

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра нафтогазової інженерії та технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр
Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри НГІТ

“14” 01 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Назарко Діані Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження впливу хвиль тиску на роботу нафтоперекачувальних станцій та нафтопроводів

Керівник роботи Забишний Іван Вікторович, старший викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “09” серпня 2024 року № 818-Ф

2. Строк подання студентом роботи 14-01 2025 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Науково-технічна література, періодичні видання, патенти на винаходи. 2. Геологічні звіти за профілем роботи (за необхідності). 3. Проекти розробки родовищ, технологічні схеми облаштування родовищ або інші технологічні схеми за профілем роботи. 4. Паспорти свердловин та обладнання, що експлуатується.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1 Інформаційно-оглядова частина.

2. Теоретична частина.



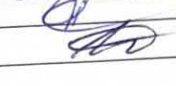
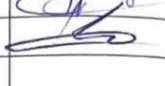
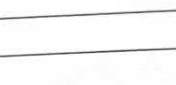
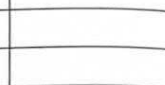
3. Моделювання. Експериментальна частина (за необхідності).

4. Впровадження результатів досліджень. Висновки по роботі.

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація із демонстрацією результатів наукової роботи, вказати мету роботи, задачі, практичну та наукову новизну та/або цінність, методи (технології) дослідження, аналіз сучасного стану теорії і практики в області захисту нафтоперекачувальних станцій та магістральних нафтопроводів від хвиль тиску, переоснащення нафтоперекачувальної станції для захисту від гідродудару, дослідження вибору параметрів системи згладжування хвиль тиску, загальні висновки по роботі.

6. Консультанти розділів роботи

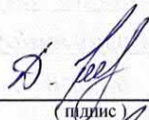
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Дмитренко В. Т. доцент		
2	Герасенко М. М.		
3	Жестеренко Т. М., доцент		

7. Дата видачі завдання 14.10.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Етапи підготовки	Термін виконання
1	Інформаційно-оглядова частина	14.10-20.10
2	Теоретична частина	21.10-03.11
3	Моделювання. Експериментальна частина.	04.11-17.11
4	Впровадження результатів досліджень	18.11-15.12
5	Оформлення та узгодження роботи	16.12-29.12
6	Попередні захисти робіт	06.01-19.01
7	Захист магістерської роботи	20.01-24.01

Студент


 (підпис)

Назарко Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


 (підпис)

Забишний І.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Магістерська робота на тему: «Дослідження впливу хвиль тиску на роботу нафтоперекачувальних станцій та нафтопроводів».

Магістерська робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю 185 «Нафтогазова інженерія та технології». – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024.

Магістерська робота присвячена дослідженню впливу хвиль тиску на роботу нафтоперекачувальних станцій та магістральних нафтопроводів, а також розробці заходів для запобігання аварійним ситуаціям, спричиненим гідравлічним ударом.

Магістерська робота складається з трьох частин. У першому розділі виконано аналіз сучасного стану теорії та практики в галузі захисту нафтоперекачувальних станцій і трубопроводів. Розглянуто основні технологічні операції, які можуть викликати хвилю тиску, зокрема швидке закриття засувки, запуск і зупинка насосних агрегатів, спрацювання зворотних клапанів. Проаналізовано сучасні способи зменшення надмірного навантаження тиском, такі як встановлення демпфуючих пристроїв, гідропневматичних акумуляторів, систем автоматичного регулювання тощо.

У другому розділі проведено аналіз технологічної схеми нафтоперекачувальної станції та визначено параметри хвиль тиску, що виникають під час роботи станції. Описано систему згладжування хвиль тиску, її склад та принцип дії, спрямований на зменшення ризиків, пов'язаних із гідравлічним ударом.

Третій розділ присвячений математичному моделюванню роботи системи згладжування хвиль тиску. Запропоновано рівняння, що описують її роботу, та виконано дослідження параметрів, необхідних для ефективного згладжування хвиль. Результати моделювання дозволили вибрати оптимальні параметри для нафтоперекачувальних станцій.

Ключові слова: хвиля тиску, гідравлічний удар, нафтоперекачувальна станція, магістральний нафтопровід, система згладжування хвиль тиску.

Зміст

Вступ	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ В ОБЛАСТІ ЗАХИСТУ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ ТА МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВІДІВ ВІД ХВИЛЬ ТИСКУ.....	8
1.1 Огляд і коротка характеристика технологічних операцій, які можуть викликати хвилю тиску в нафтопроводі та на нафтоперекачувальній станції.....	8
1.1.1 Швидке закриття засувки на напірній лінії станції.....	9
1.1.2 Запуск та зупинення насосних агрегатів	14
1.1.3 Спрацювання зворотних клапанів.....	16
1.2 Аналіз досліджень неусталених процесів у трубопроводах для перекачування рідин.....	18
1.3 Огляд та аналіз сучасних способів запобігання надмірним навантаженням по тиску в нафтопроводах та на нафтоперекачувальних станціях	23
1.3.1 Забезпечення плавної зміни витрати в нафтоперекачувальній системі.....	23
1.3.2 Встановлення гідропневматичних акумуляторів	24
1.3.3 Встановлення демпфуючих пристроїв та стабілізаторів тиску	26
1.3.4 Створення зустрічної хвилі зниженого тиску.....	28
1.3.5 Використання системи автоматичного регулювання тиску нафтоперекачувальної станції	29
1.3.6 Запобіжні клапани пружинного типу	31
1.4 Висновки з першого розділу.....	32
РОЗДІЛ 2 ПЕРЕОСНАЩЕННЯ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ГІДРОУДАРУ	34
2.1 Опис технологічної схеми нафтоперекачуючої станції.....	34

2.2	Визначення величини та швидкості поширення гідравлічної ударної хвилі на нафтоперекачувальній станції.....	36
2.3	Призначення системи згладжування хвиль тиску.....	42
2.4	Склад системи згладжування хвиль тиску.....	44
2.5	Принцип дії системи згладжування хвиль тиску.....	46
2.6	Висновки з другого розділу.....	48
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ		
ЗГЛАДЖУВАННЯ ХВИЛЬ ТИСКУ.....		
3.1	Рівняння, що описують роботу системи згладжування хвиль тиску.	50
3.2	Дослідження вибору параметрів системи згладжування хвиль тиску	53
3.3	Висновки з третього розділу.....	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....		
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....		
		71

Вступ

Актуальність теми роботи. Нафтоперекачувальні станції та нафтопроводи є критично важливими об'єктами інфраструктури, які забезпечують транспортування енергоресурсів і стабільне функціонування економіки. В умовах сучасних реалій, зокрема воєнних дій, ризики аварійних ситуацій значно зростають. Вплив хвиль тиску на роботу нафтотранспортних систем у таких обставинах може бути особливо небезпечним, оскільки вони здатні викликати гідродари, пошкодження трубопроводів і обладнання, а також значні втрати енергоресурсів.

З огляду на значні екологічні та економічні наслідки можливих аварій у нафтопроводах та на нафтоперекачувальних станціях, дослідження впливу хвиль тиску дозволяє розробити рекомендації для підвищення надійності їхньої роботи.

Таким чином, дана робота є важливою для забезпечення стабільної роботи нафтотранспортних систем, підвищення їхньої безпеки, зменшення ризиків аварій та мінімізації шкоди довкіллю.

Мета роботи. Дослідження впливу хвиль тиску на роботу нафтоперекачувальних станцій і нафтопроводів в умовах підвищених ризиків аварійних ситуацій, для розробки рекомендацій щодо підвищення надійності та безпеки їх функціонування.

Методи дослідження:

- теоретичний аналіз процесів виникнення та розвитку хвиль тиску в трубопроводах та на нафтоперекачувальних станціях;
- математичне моделювання гідравлічних процесів при перекачуванні нафти;
- методики прогнозування ризиків аварій та рекомендації з попередження гідродарів при перекачуванні нафти.

Основні завдання досліджень:

- вивчити механізм формування хвиль тиску в нафтопроводах і їх вплив на роботу обладнання;

- вивчити засоби боротьби та попередження гідроударів під час перекачування нафти;
- розробити рекомендації щодо зменшення впливу хвиль тиску на обладнання нафтоперекачувальних станцій та нафтопроводів;
- розробити заходи з підвищення надійності нафтотранспортних систем

Об'єкт дослідження – процеси виникнення і розвитку хвиль тиску в магістральних нафтопроводах та їх вплив на роботу нафтоперекачувальних станцій.

Предмет дослідження - закономірності впливу параметрів хвиль тиску на працездатність обладнання нафтоперекачувальних станцій і магістральних нафтопроводів.

Наукова новизна – виявлено критичні параметри, що визначають руйнівний вплив хвиль тиску в умовах підвищеного ризику при перекручуванні нафти.

Практичне значення:

- розроблено рекомендації для зменшення негативного впливу гідроударів на нафтоперекачувальне обладнання при аварійних та штатних ситуаціях;
- запропоновані рекомендації можуть бути використані для модернізації нафтоперекачувальних станцій і трубопроводів з метою підвищення їх стійкості до хвиль тиску.

Особистий внесок автора:

- проведено аналіз літератури та аварійних ситуацій, пов'язаних із виникненням хвиль тиску;
- запропоновано заходи щодо підвищення надійності експлуатації обладнання нафтоперекачувальних станцій та нафтопроводів.

Структура та об'єм роботи. Магістерська робота складається з вступу, 3 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел.

Магістерська робота виконана на кафедрі нафтогазової інженерії та технологій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ В ОБЛАСТІ ЗАХИСТУ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ ТА МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВІДІВ ВІД ХВИЛЬ ТИСКУ

1.1 Огляд і коротка характеристика технологічних операцій, які можуть викликати хвилю тиску в нафтопроводі та на нафтоперекачувальній станції

Хвиля тиску є різкою зміною тиску в трубопроводі, що виникає в результаті зміни витрати. Виникла хвиля тиску поширюється трубопроводом зі швидкістю від 335 м/с до 1372 м/с [1,2].

Для стисливих рідин і рідин, що містять розчинений у них газ, відповідають менші значення швидкості поширення хвиль тиску. І навпаки, що більш стисливе середовище, то з більшими швидкостями поширюються хвилі тиску в трубопроводі. У разі хвилі ударного тиску у магістральному нафтопроводі (МН), яким перекачується середньостатистична сира нафта, хвиля тиску поширюється зі швидкістю близько 1000 м/с [3].

Можливі наслідки від хвиль тиску, що виникають у системі «нафтоперекачувальна станція – магістральний нафтопровід» («НПС – МН»):

пошкодження та руйнування основного обладнання нафтоперекачувальних станцій (НПС);

втомне руйнування труб, що призводить до порушення цілісності зварних швів або утворення поздовжніх тріщин;

осьове роз'єднання фланцевих з'єднань;

серйозні пошкодження основних елементів трубопроводів, включаючи опори та підвіски для трубопроводів при наземному та надземному способах прокладання (включаючи трубопроводи на території НПС);

порушення співвісності насосів та електромеханічних приводів;

пошкодження інших компонентів трубопроводів, таких як наливні рукави, шланги, фільтри, сільфони і т.п.

До основного обладнання НПС, яке може бути пошкоджено при проходженні хвиль тиску, відносять:

блок регуляторів тиску (БРТ);

блок фільтрів-грязевловлювачів (БФГ);

вихідний колектор магістральної насосної;

відсікаючі та агрегатні засувки;

зворотні клапани;

нафтоперекачувальні насосні агрегати (НА).

Причинами виникнення хвиль тиску у магістральних нафтопроводах можуть бути такі обставини:

швидке закриття та відкриття відсікових та агрегатних засувок, включаючи засувки з електромеханічним приводом;

запуск та зупинка магістральних насосних агрегатів;

спрацювання зворотних клапанів у напірних лініях магістральних насосних агрегатів;

зміна величини відбору продукту із магістрального нафтопроводу;

включення та відключення технологічних вузлів магістрального нафтопроводу. Основні причини виникнення хвиль тиску МН, а також супутні процеси, більш докладно описані нижче.

1.1.1 Швидке закриття засувок на напірній лінії станції

Швидким вважається час закриття, який менше часу пробігу хвилею тиску ділянкою нафтопроводу від засувки до нафтоперекачуючої станції і назад. Час подвійного пробігу хвилі ділянкою нафтопроводу називається фазою хвилі гідроудару, час проходження чотириразової довжини трубопроводу називається періодом хвилі гідроудару.

Опис виникнення та розповсюдження хвилі тиску в нафтопроводі при закритті засувки ґрунтується на класичному викладі аналогічного процесу в трубопроводі, що перекачує рідину з резервуара під гідростатичним тиском, але адаптовано до наявності насосної станції на магістральній лінії.

Коли засувка в певному перерізі трубопроводу закривається, шар нафти, що примикає, вгору за течією миттєво приходить у стан спокою і є причиною підвищення тиску. Це викликає розширення секції труби, що містить шар нафти, та стиснення нафти у цьому шарі. Шар нафти, розташований безпосередньо перед шаром, який вже перебуває у спокої, буде зупинено трохи пізніше. Затримка у часі забезпечує можливість руху вперед другого шару ще деякий час, щоб зайняти місце, що з'явилося через розширення труби та стиснення нафти першого шару [3], [7]. Третій шар нафти буде приведений у стан спокою за аналогією з першим та другим шарами.

Втрачена кількість руху через вплив другого шару викликає підвищення тиску, як у першому і другому шарах. Оскільки перший і другий шари не можуть відтягнутися від закритої засувки, їх тиск не може зменшитися і буде підтримуватися на рівні початкового значення. Послідовно, шар за шаром, нафта буде приводиться в стан спокою в ділянці нафтопроводу, що розглядається, від нафтоперекачувальної станції (НПС) до засувки в закритому положенні [8-9]. Згодом вся ділянка нафтопроводу буде заповнена нафтою, яка опиниться в стані спокою під тиском.

$$\Delta p = p_0 + p_i, \quad (1.1)$$

де p_i – підвищення тиску, спричинене зміною кількості руху;

p_0 – тиск у МН на виході з НПС за нульової витрати (при роботі насосів НПС на закриті засувку).

Послідовний процес зіткнення шарів з невеликою затримкою за часом – це процес поширення хвилі тиску з певною швидкістю. Час пробігу хвилі тиску по ділянці нафтопроводу в один бік дорівнює

$$t_L = \frac{L}{a}, \quad (1.2)$$

де L - Ділянка нафтопроводу від НПС до закритої засувки;

a – швидкість хвилі ударного тиску.

Після того, як хвиля пройде ділянкою нафтопроводу, вся маса нафти в ній перебуватиме в стані спокою, але під тиском гідродару відповідно до формули (1.1).

