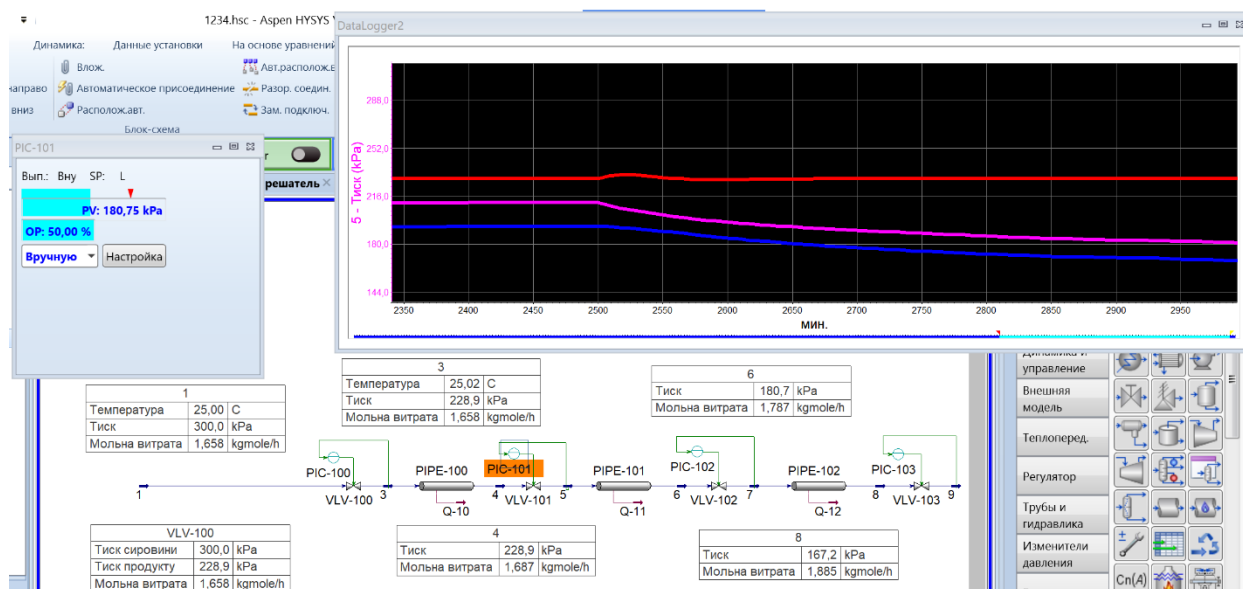


Рисунок 4 – Результат моделювання зміни тисків у трубопровідній системі

Для дослідження адекватності моделі можуть бути використані такі підходи:

1. Порівняння експериментальних та модельних даних. Отримані динамічні характеристики можна порівняти з експериментально вимірними даними. Якщо модель добре узгоджується з експериментальними даними, це свідчить про адекватність моделі. Важливо порівнювати не лише загальні тренди, але й деталі процесу, такі як часові затримки, амплітуди коливань та інші параметри.

2. Перевірка моделі за допомогою реальних умов. Динамічні характеристики моделі можуть бути перевірені за допомогою реальних умов експлуатації системи. Це може включати зміну вхідних параметрів, випробування системи на різних навантаженнях або проведення імітаційних експериментів. Якщо модель успішно відтворює реакцію системи на реальні умови, це підтверджує її адекватність.

3. Чутливість моделі до параметрів та збурень. Дослідження чутливості моделі до зміни параметрів та збурень може також

допомогти оцінити її адекватність. Якщо модель показує очікувану реакцію на зміни параметрів та збурень, це може свідчити про її правильну конфігурацію та адекватність.

4. Використання аналізу помилок. Аналіз помилок моделі, таких як помилка прогнозування або помилка апроксимації, може також допомогти оцінити адекватність моделі. Якщо помилки моделі є низькими і несистематичними, це може свідчити про високу адекватність моделі. Однак, систематичні помилки можуть вказувати на потребу вдосконалення моделі.