Цей стан нестійкий, оскільки на виході станції тиск дорівнює « p_0 » і нафта почне перетікати з виходу НПС на її вхід (процес швидкопротікає, спрацьовування зворотних клапанів тут не враховується). Наступні шари нафти йдуть до входу НПС з прилеглого трубопроводу з деякою початковою витратою, кожен шар нафти розширюється, а відповідна ділянку труби стискається до початкового діаметра.

В результаті відбита хвиля прибуде до закритої засувки, при цьому стан течії тепер такий самий, як у момент закриття засувки, але напрямок потоку від засувки, а не до неї. Цей стан також нестійкий, оскільки нафта прагнучиме відтягнутися від закритої засувки і рухатися вгору за течією (на напрямі до НПС). Оскільки вона не може зробити цього, зміна кількості руху призводить до зменшення тиску. Шар нафти, що примикає до засувки, буде приведений у стан спокою, при цьому тиск щодо p_0 зменшиться на значення, що дорівнює початковому підвищенню тиску над p_0 . Наступні шари будуть приведені в стан спокою, як і раніше, але це призведе до зменшення тиску на протигагу початковому підвищенню тиску. Згодом вся труба заповнюється нафтою у стані спокою під тиском

$$\Delta p^- = p_0 - p_i. \quad (1.3)$$

Це тиск під час проходження негативної хвилі тиску. Але цей стан знову нестійкий, оскільки нафта почне втікати в трубопровід з початковою витратою. При цьому тиск збільшиться до рівня p_0 , витрата потоку досягне свого початкового значення і потік буде спрямований до засувки [8], [9].

Кінцева стадія зворотного течії така ж, як на самому початку процесу, тому процес повторюватиметься багаторазово, так як у наведеному вище описі впливом тертя нехтували. Насправді під впливом тертя відбиті хвилі поступово зменшуватимуться і перехідний гідрударний процес швидко загасне. Насправді спостерігається до десяти відбитих хвиль значної величини.

При описі механізму утворення хвиль було сказано, що хвилі відбиваються повністю, але з негативним знаком від НПС (утворюються хвилі розрідження) і повністю з позитивним знаком закритої засувки (утворюються хвилі стиснення). Це означає, що хвиля тиску з інтенсивністю « p_i », що переміщається нафтопроводом з тиском « p_0 », відображається від точки з умовно постійним тиском величиною « $p_0 - p_i$ » і від точки з нульовою швидкістю тиском « $p_0 + p_i$ ». Це є наслідком закону збереження енергії. Коли рідина має питому кінетичну енергію і немає енергії деформації (що притаманно для закритого кінця труби), відбувається пряме перетворення кінетичної енергії в енергію деформації, тобто відображення хвилі стиснення, при цьому зворотне перетворення спостерігається у нафтоперекачувальній станції.

Таким чином, можна сформулювати основний принцип: «Повне позитивне відображення походить від закритої засувки [9], повне негативне відображення походить від нафтоперекачуючої станції» (робота зворотного клапана тут не враховується). Форма хвилі у засувки показана на рисунку 1.1. Роз'яснення цієї діаграми представлено нижче.

У точці «А» засувка щойно закрилася, потік з якоюсь початковою витратою зупинено та відновлено інерційний тиск « Δp ». У точці «Б» також зупинено потік з тією самою витратою та відновлено інерційний тиск « Δp », але хвиля, що підходить до засувки в момент «Б», була отримана в результаті зупинки нафти в точці, що лежить вище за потоком на відстані « l ».

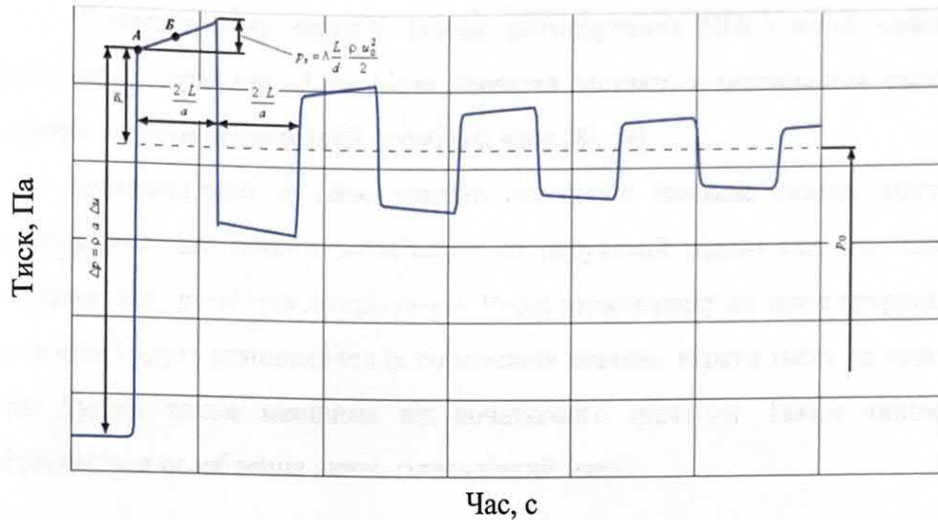


Рис.1.1 Приклад графіка ударного тиску в перерізі перед засувкою

У той момент, коли шар нафти був зупинений у точці «Б» через час « l/a » після закриття засувки, тиск у цій точці був більшим, ніж тиск на нижньому кінці нафтопроводу (тобто в точці «А») на величину втрат тиску на тертя, що визначається за загальновідомою формулою Дарсі – Вейсбаха

$$P_{t,l} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2}, \quad (1.4)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

l – довжина аналізованої ділянки нафтопроводу;

d – внутрішній діаметр нафтопроводу;

ρ – густина нафти;

u – швидкість потоку нафти.

Раптова зупинка потоку на відстані « l » викликає підвищення тиску на величину « $p_1 + p_{t,l}$ », але воно діє із запізненням на час « l/a ». Щоб підвищення тиску, викликане зупинкою потоку на відстані « l » і що поширюється зі швидкістю хвилі, досягло засувки, потрібен додатковий час « l/a ». Таким чином, тиск прибуває до засувки із запізненням на час « $2 \cdot l/a$ » щодо часу її закриття.

У початковому перерізі (місце розташування НПС) потік нафти зупиниться через час «L/a» після закриття засувки, а підвищення тиску досягне засувки через рівний проміжок часу [8], [9].

Безпосередньо за цією хвилею стиснення виникне сильна хвиля розрідження, яка поширюватиметься по нерухомій рідині так, що тиск падатиме від « $p_0 + p_i + p_t$ » до « $p_0 - p_i - p_t$ ». Через втрати тиску на тертя витрата і тиск « p_i » будуть меншими від їх початкових значень, втрати тиску на тертя « p_t » будуть також меншими від початкового значення. Таким чином, відбувається ослаблення хвилі, гідравлічний удар.

1.1.2 Запуск та зупинення насосних агрегатів

При запуску насосних агрегатів на НПС тиск у лінії підведення зменшується і, навпаки, збільшується в напірній лінії станції. Для штатної роботи насосів тиск у всмоктувальних лініях не повинен бути нижчим від тиску, що відповідає кавітаційному запасу, який визначається маркою насоса та його подачею. За певних умов запуск НПС може призвести до зменшення тиску на вході станції нижче за кавітаційний запас, що спричинить аварійну зупинку НПС.

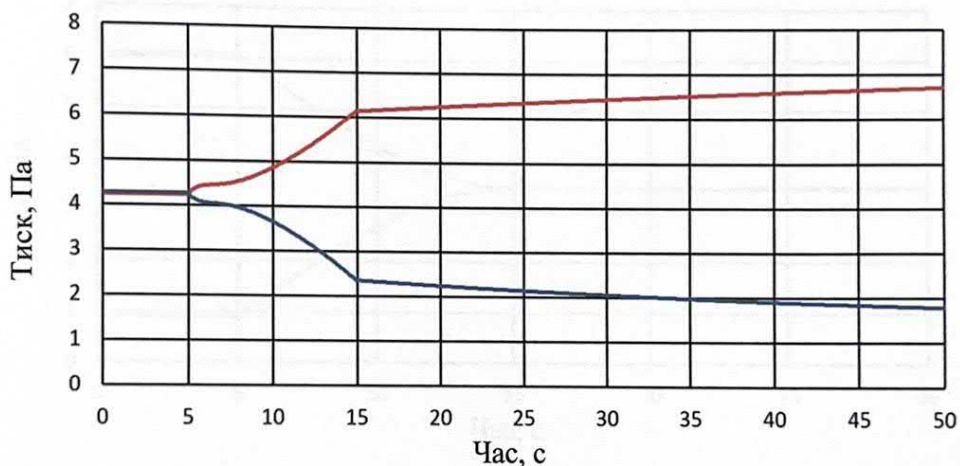
Крім того, при пуску насосних агрегатів на НПС з високим протитиском існує небезпека збільшення тиску на виході до значень вище гранично допустимого, що так само викликає відключення одного насосного агрегату або всієї НПС [2].

Зупинка НПС може статися внаслідок відключення електроенергії або спрацювання системи захисту НПС. Час зупинки насосів залежить від параметрів насосних агрегатів і може становити кілька десятків секунд. При цьому амплітуди хвиль підвищеного та зниженого тиску можуть досягати 3,0 МПа [2].

Несподіване відключення НПС супроводжується зупинкою роторів насосів, аналогічно частковому перекриттю перерізу труби. На вході НПС

виникає хвиля підвищеного тиску, яка рухається у бік попередньої НПС, але в виході виникає хвиля зниженого тиску, яка поширюється у бік наступної станції. В результаті можуть відбутися спрацювання систем захисту сполучених НПС як за допустимим тиском нагнітання, так і допустимим тиском всмоктування. Якщо не вжити заходів щодо зменшення величини ударного тиску, то раптова зупинка проміжної станції, що перекачує, може привести в зупинці всього нафтопроводу, що працює за системою перекачування «з насоса в насос» [8].

На малюнку 2 представлена можлива динаміка зміни тиску на виході та вході проміжної НПС під час моделювання запуску насосів на відкриту засувку.



червона лінія – на виході НПС, синя лінія – при вході НПС

Рис. 1.2 Приклад зміни тиску під час запуску НПС на відкриту засувку

Можлива динаміка зміни тиску на виході проміжної НПС при моделюванні запуску насосів на закрити засувку представлена рисунку 1.3. На рисунку 4 представлена можлива динаміка зміни тиску на виході та вході проміжної НПС при моделюванні зупинки насосів внаслідок відключення їх електропостачання.

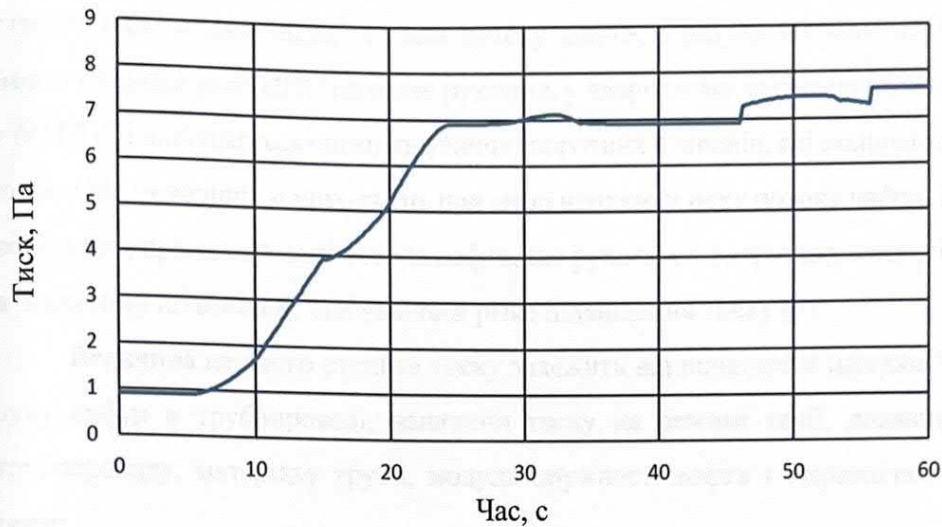
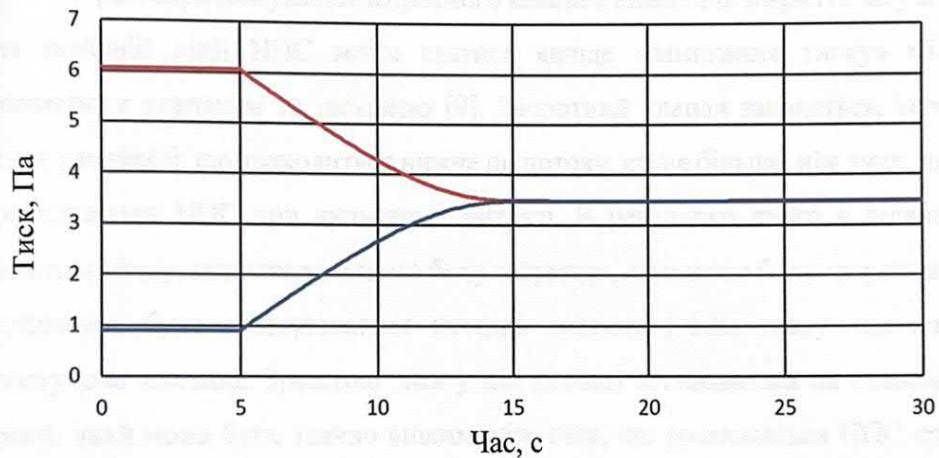


Рис.1.3 Приклад зміни тиску під час запуску НПС на закриту засувку



червона лінія – на виході НПС, синя лінія – при вході НПС

Рис. 1.4 Приклад зміни тиску при відключенні проміжної НПС

1.1.3 Спрацювання зворотних клапанів

У разі аварії на магістральному нафтопроводі нафтоперекачувальна станція відсікається від основної магістралі, внаслідок чого витрата у нафтопроводі різко падає. Незважаючи на це, під впливом інерції, стовп потоку нафти в напірній лінії НПС продовжує свій рух у початковому напрямку, створюючи тим самим позаду область зниженого тиску. У певний момент часу величина тиску напірної лінії стає більше ніж тиск, що

створюється силами інерції стовпа потоку нафти, в результаті чого потік нафти напірної лінії НПС починає рухатися у зворотному напрямку, тобто. у бік НПС і відбувається спрацьовування зворотних клапанів, які захищають насоси від можливих пошкоджень при зміні напрямку руху потоку нафти. В результаті, при досягненні стовпа нафти, що рухається, зворотних клапанів в закритому положенні, відбувається різке підвищення тиску [9].

Величина першого стрибка тиску залежить від початкової швидкості руху нафти в трубопроводі, величини тиску на режимі течії, довжини трубопроводу, матеріалу труби, модуля пружності нафти і гідравлічного тертя.

У разі спрацьовування зворотного клапана внаслідок закриття засувки на напірній лінії НПС може статися явище «замикання тиску» між зворотним клапаном та засувкою [9]. Зворотний клапан закриється, коли тиск у перерізі, що знаходиться нижче по потоку, стане більше, ніж тиск, що розвивається НПС при нульовому витраті. В результаті цього в ділянці нафтопроводу, відтятого з одного боку засувкою, а з іншого боку зворотним клапаном, буде поширюватися складна система хвиль тиску, що має поступове згасання. Зрештою тиск у цій ділянці встановиться на певному рівні, який може бути значно вищим, ніж тиск, що розвивається НПС при нульовому витраті (як показано на рисунку 1.5).

З практики експлуатації магістральних нафтопроводів відомо, що засувка на лінійній частині не завжди є абсолютно герметичною, внаслідок чого тиск у «замкненій» ділянці схильний до плавного зменшення. Незважаючи на це, ті обставини, що високий тиск може зберігатися відносно довгий час, а замикання тиску можливе, як на коротких, так і на довгих відсічених ділянках (тобто при закритті відсічних і лінійних засувок на різних відстанях від НПС), дане явище становить небезпеку та вимагає заходів щодо його недопущення.

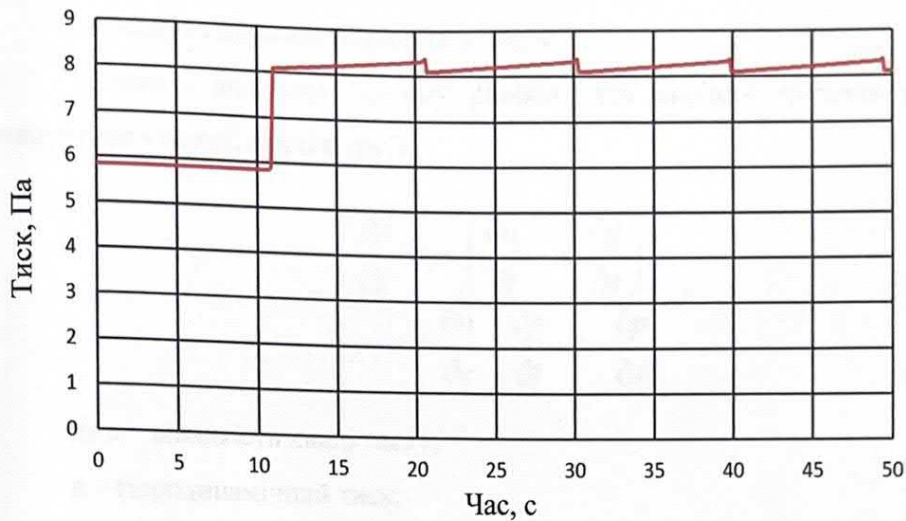


Рис. 1.5 Графік замикання ударного тиску

1.2 Аналіз досліджень неусталених процесів у трубопроводах для перекачування рідин

Теоретичні та експериментальні дослідження неусталених процесів у трубопроводах, що перекачують рідини, проводяться багато десятків років. Починаючи із 1899 року, і до сьогодні, було написано безліч робіт з цієї тематики.

Теоретичне дослідження питання про гідравлічний удар, що підтверджують запропоновану теорію, за яких спостерігалася зміна гідродинамічного тиску в трубі та поширення цього тиску вздовж трубопроводу

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{\beta} + \frac{d \cdot \rho}{s \cdot E}}}, \quad (1.5)$$

де β – густина рідини до удару;

E – модуль пружності рідини;

d – внутрішній діаметр трубопроводу;

s – товщина стінок труби;

E – модуль пружності матеріалу труби.

У роботі виведено систему рівнянь, яка вирішує питання про поширення ударної хвилі в трубі

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial x} = \rho \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial t} - u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \right) \\ \rho \cdot a^2 \cdot \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial t} - u \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \end{cases}, \quad (1.6)$$

де a – швидкість хвилі тиску;

p – гідродинамічний тиск;

u – швидкість у аналізованому перерізі рідини;

t – час;

x – координата.

Теоретичне визначення стрибка тиску під час гідравлічного удару

$$\Delta p = \rho \cdot a \cdot \Delta u, \quad (1.7)$$

де u – швидкість, втрачена на ударі.

Автором визначено вид ударної діаграми в різних точках труби, проведено експериментальні дослідження гідравлічного удару в системі перекачування, виміряно найбільші стрибки тиску в різних точках труби за допомогою манометрів та визначено швидкість поширення ударної хвилі за допомогою хронографа, побудовано ударні діаграми в різних місцях труби.

Визначення швидкості хвилі та стрибка тиску виконано для труб різного діаметра. Було досліджено зростання величини гідравлічного удару при переході ударної хвилі в глухий кут і відображення ударної хвилі від відкритого кінця труби, зроблено висновки про безпечний час закриття засувки.

Також приділено увагу роботі запобіжних клапанів, пошуку місць на лінії труби у яких відбулося скупчення повітря та визначення місця витoku. Також розглянуто завдання руху з дозвуковою швидкістю при лінійному або лінеаризованому законі тертя

$$\begin{cases} -\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial t} + 2 \cdot w \cdot u \right) \\ -\frac{\partial p}{\partial t} = \rho \cdot a^2 \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \end{cases}, \quad (1.8)$$

У наведеній вище системі коефіцієнт $2 \cdot w$ приймається в залежності від режиму течії в трубопроводі

$$2 \cdot w = \begin{cases} \frac{\lambda \cdot u}{8 \cdot d}, \\ \left(\frac{\lambda \cdot u}{8 \cdot d} \right)_{cp}, \end{cases} \quad (1.9)$$

де λ – коефіцієнт опору у формулі Дарсі – Вейсбаха.

Рішення рівнянь виконується при використанні звичайного математичного апарату лінійних рівнянь, який дозволяє застосувати принцип суперпозиції та отримати аналітичне рішення у замкнутій формі з відділенням вільних та вимушених коливань. З припущення достатньої довжини трубопроводу швидкісні натиски нехтувалися, розрахунки руху, що не встановилися, велися по середніх в перерізі швидкостях.

Основну увагу в роботі приділено завданням одновимірного руху в трубах, що не встановився, де в якості граничних умов використані функції від часу натиску і витрати. У роботі докладно розглянуті рівняння руху крапельної рідини в довгих трубопроводах, безрозмірні рівняння руху рідини, що стискається в трубах, методи визначення наведеного коефіцієнта лінійного тертя в рівняннях неусталеного руху при квадратичному і лінійному законах тертя.

Подано рекомендації щодо призначення граничних та початкових умов. У роботі [19], розглянуто роботу повітряних ковпаків, стосовно яких враховано спільний ефект пружності повітря, стисливості рідини та пружності стінок повітряного ковпака. Детально розглянуті питання інтегрування рівнянь неусталеного руху рідини в трубопроводах з буферною камерою і без неї при стрибкоподібних змінах швидкості і тиску

в початковому і кінцевому перерізах труби, визначення тиску і швидкості на фронті пружної хвилі, що поширюється всередині рідини, що стискається в трубопроводі. Описано випадки великого згасання внаслідок в'язкості та гідравлічних опорів, а також поширення стрибка тиску в нескінченно довгому трубопроводі. Представлено модель руху рідини, що не встановився, в трубопроводі з малим загасанням і виконаний перехід до випадку стисненої рідини. Крім того, розглянуто пускові режими насосних установок у трубопроводі з невеликим загасанням і насосом з повітряним ковпаком, що розвивається, послідовне з'єднання двох трубопроводів різних діаметрів, приділено увагу розрахунку повітряних ковпаків поршневих насосів.

Для вирішення завдань про гідравлічний удар використовували інтеграли диференціальних рівнянь, загальний інтеграл, його інтерпретації та провели докладне дослідження гідроудару з розривом водяного стовпа [10-14]. Досить докладно описали явище гідравлічного удару, виконано висновок основних диференціальних рівнянь, провели загальний аналіз кінцевих рівнянь та навели основи загального чисельного методу. Авторами було досліджено швидкість поширення хвилі удару, удар у простих та складних трубопроводах, а також за наявності в лінії реактивних гідротурбін. У роботах представлені наочні приклади розрахунків гідравлічного удару у простому, розгалуженому та кільцевому трубопроводі.

М.Ст. Лур'є вдалося використати накопичений багатьма десятиліттями досвід дослідження неусталених процесів у трубопроводах перекачування рідин і газів для створення математичних моделей неусталених процесів у нафтогазопроводах у поєднанні з встановленим на них обладнанням. У роботі «Математичне моделювання процесів трубопровідного транспорту нафти, нафтопродуктів і газу» [29] представлені рівняння нерозривності потоку, рівняння руху потоку, моделі середовищ, що транспортуються, і неусталеного ізотермічного перебігу

рідини, що слабо стискається в трубопроводі. Пропонуються рішення задач про поширення хвиль тиску в нескінченному трубопроводі, напівнескінченному трубопроводі та на обмеженій ділянці трубопроводу, описані умови на стрибках гідродинамічних параметрів. При розрахунку гідравлічного удару в трубах використано метод характеристик та представлено модель обліку приєднаної маси. У роботі представлені рекомендації з моделювання та розрахунку режимів роботи нафтопроводів, що встановилися, які необхідні для завдання початкових умов при вирішенні системи диференціальних рівнянь хвильового процесу, запропоновані математичні моделі крайових умов та умов сполучення. Так, для моделювання роботи насосів НПС у перехідному режимі роботи насосів запропоновано таку систему рівнянь

$$\begin{cases} \Delta p_{\omega} = \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 \cdot F \left(\frac{\omega_n}{\omega} \cdot u\right) \\ I \cdot \frac{d\omega}{dt} = T - \frac{S_d \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \cdot \Delta p_{\omega} \cdot u}{\eta} \cdot \frac{1}{\omega} \end{cases}, \quad (1.10)$$

де Δp_{ω} – диференціальний тиск, що розвивається насосом;

ω – частота обертання ротора;

ω_n – номінальна частота обертання ротора;

I – момент інерції ротора насосного агрегату;

T – обертальний момент, що розвивається ротором;

S_d – площа перерізу внутрішньої частини трубопроводу;

η – ККД насоса.

У роботі приділено велику увагу течії рідини, що не встановилася, в трубопроводі з розривом суцільності потоку і в трубопроводі з самопливними ділянками.

1.3 Огляд та аналіз сучасних способів запобігання надмірним навантаженням по тиску в нафтопроводах та на нафтоперекачувальних станціях

Аналіз інформації дозволяє виділити наступні способи попередження гідроударів та захисту нафтоперекачувальних систем від хвиль тиску, що застосовуються в даний час:

- забезпечення плавної зміни витрати в нафтоперекачувальній системі;
- встановлення гідропневматичних акумуляторів;
- встановлення демпфуючих пристроїв та стабілізаторів тиску;
- створення зустрічної хвилі зниженого тиску;
- використання системи автоматичного регулювання тиску на нафтоперекачувальній станції;
- встановлення запобіжних скидних клапанів;
- встановлення системи згладжування хвиль тиску.

1.3.1 Забезпечення плавної зміни витрати в нафтоперекачувальній системі

Забезпечення плавної зміни витрати в нафтоперекачувальній системі можна досягти шляхом повільного перекриття потоку запірним елементом трубопровідної арматури, якщо джерелом хвилі тиску є відсікаюча або лінійна засувка, а також шляхом плавного запуску та зупинки насосних агрегатів, якщо джерелом хвилі тиску є НПС.

Якщо час закриття трубопровідної арматури набагато більший, ніж фаза гідравлічного удару, тобто коли має місце непрямий гідроудар, то вважається, що стрибок тиску буде набагато меншим у порівнянні з прямим гідроударом. Однак, враховуючи протяжність магістрального нафтопроводу, фаза гідроудару може становити до **чотирьох хвилин**, що є

неприпустимо великим проміжком часом за умови аварійної зупинки перекачування.

Крім того, моделювання процесу виникнення хвиль тиску при закритті трубопровідної арматури показує, що при ступені відкриття запірного органу від 1 до 0,1 істотного збільшення тиску не відбувається за рахунок перебудови структури потоку і місцевого збільшення швидкості в перерізі, де знаходиться запірний орган.

Значний стрибок тиску виникає при закритті від 0,1 до нульового значення ступеня відкриття запірного органу, що посилює вимоги до часу закриття трубопровідної арматури на магістральних нафтопроводах і викликає необхідність впровадження системи захисту від гідроудару, заснованої на принципі дії, яка відрізняється від методу забезпечення плавної зміни витрати в нафтоперекачувальній системі.

1.3.2 Встановлення гідропневматичних акумуляторів

Використання гідропневматичних акумуляторів для захисту трубопроводів від хвиль тиску розглядалося багатьма вченими.

Гідропневматичний акумулятор зазвичай встановлюється на напірній лінії насоса та призначений для зниження величини коливань тиску в ній. Складові частини такого пристрою показані на рисунку 1.6.

Для забезпечення необхідного зниження швидкості наростання тиску в сучасних магістральних нафтопроводах, що мають велику пропускну спроможність, гідропневматичний акумулятор має бути об'ємом до 300 м³ та мати робочий тиск до 6,0 МПа [17].



1 – пристрій фіксування мембрани; 2 – мембрана; 3 – повітряна порожнина; 4 – робоча порожнина; 5 – корпус із сталі; 6 – спеціальне покриття; 7 – ніпель для закачування газу; 8 – приєднання для нафти

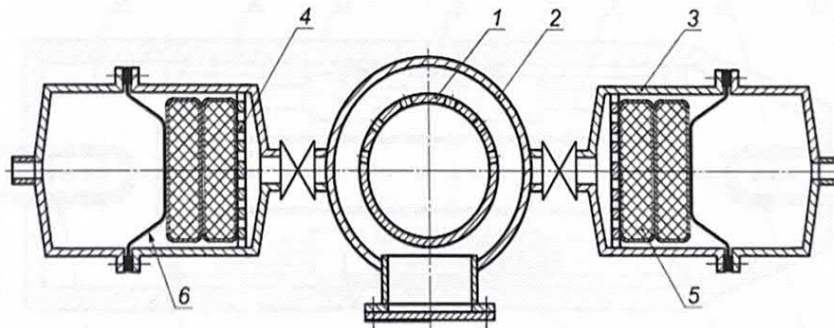
Рис.1.6 Приклад конструкції гідропневматичного акумулятора

Цілком очевидно, що це пов'язано з великими металовитратами і спеціальною системою поповнення запасу повітря (або інертного газу), внаслідок його часткового розчинення в нафті, що перекачується. Тому щодо конструкції та експлуатації доцільно використання системи захисту, яка здатна забезпечити автоматичне скидання частини нафти при проходженні хвилі підвищеного тиску. У зв'язку з цим гідропневматичні акумулятори як системи захисту від хвиль тиску на магістральних нафтопроводах практично не використовуються, але активно застосовуються як гасники високочастотних пульсацій малої амплітуди в технологічних трубопроводах.