В цілому, отримані динамічні характеристики дозволяють оцінити адекватність моделі трубопровідної системи (рис. 1.5). Це важливий етап у розробці автоматизованих систем керування, оскільки точна модель системи дозволяє ефективно регулювати технологічні параметри та забезпечувати оптимальну роботу процесу. При необхідності, на основі результатів аналізу можуть бути внесені виправлення та удосконалення в модель з метою підвищення її адекватності.

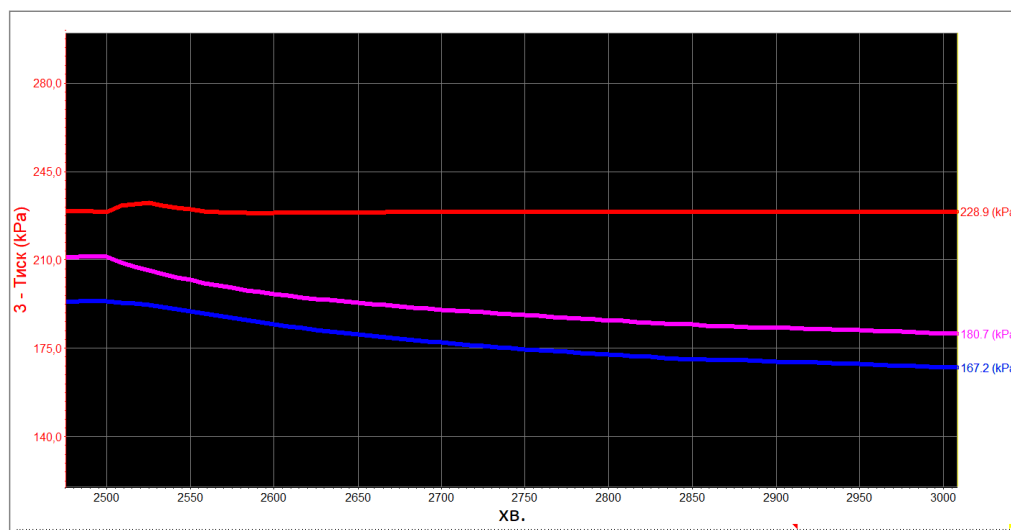


Рисунок 5 – Результат моделювання зміни тисків у трубопровідній системі при ручному регулюванні регулятором VLV-101

Отже, створення моделі трубопровідної системи для вивчення її статичних і динамічних властивостей є необхідним етапом у розвитку трубопровідної інфраструктури. Це дозволяє детально вивчити різні аспекти системи, враховуючи різноманітні фактори та умови експлуатації. Крім того, модель трубопровідної системи дозволяє аналізувати динамічні властивості системи. Це включає дослідження реакції системи на зміну тиску, витрати, температури та інших факторів у реальному часі. Можна вивчити динаміку перехідних процесів, коливання, резонансні явища та їх вплив на ефективність та безпеку системи. Це дозволяє встановити оптимальні параметри регуляторів, амортизаторів та інших компонентів для забезпечення стійкої роботи системи при змінних умовах.

Створення моделі трубопровідної системи також дозволяє провести різноманітні сценарії та випробування, що допомагає виявити проблеми та ризики експлуатації системи. Модель може служити для виявлення слабких місць, прогнозування впливу зовнішніх факторів, таких як природні стихії, технічні неполадки або навмисні втручання. Це

дозволяє ідентифікувати потенційні проблеми та прийняти відповідні заходи безпеки для запобігання аварійних ситуацій та забезпечення надійності та безпеки експлуатації.