1.3.3 Встановлення демпфуючих пристроїв та стабілізаторів тиску

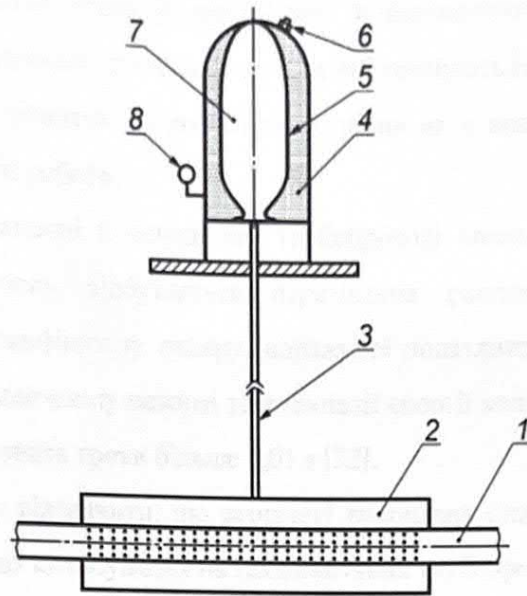
Конструкція та технологічні параметри демпфуючих пристроїв та стабілізаторів регламентуються стандартами, відповідно до яких стабілізатори тиску – це пристрої, призначені для гасіння гідравлічних ударів, провалів тиску та вібрацій, що виникають у трубопровідній системі, шляхом дисипації енергії коливань робочого середовища, пружнодемпуєчого впливу на неї в камерах, що демпфують.

Робота стабілізаторів та гасителів пульсацій тиску розглядалася багатьма авторами. Стабілізатори тиску розраховані на тиск робочого середовища в трубопровідній системі від 0,1 до 25 МПа, їх виготовляють на багатоваріантній основі за моноблочною та мультиблочною схемою, що визначається їх цільовим призначенням, взаємопов'язаним з проектом трубопровідної системи та умовами експлуатації [22]. Для нафтових трубопроводів підходять стабілізатори тиску, що мають позначення «СДН», виконань I, II та IV. Конструкції зазначених виконань стабілізаторів тиску представлені на рис.1.7-1.9.



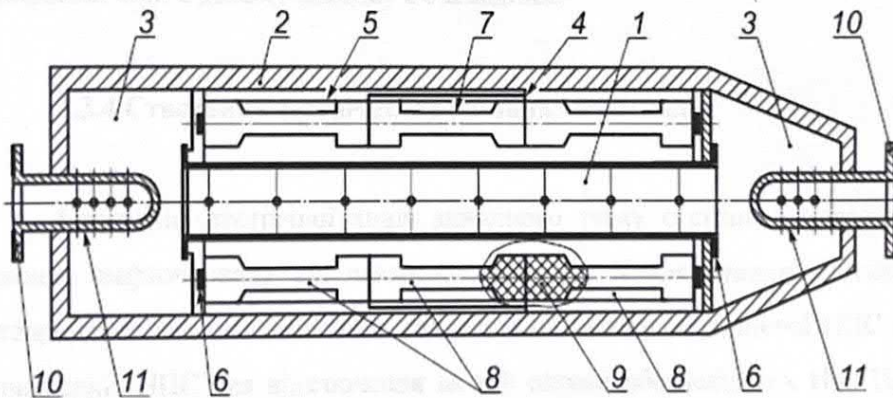
1 – ділянка центрального перфорованого трубопроводу; 2 – циліндрична передкамера; 3 – камера, що демпфує; 4 – обмежувач переміщень пружних елементів, виконаний у вигляді перфорованої перегородки; 5 – рухливі пружні елементи, виконані з пружнодемпуєчого матеріалу та укладені в герметичну оболонку з еластичного матеріалу; 6 – додатковий гнучкий пружний елемент

Рис. 1.7 Стабілізатор тиску виконання I



1 – перфорований центральний трубопровід; 2 – передкамера; 3 – приєднувальний патрубок; 4 – газ під тиском; 5 - еластична розділова перегородка (оболонка); 6 – штуцер для закачування газу; 7 – порожнина для робочого середовища; 8 – манометр

Рис.1.8 Стабілізатор тиску СДН виконання II



1 – перфорований центральний трубопровід; 2 – кожух; 3 – передкамери; 4 – жорсткі кільця; 5 – стяжки; 6 – притискачі; 7 – пружні труби (демпфуючі елементи); 8 – секції пружних труб; 9 – пружні елементи; 10 – приєднувальні патрубки; 11 – перфорована частина приєднувальних патрубків

Рис.1.9 Стабілізатор тиску СДН виконання III

Стабілізатори тиску функціонують в автоматичному режимі без використання сторонніх джерел енергії та забезпечують гасіння хвильових та вібраційних процесів до допустимого рівня як в аварійному, так і в штатному режимі роботи.

При виникненні в основному трубопроводі хвильових процесів в стабілізаторі тиску відбувається перетікання рідини через отвори перфорації в демпфіруючу камеру, вираженої податливості демпфуючих елементів у динамічному режимі та дисипації енергії коливань на отворах перфорації становить трохи більше 0,01 з [22].

Необхідно відзначити, що зазначені виконання стабілізаторів тиску рекомендовані до застосування на технологічних трубопроводах, що мають значно менші значення продуктивності, ніж магістральні нафтопроводи. Розробка подібних пристроїв для МН є дуже важким завданням, внаслідок отримання на виході технічно складних стабілізаторів, що мають великі габаритні розміри і вимагають високих капітальних витрат. Перевага способу скидання частини рідини в скидний резервуар або перепуску байпасної лінії в даному випадку є очевидним.

1.3.4 Створення зустрічної хвилі зниженого тиску

Створення зустрічної хвилі зниженого тиску є активним засобом захисту нафтопроводу від навантажень тиску. Хвиля зниженого тиску створюється шляхом посилання сигналу лінії зв'язку з зупиненої НПС на попередню НПС для відключення на ній одного або декількох НА. При цьому від попередньої НПС назустріч хвилі підвищеного тиску рухатиметься хвиля зниженого тиску і передбачається, що при зустрічі ці хвилі взаємно гаситимуться. Однак при цьому може виникнути необхідність відключення окремих НА на кількох попередніх НПС, оскільки відключення агрегатів на одній з них створить хвилю підвищеного тиску у

напрямку наступної попередньої НПС і небезпека надмірного підвищення тиску на ній [17]. Зазначена обставина є суттєвим недоліком цієї системи.

Для формування сигналу в цій системі застосовано спеціально розроблений датчик небезпечних збурень (ДНВ), який видає сигнал лише за великої швидкості наростання тиску – порядку 1,0 – 1,2 МПа за 5 – 6 з [17].

При проектуванні та експлуатації такої системи необхідно правильно розрахувати число НА, яке треба відключати на попередній НПС, щоб не допустити небезпечних тисків, а також визначити, яким чином при цьому зміниться пропускна здатність МН. Недоліками такої системи є відсутність компенсації хвиль розрідження та необхідність завадостійкості лінії зв'язку. Крім того, частина МН залишається незахищеною від хвилі тиску з великою крутістю фронту [17].

Спроби підготувати наукову основу для розробки подібної системи робилися, але при моделюванні процесів було виявлено нездатність даної системи до абсолютного згладжування хвилі гідродару при різкому закритті запірно-регулюючої арматури (ЗРА) на напірній лінії НПС, а тільки можливість незначного «зрізу» головного стрибка.

1.3.5 Використання системи автоматичного регулювання тиску нафтоперекачувальної станції

При невстановленому гідродинамічному процесі в нафтопроводі тиск на вході і виході НПС може вийти за допустимі межі, що визначаються несучою здатністю трубопроводу та запасом кавітаційним насосних агрегатів. Для недопущення цього небезпечного явища і запобігання аварійному відключенню НПС на лініях нагнітання нафтоперекачувальних станцій встановлюють системи автоматичного регулювання тиску (САРТ), одним із завдань яких є захист станцій від хвиль ударного тиску, що поширюються вгору потоком і приходять з напірної лінії НПС [18].

Слід зазначити, що у випадку регулювання тиску на НПС може здійснюватися такими методами [13]:

дроселювання потоку;

перепуском частини потоку з лінії нагнітання до лінії всмоктування станції;

зміна частоти обертання насосних агрегатів.

Метод дроселювання на практиці застосовується частіше за інших, хоча і не є економічним. Метод заснований на частковому перекритті потоку нафти на виході з НПС, тобто на створенні додаткового місцевого гідравлічного опору потоку нафти, що перекачується [18]. Структура потоку нафти при його дроселюванні в регулюючій заслінці представлено на рис.1.10. Швидкодія регулюючих заслінок на магістральних нафтопроводах становить від 20 до 40 секунд [3].

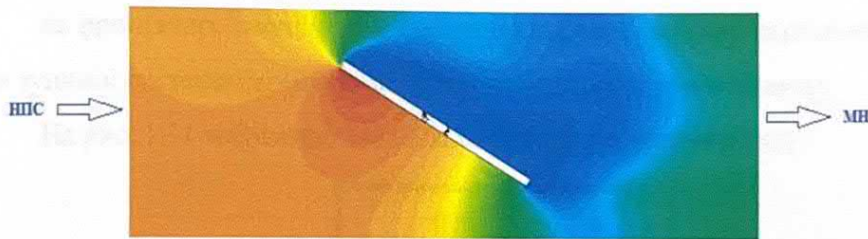


Рис.1.10 Структура потоку в регулюючій заслінці

Дроселювання допомагає узгодити роботу ділянок нафтопроводу, але цей метод є вкрай неекономічним, зважаючи на наявність великих непродуктивних витрат енергії [16].

Недоліками методу усунення хвиль тиску МН за допомогою САРТ є: великі втрати енергії під час регулювання перехідних процесів; низька швидкодія, через інерційність регулюючих заслінок.

1.3.6 Запобіжні клапани пружинного типу

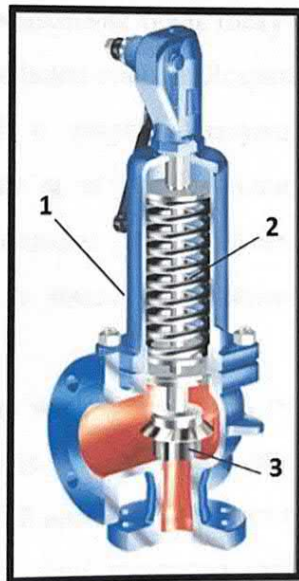
Запобіжний клапан – це більш досконалий засіб захисту обладнання від надмірного підвищення тиску. Якщо тиск у трубопроводі піднімається вище за встановлений, то автоматично відкривається запобіжний клапан і починається скидання рідини в резервну ємність. Клапан запобігання забезпечує витрату рідини, гарантує підтримку тиску встановленому рівні. Зниження тиску в трубопроводі нижче встановленого, призводить до закриття клапана запобігання.

Запобіжні клапани у магістральних нафтопроводах встановлюються:
перед резервуарними парками;

на технологічних трубопроводах між магістральними насосними агрегатами та підпірними, через загрозу збільшення тиску в трубі вище за розрахункову при зупинці магістральних насосних агрегатів;

на проміжних станціях, що перекачують, через загрозу перевищення при зупинці системи перекачування несучої здатності трубопроводу;

На рис. 1.11 зображено запобіжні клапани пружинного типу.



1 – корпус; 2 – пружина; 3 – запірний елемент

Рис. 1.11 Пружинний запобіжний клапан

У процесі експлуатації трубопроводу із пружинним клапаном на запірний елемент клапана діє сила тиску рідини та сила пружини. Параметри пружини підібрані так, щоб при тиску в трубопроводі нижче настроювального тиску клапана він залишався закритим. Дане явище пояснюється тим, що сила притискання запірного елемента клапана перевищує силу тиску рідини. Якщо тиск у трубопроводі перевищує настроювальний тиск клапана, то клапан відкривається і відбувається скидання рідини у спеціальну ємність.

До основної переваги пружинних клапанів можна віднести їх простоту конструкції, монтажу та подальшої експлуатації, а також, що важливо низьку вартість. Пружинні клапани використовуються для захисту трубопроводу від підвищеного тиску, який може бути викликано температурним розширенням нафти, шляхом їх встановлення на ділянки трубопроводів, які ізольовані січними засувками.

1.4 Висновки з першого розділу

Розглянуто причини виникнення хвиль тиску і наслідки для основного обладнання нафтоперекачувальних станцій. Яскраво вираженим прикладом виникнення ударної хвилі є закриття засувки на лінійній частині магістрального нафтопроводу за час, який менший за фазу гідравлічного удару. Також розглянуто випадок спрацьовування зворотних клапанів нафтоперекачуючої станції та явище «замикання» тиску в напірній лінії станції.

Огляд сучасних засобів захисту від хвиль тиску виявив як переваги, так і недоліки цих способів. Для комплексного захисту обладнання нафтоперекачувальних станцій необхідний захист від хвиль і підвищеного і зниженого тиску, як з боку лінії живлення станції, так і з боку лінії нагнітання станції. В умовах наявності високої продуктивності магістральних нафтопроводів доцільним способом є скидання частини

рідини, що транспортується при проходженні хвиль підвищеного тиску, і підкачування рідини при проходженні хвиль зниженого тиску. Зважаючи на високу швидкість протікання хвильових процесів, пріоритетним завданням є забезпечення своєчасного спрацювання клапана скидання.

Назва, що транспортується через нафтовий клапан, що працює в режимі підкачування, і спрацювання до фільтра-бурдюка, що працює в режимі скидання, повинні бути забезпечені своєчасно, щоб не допустити аварійних ситуацій.

Назва, що транспортується через нафтовий клапан, що працює в режимі підкачування, і спрацювання до фільтра-бурдюка, що працює в режимі скидання, повинні бути забезпечені своєчасно, щоб не допустити аварійних ситуацій. Для цього необхідно забезпечити своєчасне спрацювання клапана скидання, який повинен бути забезпечений своєчасно, щоб не допустити аварійних ситуацій. Для цього необхідно забезпечити своєчасне спрацювання клапана скидання, який повинен бути забезпечений своєчасно, щоб не допустити аварійних ситуацій.

Для цього необхідно забезпечити своєчасне спрацювання клапана скидання, який повинен бути забезпечений своєчасно, щоб не допустити аварійних ситуацій. Для цього необхідно забезпечити своєчасне спрацювання клапана скидання, який повинен бути забезпечений своєчасно, щоб не допустити аварійних ситуацій.

Для цього необхідно забезпечити своєчасне спрацювання клапана скидання, який повинен бути забезпечений своєчасно, щоб не допустити аварійних ситуацій. Для цього необхідно забезпечити своєчасне спрацювання клапана скидання, який повинен бути забезпечений своєчасно, щоб не допустити аварійних ситуацій.

РОЗДІЛ 2 ПЕРЕОСНАЩЕННЯ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ГІДРОУДАРУ

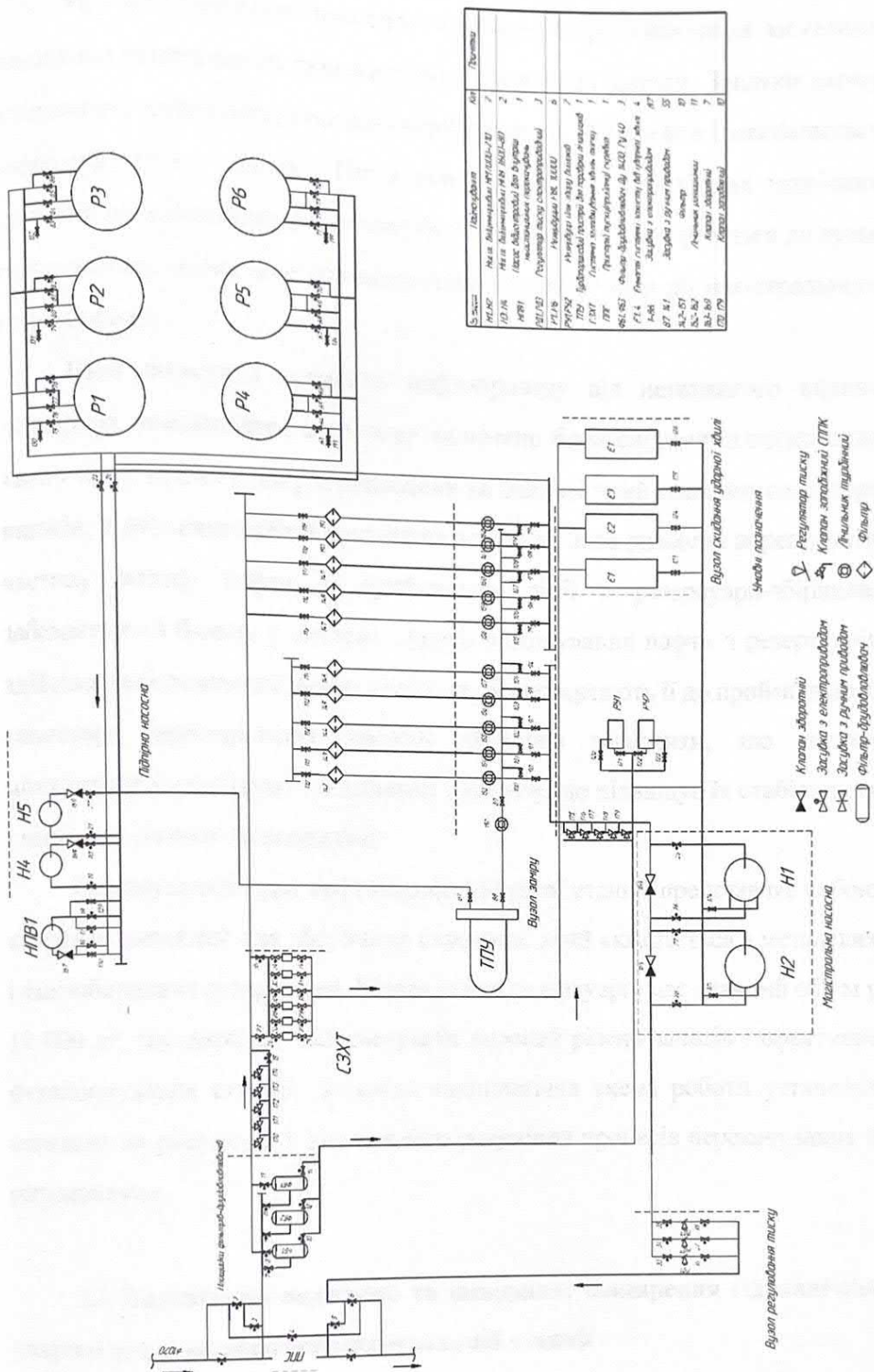
2.1 Опис технологічної схеми нафтоперекачуючої станції

Як подальший об'єкт досліджень будемо розглядати головну нафтоперекачувальну станцію з прилеглими нафтопроводами (рис.2.1). На даній станції пропонується встановити систему згладування хвиль тиску для захисту від гідроудару.

Нафта, яка транспортується через нафтопровід, спочатку надходить із вузла підключення і спрямовується до фільтрів-брудоуловлювачів. Ці спеціалізовані фільтри виконують надважливу функцію очищення сировини від механічних домішок і сторонніх предметів, які можуть негативно вплинути на подальшу експлуатацію обладнання. Завдяки цьому етапу забезпечується надійність роботи магістральних насосів, на які в подальшому спрямовується очищена нафта через існуючий колектор магістральної насосної станції.

Система насосів обладнана зворотними клапанами, які розташовані між приймальним і нагнітальним трубопроводами кожного насоса. Ці клапани мають функцію плавного закриття, що гарантує відсутність пропусків рідини у зворотному напрямку й знижує ризик виникнення гідравлічних ударів під час припинення подачі. Такий підхід сприяє довговічності системи та стабільності її роботи.

Після проходження насосів потік нафти подається на майданчик регулювання тиску. На цьому етапі встановлені регулюючі засувки, які відповідають за забезпечення необхідного рівня тиску перед входом у магістральний нафтопровід. Щоб забезпечити безперебійність процесу транспортування, обидві заслінки функціонують одночасно і паралельно.



№	Назва	Матеріал	К-ть	Примітка
1	НПВ1	Насос	1	
2	НПВ2	Насос	1	
3	НПВ3	Насос	1	
4	НПВ4	Насос	1	
5	НПВ5	Насос	1	
6	НПВ6	Насос	1	
7	НПВ7	Насос	1	
8	НПВ8	Насос	1	
9	НПВ9	Насос	1	
10	НПВ10	Насос	1	
11	НПВ11	Насос	1	
12	НПВ12	Насос	1	
13	НПВ13	Насос	1	
14	НПВ14	Насос	1	
15	НПВ15	Насос	1	
16	НПВ16	Насос	1	
17	НПВ17	Насос	1	
18	НПВ18	Насос	1	
19	НПВ19	Насос	1	
20	НПВ20	Насос	1	
21	НПВ21	Насос	1	
22	НПВ22	Насос	1	
23	НПВ23	Насос	1	
24	НПВ24	Насос	1	
25	НПВ25	Насос	1	
26	НПВ26	Насос	1	
27	НПВ27	Насос	1	
28	НПВ28	Насос	1	
29	НПВ29	Насос	1	
30	НПВ30	Насос	1	
31	НПВ31	Насос	1	
32	НПВ32	Насос	1	
33	НПВ33	Насос	1	
34	НПВ34	Насос	1	
35	НПВ35	Насос	1	
36	НПВ36	Насос	1	
37	НПВ37	Насос	1	
38	НПВ38	Насос	1	
39	НПВ39	Насос	1	
40	НПВ40	Насос	1	
41	НПВ41	Насос	1	
42	НПВ42	Насос	1	
43	НПВ43	Насос	1	
44	НПВ44	Насос	1	
45	НПВ45	Насос	1	
46	НПВ46	Насос	1	
47	НПВ47	Насос	1	
48	НПВ48	Насос	1	
49	НПВ49	Насос	1	
50	НПВ50	Насос	1	

Рис.2.1 Технологічна схема НПС

Між магістральною насосною станцією та регулюючими засувками додатково інтегрований швидкодіючий зворотний клапан. Завдяки цьому компоненту здійснюється оперативний контроль руху нафти і запобігається зворотній витік у системі. Після завершення всіх необхідних технічних операцій на майданчику регулювання очищена нафта повертається до вузла підключення, звідки вже спрямовується безпосередньо до магістрального нафтопроводу.

Щоб захистити елементи нафтопроводу від негативного впливу надмірних навантажень, в систему включено блок системи згладжування хвиль тиску (СЗХТ), що розташований на байпасі приймального колектора насосів. У разі виникнення критичних течій цей блок дозволяє переправити частину потоку нафти зі приймальної лінії в резервуари-збірники, забезпечуючи баланс у системі. Надалі відкачування нафти з резервуарів здійснюється повнонапірними насосами, які повертають її до приймального колектора магістральних насосів. Важливо зазначити, що насоси монтуються у спеціально бетоновані приямки, що підвищує їх стабільність і мінімізує ризики пошкоджень.

Резервуарний парк нафтоперекачувальної станції представляє собою комплекс ємностей для зберігання сировини, який складається з металевих і залізобетонних резервуарів. Кожен із цих резервуарів має значний об'єм у 10 000 м³, що дозволяє забезпечувати високий рівень запасів і ефективне функціонування станції. Детальна технологічна схема роботи установок наведена на рисунку 2.1 для кращого розуміння процесів перекачування й регулювання.

2.2 Визначення величини та швидкості поширення гідравлічної ударної хвилі на нафтоперекачувальній станції

Швидкість потоку та тиск у нафтопроводі змінюється не миттєво, а з деякою швидкістю, це пов'язано з тим, що стінки труби пружні та робочому

середовищу притаманна стисливість. Розглянемо нафтопровід довжиною L , що під тиском рідини P , густини рідини ρ , площа перерізу нафтопроводу ω . Припустимо, що у певний час t у нафтопроводі підвищиться тиск на величину $d\rho$.

Дане збільшення тиску сприяє збільшенню густини на величину $d\rho$ відбувається також розширення внутрішнього діаметра трубопроводу, через що збільшується площа прохідного перерізу на величину $d\omega$. Це сприятиме збільшенню обсягу рідини в трубі на величину dW , а отже відбудеться і збільшення маси рідини за рахунок збільшення густини та об'єму рідини.

Подібна ситуація розглядається у висновку рівняння нерозривності потоку у диференціальній формі, лише там розглядалася зміна маси у часі.

$$\frac{dM}{dt} = W \frac{d\rho}{dt} + \frac{dW}{dt} \rho \quad (2.1)$$

За аналогією з наведеним рівнянням напишемо вираз, який описує зміну маси за рахунок зміни тиску

$$\frac{dM}{dP} = W \frac{d\rho}{dP} + \frac{dW}{dP} \rho = 0 \quad (2.2)$$

При цьому підвищенні тиску рідина прямує у шари з меншим тиском з деякою швидкістю. У шарах з меншим тиском відбуватиметься збільшення щільності рідини, а також збільшуватиметься напруження в стінках нафтопроводу, що сприяє збільшенню площі трубопроводу. Розповсюдження таких деформацій уздовж нафтопроводу займе деякий час.

Під впливом результуючої сил тиску F_p відбудеться переміщення маси dm за час dt

$$F_p = \omega(P + \Delta P) - \omega P \quad (2.3)$$

У цьому випадку рівняння імпульсу сили може бути подане в наступному вигляді:

$$\omega dP dt = dma \quad (2.4)$$

Звідси:

$$\frac{dm}{dP} = \frac{\omega dt}{a} \quad (2.5)$$

Маючи на увазі, що $dt = \frac{L}{a}$, і підставивши це у попередній вираз, отримаємо:

$$\frac{dm}{dP} = \frac{\omega L}{a^2} \quad (2.6)$$

Зауважимо, що добуток

$$\omega L = W \quad (2.7)$$

Прирівняємо обидва вирази для dP/dm та отримаємо

$$\frac{W}{a^2} = W \frac{d\rho}{dP} + \rho \frac{dW}{dP} \quad (2.8)$$

Виразимо з останньої рівності величину a^2

$$a^2 = \frac{W}{W \frac{d\rho}{dP} + \rho \frac{dW}{dP}} \quad (2.9)$$

При розподілі знаменника і чисельника на об'єм рідини W , при множенні та діленні першого доданку в знаменнику на густину рідини отримаємо:

$$a^2 = \frac{1}{\rho \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dP} + \rho \frac{1}{W} \frac{dW}{dP}} \quad (2.10)$$

Звернімо увагу на те, що $W = \omega L$ а $dW = d\omega L$

Після того як підставили дані рівності у вираз 2.10 і знайшли корінь, отримали вираз, що визначає швидкість поширення ударної хвилі або швидкістю поширення пружних деформацій рідини в трубі

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dP} + \frac{1}{\omega L} \frac{d\omega L}{dP} \right)}} = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dP} + \frac{1}{\omega} \frac{d\omega}{dP} \right)}}. \quad (2.11)$$

У цьому рівнянні пружні властивості робочого середовища характеризуються першим доданком під коренем, а пружні властивості матеріалу труби характеризуються другим доданком. Доданок, який описує пружні властивості матеріалу труби, можна записати у вигляді:

$$\frac{1}{\omega} \frac{d\omega}{dP} = \frac{1}{\pi} \frac{\pi D^3}{4 E_m \delta} = \frac{D}{E_m \delta}. \quad (2.12)$$

Розглянемо доданок, який описує пружність рідини $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dP}$

$$\frac{1}{\rho_a} \frac{d\rho}{dP} = \frac{1}{E_{жс}}. \quad (2.13)$$

Після всіх перетворень вираз для швидкості поширення ударної хвилі набуде вигляду:

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{D}{E_T \delta} + \frac{1}{E_p} \right)}} = \frac{\sqrt{\frac{E_p}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D \cdot E_p}{E_T \cdot \delta}}}. \quad (2.14)$$

де ρ – густина рідини,

D – діаметр трубопроводу,

δ – товщина стінки трубопроводу,

E_t –модуль пружності матеріалу труби,

E_r –модуль пружності рідини.

Швидкість переміщення ударної хвилі залежить від пружних деформацій матеріалу, з якого виготовлена труба, та стисливості рідини.

Розглядаємо елементарне переміщення ділянки рідини довгою dL за час dt щоб визначити величину, на яку підвищиться тиск при гідравлічному ударі, ΔP . Застосовуємо теорему збереження імпульсу сили. Необхідно враховувати той факт, що швидкість рідини дорівнює 0, тому що кінетична енергія ударної хвилі перетворюється на потенційну енергію.

Формула для визначення імпульсу сили, під дією якого відбувається рух ділянки рідини:

$$(\omega(P + \Delta P) - \omega P)dt = \omega \Delta P dt \quad (2.15)$$

Зміна кількості руху об'єму, що розглядається, довжиною dL буде

$$(\omega dL \rho V) - (\omega dL \rho 0) = \omega dL \rho V \quad (2.16)$$

Прирівнюючи отримані висловлювання по теоремі про збереження кількості руху, отримаємо:

$$\omega \Delta P dt = \omega dL \rho V \quad (2.17)$$

Виражаємо величину підвищення тиску ΔP :

$$\Delta P = \rho V \frac{dL}{dt} \quad (2.18)$$

Замінюючи дріб швидкістю a , отримуємо остаточний вираз визначення підйому тиску при гідравлічному ударі:

$$\Delta P = \rho V a, \quad (2.19)$$

де V – швидкість рідини у трубопроводі до виникнення гідроударі,

ρ - густина рідини;

a - швидкість поширення ударної хвилі.