### Висновки

Створення моделі трубопровідної системи у програмі Aspen HYSYS може відігравати важливу роль у розробці системи автоматизованого керування. Можна виділити такі основні аспекти за якими ця модель може сприяти розробці автоматизованої системи керування:

1. Моделювання процесу. Модель трубопровідної системи дозволяє відтворити реальні умови та процеси, що відбуваються у системі. Вона дозволяє дослідити різні сценарії роботи системи, включаючи різні параметри та умови, і визначити оптимальні режими роботи. Це допомагає розробити стратегії керування та встановити критерії для автоматизованої системи.

2. Оптимізація процесу. Модель може використовуватися для оптимізації процесу та підвищення його ефективності. За допомогою оптимізаційних алгоритмів, знаходяться оптимальні параметри та

налаштування системи керування для досягнення бажаних результатів, таких як максимізація продуктивності, мінімізація споживання енергії або зниження витрат.

3. Перевірка стратегій керування. Модель трубопровідної системи може бути використана для перевірки стратегій керування, перевірки їх працездатності та надійності.

4. Розробка алгоритмів керування. Модель може послужити основою для розробки алгоритмів керування, таких як ПД-регулятори, оптимальні алгоритми керування або алгоритми передачі величини. Використовуючи дані з моделі, можна розробити та перевірити різні стратегії керування для досягнення бажаних цілей, таких як стабілізація тиску, підтримка оптимального режиму роботи, зменшення впливу збурень і т.д.

5. Тестування та налагодження. Модель трубопровідної системи може бути використана для тестування та налагодження розроблених алгоритмів керування. Це дозволяє перевірити працездатність та ефективність алгоритмів перед їх впровадженням у реальну систему. Модель дозволяє проводити віртуальні експерименти з різними сценаріями та умовами, що допомагає виявити та виправити можливі проблеми та недоліки алгоритмів.

6. Оптиміальне керування та реалізація. З використанням моделі трубопровідної системи у Aspen HYSYS можна розробити оптимальну систему керування, яка враховує різні фактори, такі як режими роботи, обмеження, цілі та вимоги. Модель дозволяє виконувати реалістичні симуляції та тестування системи керування перед її реалізацією в реальному середовищі.

Sciences: Collected scientific works. Rivne: NUVGP, 2014. Issue 4 (68). P. 22-28.

2. Hultmark M., Vallikivi M., Bailey S. C. C., Smits A.J. Logarithmic scaling of turbulence in smooth- and rough-wall pipe flow. *Journal of Fluid Mechanics*. 2013. Vol. 728, P. 376-395.

3. Mahsakazemi. Optimization of Oil and Gas Multi Stage Separators Pressure to Increase Stock Tank Oil. *Oriental J. of Chemistry*. 2011. Vol. 27. № 4. P. 1503–1508.

4. Bi K., Hao H. Using pipe-in-pipe systems for subsea pipeline vibration control. *Engineering Structures*. 2016. Vol. 109, p. 75-84.

5. Brown N.J., Bastien L.A.J., Price P.N. Transport properties for combustion modeling. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2011. Vol. 37, p. 565–582.

6. Inverse Space Marching Method for Determining Temperature and Stress Distributions in Pressure Components/ J. Taler [et al.]. *Developments in Heat Transfer*. – Rijeka, Croatia. 2011. P. 273–292.

7. Amathematical model for evaluation the efficiency of gas-main pipelines in transient operational modes/ V. Chekurin, Yu. Ponomaryov, O. Khymko. *An international quarterly journal*. 2015. Vol. 4, № 3. P. 25–32.

8. HYSYS Simulation Basis. Aspen Technology, Inc., 2005. 527 p.

9. HYSYS User Guide. Aspen Technology, Inc., 2005. 533 p.

10. Kou J., Sun S. Unconditionally stable methods for simulating multi component two-phase interface models with Peng-Robinson equation of state and various boundary conditions. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2016. Vol. 291. P. 158–182.

### References

1. Gerasimov G.G., Gerasimov Ye.G., Ivanov S.Yu. Determination of the basic parameters of pressure stabilizers by analytical method. *Visnyk NUVGP. Ser. Technical*