Якщо цю формулу підставити вираз описує a , то прийдемо до формули:

$$\Delta P = \rho V \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{D}{E_T \delta} + \frac{1}{E_P} \right)}} \quad (2.20)$$

Підставимо в отриману формули дані з даної нафтоперекачувальної станції $D = 1,22$ м; $V = 1,5$ м/с; $\rho = 850$ кг/м³; $\sigma = 0,014$ м; $E_T = 2,6 \cdot 10^{11}$; $E_P = 2 \cdot 10^9$.

$$\Delta P = \rho V \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{D}{E_T \delta} + \frac{1}{E_P} \right)}} = 850 \cdot 1,5 \frac{1}{\sqrt{850 \cdot \left(\frac{1,22}{2,6 \cdot 10^{11} \cdot 0,014} + \frac{1}{2 \cdot 10^9} \right)}} = 1513264 \text{ Па} = 1,5 \text{ МПа} \quad (2.21)$$

Обчислюємо швидкість поширення ударної хвилі нафти за формулою

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{D}{E_m \delta} + \frac{1}{E_{жс}} \right)}} = \frac{\sqrt{\frac{E_{жс}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D E_{жс}}{E_m \delta}}}, \quad (2.22)$$

де δ - товщина стінки трубопроводу, що дорівнює 14 мм.

d - внутрішній діаметр трубопроводу;

E_T - модуль пружності матеріалу труби,

E_P - модуль пружності рідини.

Підставивши числові значення, отримуємо:

$$a = \frac{1}{\sqrt{850 \cdot \left(\frac{1,22}{2,6 \cdot 10^{11} \cdot 0,014} + \frac{1}{2 \cdot 10^9} \right)}} = 1186,87 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Загальний тиск у нафтопроводі при гідравлічному ударі:

$$P = P_{\text{роб}} + \Delta P = 4,3 + 1,51 = 5,81 \text{ МПа} \quad (2.23)$$

2.3 Призначення системи згладжування хвиль тиску

Під час експлуатації магістральних нафтопроводів регулярно здійснюються запуски й зупинки перекачувальних станцій (ПС). Зупинки поділяють на планові та аварійні. Планові зупинки потрібні для корегування режиму транспортування нафти, тоді як аварійні зумовлені спрацюванням систем захисту або порушенням електропостачання.

Аварійна зупинка спричиняє утворення хвилі підвищеного тиску на вході перекачувальної станції, яка поширюється проти потоку нафтопроводу. У більшості випадків така хвиля викликає перевищення тиску в окремих ділянках нафтопроводу вище гранично допустимого рівня, що визначається міцністю труби. Коли ця хвиля досягає попередньої перекачувальної станції, на її виході також спостерігається значне зростання тиску.

Для запобігання перевищенню допустимого робочого тиску використовується система автоматичного регулювання тиску (САРТ), яка розташована на нагнітальній лінії ПС і виконує функцію обмеження тиску на її виході. САРТ забезпечує підтримання тиску в межах заданих значень за рахунок часткового закриття регулювальних заслінок. Якщо ж тиск у нагнітальній лінії перевищує встановлений максимум, активується перший ступінь захисту, що вимикає насосний агрегат. Однак якщо після цього тиск продовжує зростати й перевищує граничнодопустимий рівень, спрацьовує другий ступінь захисту, що призводить до повного відключення станції.

Швидкість зростання тиску на вході ПС може становити від 0,1 до 0,3 МПа/с залежно від часу зупинки насосних агрегатів. Високе прискорення росту тиску формує хвилю підвищеного тиску, яка поширюється зі швидкістю звуку до попередньої станції. Незважаючи на поступове згасання хвилі під час руху по трубопроводу, її фронт залишається настільки крутим, що через інерцію регулювальна заслінка САРТ не встигає своєчасно знизити тиск на виході насоса. Це спричиняє вимкнення насосів або всієї ПС, що різко знижує загальний тиск. У свою чергу, це створює на попередній станції хвилю короточасного стрибка тиску вище заданого рівня.

До моменту досягнення хвилею підвищеного тиску попередньої насосної станції на більшій частині лінійного сегмента нафтопроводу тиск встигає досягти максимального значення. Таким чином, навіть прикриття регулювальної заслінки чи спрацювання системи захисту у момент досягнення хвилею станції не допомагає знизити піковий тиск по всій довжині ділянки нафтопроводу.

Для запобігання перевищення допустимого рівня тиску під час зупинки одного або кількох насосних агрегатів необхідно зменшити крутість фронту хвилі підвищеного тиску. З цією метою застосовується система згладжування хвиль тиску (СЗХТ), яка знижує інтенсивність фронтального збільшення тиску та мінімізує небезпеку для трубопроводу.

Зниження хвилі тиску за допомогою системи згладжування хвиль тиску (СЗХТ) досягається завдяки частковому скиданню нафти у скидний резервуар через клапани СЗХТ. Такий підхід дозволяє ефективно регулювати надлишковий тиск у трубопроводі та запобігати його різким стрибкам.

Головне призначення СЗХТ полягає у тому, щоб не допустити перевищення швидкості зростання тиску на вході до перекачувальної станції понад встановлене нормативне значення. У контексті магістральних нафтових трубопроводів ця система має гарантувати підтримання швидкості зростання тиску в межах, що не перевищують 0,01–0,03 МПа/с.

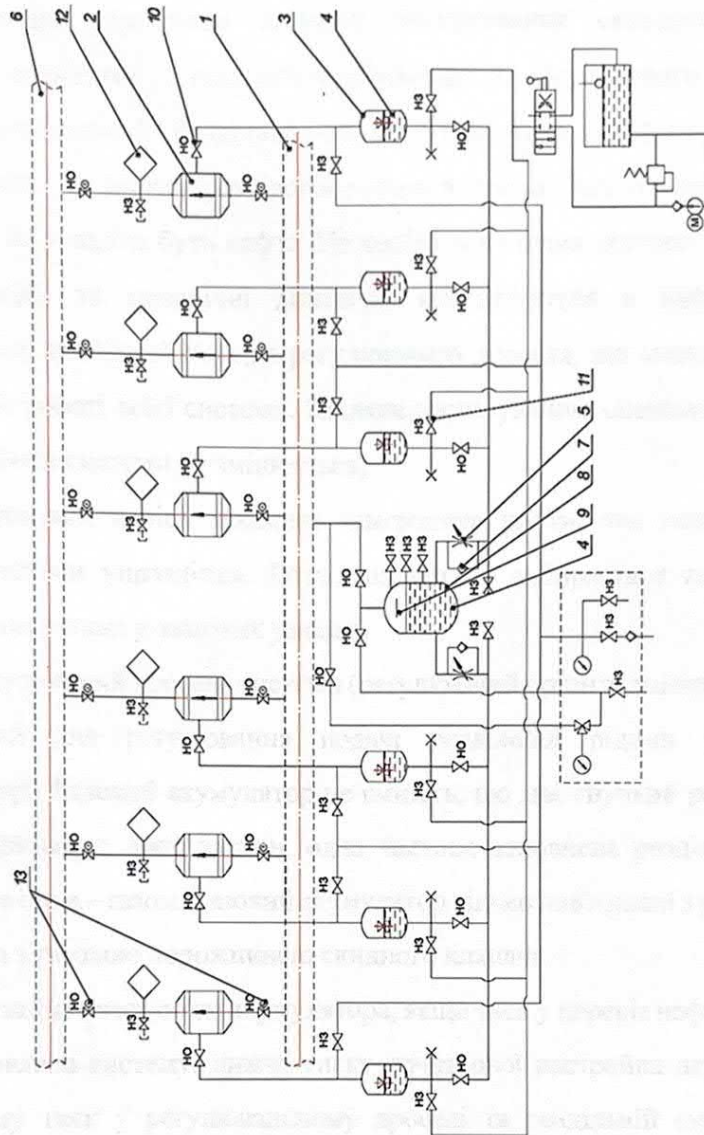
Крім того, механізм згладжування хвиль тиску зобов'язаний автоматично спрацьовувати у разі підвищення тиску в нафтовому трубопроводі на величину, яка не перевищує 0,3 МПа від значення, що фіксується у газовому акумуляторі СЗХТ.

2.4 Склад системи згладжування хвиль тиску

Система згладжування хвиль тиску має дві функціональні частини: система управління та скидний пристрій. На рис. 2.1, 2.2 представлена принципова схема системи та її зовнішній вигляд.



Рис. 2.1 Зовнішній вигляд системи згладжування «Argon»



1 – приймальний (захищасий) трубопровід; 2 – клапан; 3 – газовий акумулятор; 4 – розділова рідина; 5 – регульований дрослюючий клапан; 6 – трубопровід ємності скидання ударної хвилі; 7 – зворотний клапан; 8 – розділова ємність; 9 – робоче середовище; 10 – нормально відкрита трубопровідна арматура (НО); 11 – нормально закрити трубопровідна арматура (НЗ); 12 – сигналізатор наявності потоку робочого середовища; 13 – засувки на вході та виході клапанів з електроприводами (відсічні)

Рис. 2.2 Принципова технологічна схема системи згладжування «Arcron»

Система управління системи згладжування складається таких основних елементів з газового акумулятора 3, регулюючого дроселя 5, ємності роздільної 8. Роздільна ємність з'єднується з нафтопроводом. Її призначення - це подача розділової рідини в газовий акумулятор, причому як рідини не повинна бути нафта. Це необхідно з таких причин:

парафін та механічні домішки, які містяться в нафті можуть зменшувати прохідний переріз регулюючого дроселя, що може негативно зашкодити роботі всієї системи. Завдяки застосуванню спеціальної рідини режим роботи системи не змінюється;

у зимовий період можливе замерзання нафти, яка знаходиться в трубах системи управління. Роздільна рідина вибирається так, щоб не сталося замерзання у зимових умовах.

Регулюючий дросель системи (регулюючий орган зі змінним опором) необхідний для регулювання подачі розділової рідини у газовий акумулятор. Газовий акумулятор це ємність, що має гнучкий роздільник і що складається з двох частин, одна частина заповнена розділювальною рідиною, а інша – газом. Газовий акумулятор вільно пов'язаний з роздільною ємністю та з газовою порожниною скидного клапана.

Газ займає весь об'єм акумулятора, якщо тиск у переріз нафтопроводу, де встановлено систему, нижче тиску початкової настройки акумулятора. При цьому тиск у регулювальному дроселі та роздільній ємності буде нижчим за тиск газу в акумуляторі та рівний тиску в основному трубопроводі. Одна система згладжування хвиль тиску може складатися з декількох скидних клапанів та газових акумуляторів.

2.5 Принцип дії системи згладжування хвиль тиску

Коли відбувається збільшення тиску в нафтопроводі, то тиск у розділової ємності, а разом з нею і в регулюючому дроселі збільшується. Підвищення тиску газу в газовому акумуляторі відбувається не відразу за

умови, якщо тиск у нафтопроводі нижчий тиску в газовому акумуляторі. Потік розділювальної рідини в газовий акумулятор починається відразу після перевищення тиску у нафтопроводі над тиском в акумуляторі. Під час натікання рідини в акумулятор відбувається підтискання газової порожнини акумулятора та відповідно, тиск газу підвищується. Як тільки відбувається підвищення тиску в нафтопроводі розділювальна рідина через дросель починає надходити в акумулятор і відбувається підвищення тиску газу в газовому акумуляторі, це відбувається відразу, як тільки початковий тиск у нафтопроводі стане вищим або рівним початковому настроювальному тиску в акумуляторі. Налаштування регулюючого дроселя допомагає встановити необхідну витрату натікання розділювальної рідини в акумулятор та темп підвищення тиску в газовому акумуляторі. Важливо пам'ятати, що зміна тиску в газовій порожнині скидного клапана та газу в акумуляторі відбувається одноразово.

При підвищенні тиску в нафтопроводі зусилля, спрямоване на відкриття скидного клапана, збільшується. Як було сказано раніше, клапан відкривається, коли тиск нафти у нафтопроводі перевищить тиск газу всередині клапана на 0,1-0,3 МПа. Якщо тиск у нафтопроводі починає плавно збільшуватися, відбувається перетікання розділювальної рідини з розділювальної ємності в акумулятор так, що різниця тисків між нафтою в нафтопроводі та газом у скидному клапані не перевищує порогового значення 0,1-0,3 МПа, отже, клапан залишається закритим. Якщо відбувається різке підвищення тиску нафтопроводі, то підвищення тиску в газовому акумуляторі відстає від тиску в нафтопроводі внаслідок того, що рідина натікає в акумулятор повільно. Ця ситуація призводить до того, що різниця тиску між газом усередині скидного клапана та нафтою в нафтопроводі перевищує граничне значення, отже, клапан відкривається і нафта скидається у ємність. При цьому тиск у трубопроводі встановлюється на рівні початкового настроювального тиску газового акумулятора.

Спочатку витрата нафти через клапан є максимальною і приблизно дорівнює витраті нафти нафтопроводом. Саме з цієї причини у початковий момент клапан ССВС повинен бути відкритий так, щоб забезпечувалося необхідне скидання нафти. Різне стискання пружини клапана відповідає різному ступеню його відкриття. Для віджимання пружини на необхідну величину необхідно створити додатковий перепад тиску на поршні клапана між газом та нафтою. Через регулюючий дросель розділювальна рідина надходить у акумулятор через різницю тиску між газом і нафтою, тим самим тиск в акумуляторі повільно підвищується, отже, підвищується тиск у газовій порожнині клапана. Чим вищий тиск у нафтопроводі, тим менша витрата скидання. Завдяки прикриттю клапана системи відбувається зменшення витрати скидання нафти. Клапана системи будуть прикриватися, а тиск газу в акумуляторі продовжуватиме підвищуватись. Це буде відбуватися, доки не припиниться скидання нафти через систему згладжування. Регулюючий дросель має бути налаштований так, щоб розділювальна рідина, що витікає в газовий акумулятор, забезпечувала темп підвищення тиску 0,01-0,03 МПа/с.

2.6 Висновки з другого розділу

Визначено швидкість поширення ударної хвилі, що враховує пружні властивості рідини, матеріалу труби та геометричні параметри трубопроводу. Обчислена швидкість хвилі становить 1513 м/с, а граничний підйом тиску при гідроударі – 1,5 МПа.

Запропоновано переоснащення нафтоперекачувальної станції, що дозволяє забезпечити захист обладнання та трубопроводу від перевантажень і пошкоджень; підвищити довговічність та ефективність роботи нафтоперекачувальної станції та мінімізувати ризики екологічних катастроф через аварійні ситуації.

Система згладжування хвиль тиску запропоновано встановити на вхідному трубопроводі нафтоперекачувальної станції для зменшення крутості фронту хвилі підвищеного тиску, що утворюється під час аварійних або планових зупинок насосних агрегатів. В системі регулюючий дросель має бути налаштований так, щоб розділювальна рідина, що витікає в газовий акумулятор, забезпечувала темп підвищення тиску 0,01-0,03 МПа/с.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЗГЛАДЖУВАННЯ ХВИЛЬ ТИСКУ

3.1 Рівняння, що описують роботу системи згладжування хвиль тиску

Як тільки відбувається спрацювання системи, нафта через скидні клапани скидається в резервуар. При цьому зв'язок витрат нафти в трубопроводі до і після перерізу, де встановлено систему, описується наступним рівнянням:

$$Q^- - Q^+ = Q_{сб} \quad (3.1)$$

де Q^- – витрата в перерізі нафтопроводу до місця підключення системи;

Q^+ – витрата у перерізі нафтопроводу після місця підключення ССВС;

$Q_{сб}$ – витрата нафти через клапана системи при скиданні.

Витрата нафти через клапан системи при скиданні в резервуар визначається за формулою:

$$Q_{сб} = N_{пер} \cdot C_{v_{кл}} \cdot \sqrt{\frac{p_H - p_{вых}}{G}} \quad (3.2)$$

де $C_{v_{кл}}$ – коефіцієнт витрати скидного клапана системи;

p_H – тиск у перерізі трубопроводу, де встановлена система;

$p_{вых}$ – тиск на виході скидних клапанів;

$N_{пер}=0,865$ – коефіцієнт перерахунку;

G – питома густина рідини, що перекачується.

Коефіцієнт витрати скидного клапана системи може бути або постійною величиною, або функцією різниці тиску в нафтопроводі та газовому акумуляторі ($P_H - P_{AK}$).

У разі лінійної залежності зв'язок $Cv_{кл}$ та ($P_H - P_{AK}$). Описується наступним способом

$$Cv_{кл} = \gamma(p_H - p_{AK} - \Phi_{пор}) \quad (3.3)$$

де γ – коефіцієнт нахилу даної лінійної залежності;

$\Phi_{пор}$ – різниця тиску нафти в нафтопроводі та тиску газу в газовому акумуляторі, при якій клапани системи відкриваються.

Щоб забезпечити необхідний обсяг перетікання роздільною рідини з роздільної ємності в газовий акумулятор застосовують регулюючий дросель. Витрата розділової рідини через регулюючий дросель визначають за формулою:

$$Q_{др} = N_{пер} \cdot Cv_{др} \cdot \sqrt{\frac{|p_H - p_{AK}|}{\rho_{рж}}} \cdot \text{sign}(p_H - p_{AK}) \quad (3.4)$$

де $Cv_{др}$ – коефіцієнт витрати регулюючого дроселя системи;

$P_{ак}$ – тиск розділової рідини в газовому акумуляторі системи;

$\rho_{рр}$ – питома густина розділової рідини; $\text{sign}(P_H - P_{ак}) = 1$, якщо $(P_H - P_{ак}) \geq 0$ і $\text{sign}(P_H - P_{ак}) = -1$, якщо $(P_H - P_{ак}) < 0$.

Розділююча рідина, перетікаючи з розподільчої ємності в газовий акумулятор, викликає стиснення газової порожнини в акумуляторі, тим самим відбувається підвищення тиску в ньому. Закон збереження маси газу в газовому акумуляторі при ізотермічному стиску описує зміни тиску газу в акумуляторі системи

$$\frac{dp_{AK} V_{AK}}{dt} = 0 \quad (3.5)$$

де $V_{ак}$ – поточний об'єм газу в газовому акумуляторі системи.

Продиференціюємо вираз (3.5), отримаємо:

$$p_{ак} \frac{dV_{ак}}{dt} + V_{ак} \frac{dp_{ак}}{dt} = 0 \quad (3.6)$$

де $\frac{dV_{ак}}{dt}$ – зміна об'єму газу в газовому акумуляторі в часі.

Зміна даного об'єму газу відбувається за рахунок натікання в акумулятор розділової рідини через регулюючий дросель.

Звідси справедливо таке:

$$\frac{dV_{ак}}{dt} = -Q_{др} \quad (3.7)$$

Виразимо значення поточного об'єму газу в акумуляторі через початкові значення об'єму газу та його тиску :

$$V_{ак} = \frac{p_0 V_0}{p_{ак}} \quad (3.8)$$

Вираз (3.4) набуває вигляду:

$$\frac{dp_{ак}}{dt} = \frac{p_{ак}^2 N_{пер} C_{vдр}}{p_0 V} \cdot \sqrt{\frac{|p_H - p_{ак}|}{G_{рж}}} \cdot \text{sign}(p_H - p_{ак}) \quad (3.9)$$

Диференціальне рівняння (3.9) визначає роботу газового акумулятора спільно з регулюючим дроселем системи. Таким чином, математична модель системи являє собою систему диференціальних та алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dp_{ак}}{dt} = \frac{p_{ак}^2 N_{пер} C_{vдр}}{p_0 V_0} \cdot \sqrt{\frac{p_H - p_{ак}}{G_{р.р.}}} \cdot \text{sign}(p_H - p_{ак}), \\ Q_{сб} = N_{пер} \cdot C_{vкл} \cdot \sqrt{\frac{p_H - p_{вих}}{G}}, \\ C_{vкл} = \gamma \cdot (p_H - p_0 - \Delta p_{отк}), \\ Q^- - Q^+ = Q_{сб}. \end{cases} \quad (3.10)$$

3.2 Дослідження вибору параметрів системи згладжування хвиль тиску

Система управління згладжуванням хвиль тиску описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{dp_{AK}}{dt} = \frac{p_{AK}^2 N_{ПЕР} C v_{ДР}}{p_0 V_0} \cdot \sqrt{\frac{|p_H - p_{AK}|}{G_{РЖ}}} \cdot \text{sign}(p_H - p_{AK}) \quad (3.11)$$

Різниця тиску між тиском нафти і в газовому акумуляторі позначимо як Φ , отже, $p_{AK} = p_H - \Phi$. Виражаючи тиск у газовому акумуляторі через тиск нафти та різницю тисків Φ , отримуємо:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{dp_H}{dt} - (p_H - \Phi)^2 \cdot \frac{N_{ПЕР} C v_{ДР}}{p_0 V_0 \sqrt{G_{РЖ}}} \cdot \sqrt{|\Phi|} \cdot \text{sign}(\Phi) \quad (3.12)$$

Розглянемо два випадки зміни тиску нафти у перерізі нафтопроводу, де встановлено систему згладжування: 1. плавне; 2. стрибкоподібне.

Перший випадок моделює штатну зміну тиску на ПС, наприклад зміна режиму перекачування. У цьому випадку слід зрозуміти, за яких умов і параметрів системи управління відбудеться небажане спрацювання системи згладжування.

Другий випадок моделює зупинку ПС. Тут припускаємо, що система згладжування хвиль тиску забезпечує необхідну швидкість зростання тиску вхіді ПС. В даному випадку необхідно визначити час роботи системи залежно від її параметрів.

У першому випадку припускаємо плавне збільшення тиску в нафтопроводі за лінійним законом $p_H(t) = p_0 + vt$ зі швидкістю $v = dp_H/dt = \text{const}$. Підставивши цей закон зміни тиску (3/12), отримуємо:

$$\frac{d\Phi}{dt} = v - (p_0 + vt - \Phi)^2 \cdot \frac{N_{ПЕР} C v_{ДР}}{p_0 V_0 \sqrt{G_{РЖ}}} \sqrt{|\Phi|} \cdot \text{sign}(\Phi) \quad (3.13)$$

За допомогою безрозмірних змінних, які введені згідно рівностям:

$$\bar{\Phi} = \frac{\Phi}{p_0}, \quad (3.14)$$

$$\bar{p}_H = \frac{p_H}{p_0}, \quad (3.15)$$

$$\bar{\tau} = \frac{vt}{p_0}, \quad (3.16)$$

надамо виразу (3.13) такий вигляд:

$$\frac{d\bar{\Phi}}{d\bar{\tau}} = 1 - a \cdot (1 + \bar{\tau} - \bar{\Phi})^2 \cdot \sqrt{|\bar{\Phi}|} \cdot \text{sign}(\bar{\Phi}). \quad (3.17)$$

Рівняння (3.17) містить єдиний безрозмірний параметр:

$$a = \frac{N_{\text{ПЕР}} C \nu_{\text{ДР}} p_0 \sqrt{p_0}}{\nu V_0 \sqrt{G_{\text{РР}}}}. \quad (3.18)$$

Цей параметр включає всі основні параметри системи управління: об'єм газового акумулятора, початковий настроювальний тиск, коефіцієнт витрати регулюючого дроселя. На рисунку 3.1 представлено рішення для вихідних даних $p_0 = 0,7$ МПа, $\nu = 0,01$ МПа/с та $\Phi_{\text{пор}} = 0,1$ МПа.

Спочатку клапан системи закритий, оскільки тиск у нафтопроводі не перевищує тиск у газовій порожнині клапана, отже $\Phi(0) = 0$.

Будуємо діаграму для магістрального нафтопроводу Ду 1220 мм, було побудовано графік «зміна безрозмірного перепаду тисків при різних значеннях безрозмірного параметра у разі стрибкоподібного підвищення тиску в початковий момент» для значень 0; 0,28; 1,28; 1,78; 2,78 при інтервалі 0,5 при координатах X, Y (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Координати точок відповідних коефіцієнтів a у разі плавного підвищення тиску у початковий момент часу

Безрозмірний параметр, $a = \frac{N_{\text{пер}} C_{\text{вдр}} p_0 \sqrt{p_0}}{v V_0 \sqrt{G_{\text{рж}}}}$	Час, с	Час, $\bar{t} = \frac{vt}{p_0}$	Безрозмірний перепад тисків, $\bar{\Phi} = \frac{\Phi}{p_0}$
0	0	0	0
	14	0,2	0,2
	28	0,4	0,4
	42	0,6	0,6
	56	0,8	0,8
0,28	0	0	0
	28	0,4	0,32
	42	0,6	0,5
	49	0,7	0,6
0,78	0	0	0
	28	0,4	0,31
	42	0,6	0,42
	56	0,8	0,52
	72	1,02	0,6
	92	1,31	0,6
	98	1,4	0,58
1,28	0	0	0
	28	0,4	0,21
	42	0,6	0,23
	56	0,8	0,165
	70	1	0,08
	84	1,2	0,03
	98	1,4	0,025
1,78	0	0	0
	28	0,4	0,24
	42	0,6	0,28
	56	0,8	0,26
	70	1	0,2
	84	1,2	0,1
	98	1,4	0,035
2,28	0	0	0
	28	0,4	0,0116
	42	0,6	0,09
	56	0,8	0,04
	70	1	0,0213
	84	1,2	0,02
2,78	0	0	0
	28	0,4	0,116
	42	0,6	0,09
	56	0,8	0,025
	70	1	0,0213
	84	1,2	0,02

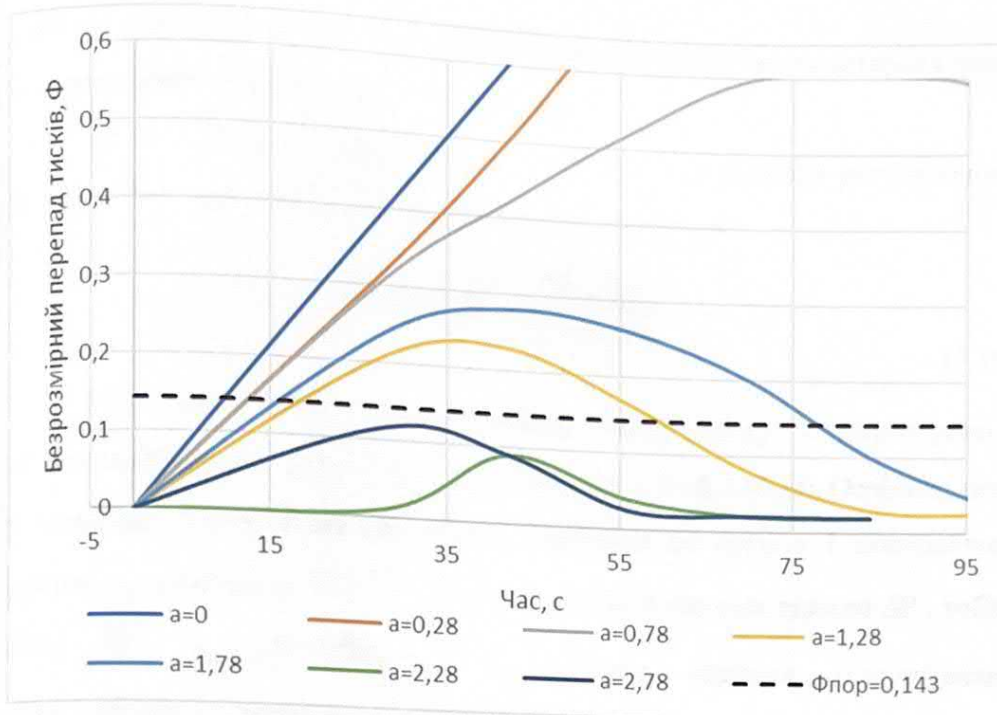


Рис. 3.1 Зміна безрозмірного перепаду тисків $\bar{\Phi}$ за різних значень безрозмірного параметра a у разі плавного підвищення тиску \bar{p}_n в початковий момент

Якщо регулюючий дросель закрити, тобто $a=0$, при цьому різниця тисків у трубопроводі і газовому акумуляторі збільшується, то в певний момент $\tau - \tau^*$ ця різниця виявиться рівною пороговому значенню, скидний клапан відкриється і залишатиметься в такому положенні постійно.

У цьому випадку система згладжування функціонує як запобіжний клапан. Якщо $a > 0$, то різниця тисків спочатку збільшуватиметься, але досягнувши максимального значення, поступово зменшуватиметься до нуля.

Наприклад, для кривої $a = 1,28$ (рисунок 3.1) клапана системи відкриються через $\tau = 0,2$ або $t = 14$ с, а закриються в момент $\tau = 0,85$ або $t = 60$ с. З рис. 3.1 видно, що існує таке значення a^* (у прикладі $a^* = 1,78$, крива 3), при якому рішення стосується порогової прямої $\bar{\Phi} = \bar{\Phi}_{пор}$ пор відповідно всі криві $\bar{\Phi}(\tau)$, відповідні $a > a^*$, лежать нижче цієї прямої. У цьому випадку

система ніколи не відкриється. Для значень $0 < a < a^*$ існує інтервал часу, протягом якого клапани системи відкриті.

Таким чином, можна визначити коефіцієнти витрати регулюючого дроселя $Cv_{др}$, при яких система ніколи не відкриється:

$$Cv_{др} > a^* \cdot \frac{vV_0\sqrt{G_{рж}}}{N_{пер}p_0\sqrt{p_0}} \quad (3.19)$$

Розглянемо тепер стрибкоподібну зміну тиску в нафтопроводі початковий момент на величину Δp (наприклад, на 0,3 МПа). Оскільки тиск у газовому акумуляторі при цьому змінитися не встигає і залишається рівним P_0 , то різниця $\Phi = p_n - p_{ак}$ так само миттєво стає рівною Δp , тобто $\Phi(0) = \Delta p$. Якщо $\Delta p > \Phi_{пор}$, то клапани системи згладжування відкриваються і забезпечуються часткове скидання нафти з трубопроводу в резервуар. Однак необхідно, щоб клапан залишався відкритим протягом деякого інтервалу часу 50-100 с, оскільки саме скидання нафти згладжує хвилю підвищеного тиску, що виникає в трубопроводі. Припустимо, що тиск у нафтопроводі змінюється за лінійним законом $p_n(t) = p_1 + vt$, де $p_1 = p_0 + \Delta p$. З (3.12) отримуємо рівняння:

$$\frac{d\bar{\Phi}}{d\tau} = 1 - a(\bar{p}_1 + \tau - \bar{\Phi})^2 \cdot \sqrt{|\bar{\Phi}|} \cdot \text{sign}(\bar{\Phi}), \quad (3.20)$$

де $\bar{p}_1 = 1 + \Delta p/p_0$.

У цьому випадку це рівняння слід вирішити з початковою умовою. На рис. 3.2 подано рішення рівняння (3.20) для різних значень параметра a . За аналогією діаграм (рис.3.1) для магістрального нафтопроводу D_u 1220 мм, побудований графік «зміна безрозмірного перепаду тисків при різних значеннях безрозмірного параметра у разі скачування тиску в початковий момент» для значень коефіцієнта $a = 0; 0,28; 0,78; 1,28; 1,78; 2,28; 2,78$ при інтервалі 0,5 за наступними значеннями X, Y .

Таблиця 3.2 – Координати точок відповідних коефіцієнтів a у разі стрибкоподібного підвищення тиску у початковий момент часу

Безрозмірний параметр, $a = \frac{N_{\text{пер}} C_{\text{вдр}} p_0 \sqrt{p_0}}{v V_0 \sqrt{G_{\text{рж}}}}$	Час, с	Час, $\bar{t} = \frac{vt}{p_0}$	Безрозмірний перепад тисків, $\bar{\Phi} = \frac{\Phi}{p_0}$
0	0	0	0
	14	0,2	0,2
	28	0,4	0,4
	42	0,6	0,6
	56	0,8	0,8
0,28	0	0	0
	28	0,4	0,32
	42	0,6	0,5
	49	0,7	0,6
0,78	0	0	0
	28	0,4	0,28
	42	0,6	0,36
	56	0,8	0,39
	71,4	1,02	0,365
	98	1,4	0,3
	98	1,4	0,18
	98	1,4	0,18
1,28	0	0	0
	28	0,4	0,21
	42	0,6	0,23
	56	0,8	0,165
	70	1	0,08
	84	1,2	0,03
	98	1,4	0,025
	98	1,4	0,025
1,78	0	0	0
	28	0,4	0,116
	42	0,6	0,09
	56	0,8	0,04
	70	1	0,025
	84	1,2	0,0213
	98	1,4	0,02
2,28	0	0	0
	28	0,4	0,092
	42	0,6	0,06
	56	0,8	0,035
	70	1	0,033
	84	1,2	0,023
	98	1,4	0,018
2,78	0	0	0
	28	0,4	0,055
	42	0,6	0,08
	56	0,8	0,04
	70	1	0,032
	84	1,2	0,025
	98	1,4	0,017

рівняння (3.20), перетинається з прямою $\bar{\Phi}(\tau^*) = \Phi_{пор}$. Таким чином, коефіцієнт витрати регулюючого дроселя $Cv_{др}$ повинен задовольняти нерівності

$$Cv_{др} \leq a^{**} \cdot \frac{vV_0\sqrt{G_{рж}}}{N_{пер}p_0\sqrt{p_0}} \quad (3.21)$$

В цьому випадку клапани ССЗД залишаються відкритими протягом часу, не менш заданого.

Нехай, наприклад, при швидкості збільшення тиску $v = 0,01$ МПа/с, потрібно, щоб клапан системи згладжування залишався відкритим протягом $t = 80$ с ($\tau = 1,16$, крива 5), тоді з графіків (див. рис. 3.2) видно, що регулювальний дросель потрібно встановити в положення $a^{**} = 0,78$. Наприклад, якщо $V_0 = 0,3$ м³, $p_0 = 0,7$ МПа, то обмеження для коефіцієнта $Cv_{др}$ визначається з наступної нерівності:

$$Cv_{др} \leq 5,3 \quad (3.22)$$

В окремих випадках вдається налаштувати систему так, щоб коефіцієнт регулюючого дроселя задовольняв відразу обох нерівностей:

$$a^* \cdot \frac{vV_0\sqrt{G_{рж}}}{N_{пер}p_0\sqrt{p_0}} < Cv_{др} \leq a^{**} \cdot \frac{vV_0\sqrt{G_{рж}}}{N_{пер}p_0\sqrt{p_0}} \quad (3.23)$$

у цих випадках система згладжування не реагує на малі швидкості збільшення тиску, і клапан залишається закритим, а при швидкому збільшенні тиску клапан відкривається і забезпечує скидання нафти в резервуар.

У тих випадках, коли $a^{**} > a^*$ повне налаштування системи згладжування виконати не вдається і доводиться налаштовувати систему таким чином, щоб вона виконувала свою основну мету - згладжувала хвилі підвищеного тиску, що виникають при зупинці ПС. Однак у такому разі можуть виникати помилкові спрацювання системи згладжування тиску при повільному підвищенні тиску в трубопроводі.

Розглянемо на прикладі вплив параметрів системи управління на режим роботи всієї системи. Основними параметрами системи управління є: коефіцієнт витрати регулюючого дроселя; об'єм газового акумулятора; початковий тиск настроювання газового акумулятора .

Як приклад розглядається магістральний нафтопровід 1220 мм, що перекачує нафту щільністю 850 кг/м^3 із витратою $6650 \text{ м}^3/\text{год}$. Проводиться розрахунок перехідних процесів, викликаних зупинкою НПС, встановленій на даному трубопроводі. НПС обладнана системою згладжування тиску. Тиск на вході станції на вихідному режимі становить $0,8 \text{ МПа}$. Параметри скидного клапана системи згладжування тиску обрані таким чином, що він забезпечує необхідну витрату скидання без додаткового підвищення тиску.

Для того, щоб клапан системи згладжування відкрився тиск у трубопроводі має перевищити тиск у газовому акумуляторі на $0,2 \text{ МПа}$. Як вихідні параметри системи управління приймаються: $P_0 = 0,8 \text{ МПа}$; $V_0 = 0,75$; $Cv_{др} = 3$.

На рис.3.3 представлені результати серії розрахунків спрацьовування системи згладжування хвиль тиску з різними коефіцієнтами витрати регулюючого дроселя $Cv_{др}$. З малюнка видно, що зі збільшенням коефіцієнта $Cv_{др}$ швидкість наростання тиску на вході ПС збільшується. Темп наростання тиску в газовому акумуляторі системи визначається витратою розділової рідини, яка надходить до нього. Натікання рідини у газовий акумулятор регулюється дроселем. Чим більший коефіцієнт витрати дроселя, тим більше розділової рідини надходить в акумулятор, це призводить до швидше заповнення акумулятора і відповідно до більш швидкого збільшення тиску в ньому.

Таблиця 3.3 – Координати точок відповідних коефіцієнтів при зміні тиску на вході НПС з системою згладжування при її зупинці

Коефіцієнтами витрати регулюючого дроселя $Cv_{др}$	Час, с	Тиск, МПа
0	12,3	10
	140	10
2	12,3	10
	140	15
3	12,3	10
	118	18
	140	18
4	12,3	10
	98	20
	140	20
6,5	12,3	10
	80	22,5
8,5	140	22,5
	12,3	10
	70	24
10	140	24
	12,3	10
	53	25
20	140	25
	12,3	10
	38	26
Система згладжування не спрацювала	140	26
	0	7,6
	11	7,6
	21	27,5
	21	27,5
	140	27,5

З рис. 3.3 також видно, що при прагненні коефіцієнта витрати регулюючого дроселя до нескінченності характер зміни тиску на вході станції не відрізняється від випадку зупинки НПС без системи. У цьому випадку розділювальна рідина натікає в газовий акумулятор настільки швидко, що час роботи системи мізерний. Також швидке натікання рідини в акумулятор може призвести до того, що скидні клапани системи просто не відкриються.

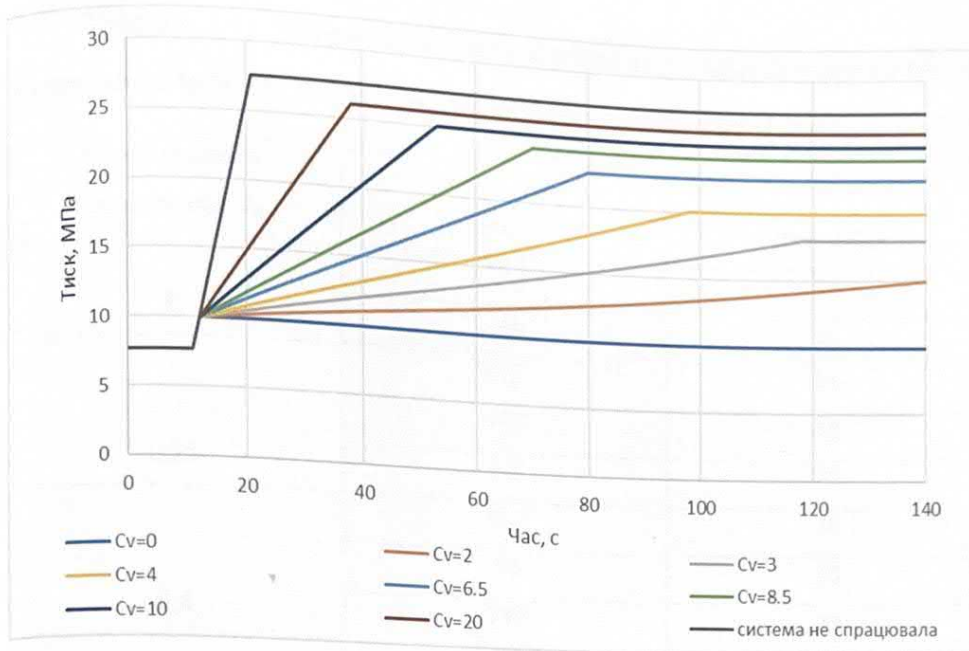


Рис. 3.3 Зміна тиску на вході ПС з системою захисту при її зупинці для різних значень коефіцієнта витрати регулюючого дроселя

Коли коефіцієнт $Cv_{др} = 0$ натікання рідини в акумулятор не відбувається, то тиск у ньому не збільшується. У цьому випадку система згладжування працює як запобіжний клапан: обмежує тиск у трубопроводі на заданому рівні. На рис. 3.4 представлені результати серії розрахунків спрацювання системи із різним об'ємом газового акумулятора V_0 . З малюнка видно, що зменшенні обсягу газового акумулятора системи швидкість наростання тиску на вході НПС збільшується. Темп наростання тиску в акумуляторі визначається тим, як швидко він заповнюється розділовою рідиною. При постійному коефіцієнті $Cv_{кл}$ можна вважати, що витрата рідини в акумулятор під час роботи не змінюється, в цьому випадку очевидно, що заповнення акумулятора з меншим об'ємом відбувається швидше, отже, швидше підвищується тиск у ньому, і навпаки. Координати точок, необхідних для побудови графіка «Зміна тиску на вході ПС при її зупинці для різних значень повного об'єму газового акумулятора системи згладжування» відображені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Координати точок відповідних значень повного об'єму V_0 при зміні тиску на вході НПС з системою захисту при її зупинці

Об'єм газового акумулятора V_0	Час, с	Тиск, МПа
0	12,3	10
	140	10
0,75	12,3	10
	118	18
	140	18
0,6	12,3	10
	98	20
	140	20
0,5	12,3	10
	98	22,5
	140	22,5
0,4	12,3	10
	80	22,5
	140	22,5
0,3	12,3	10
	80	25
	140	25
0,23	12,3	10
	53	25
	140	25
0,15	12,3	10
	38	26
	140	26
Система згладжування не спрацювала	0	7,6
	11	7,6
	21	27,5
	21	27,5
	140	27,5

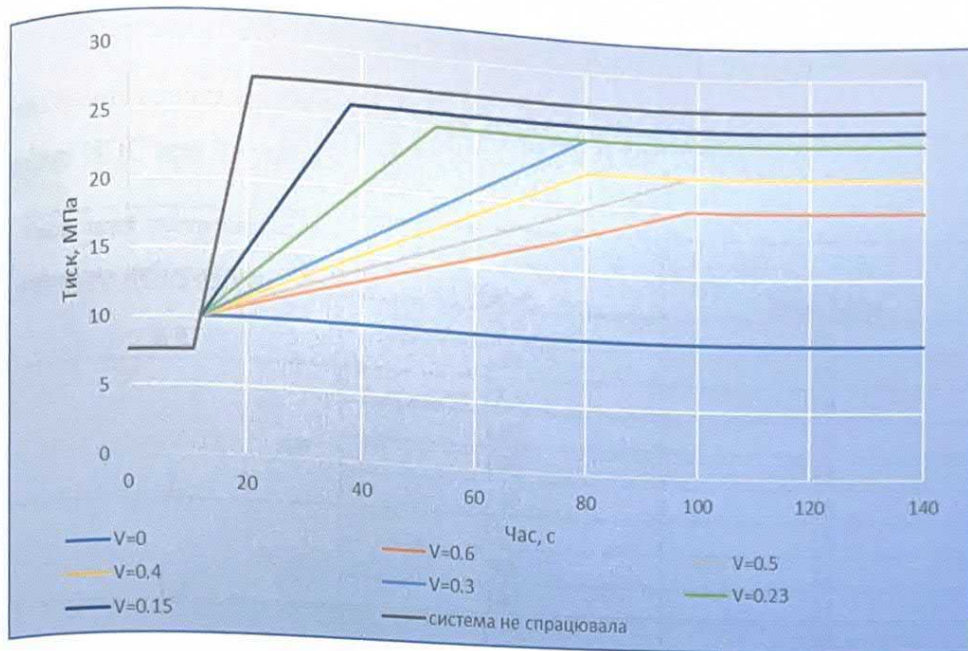


Рис. 3.4 Зміна тиску на вході НПС при її зупинці для різних значень повного об'єму газового акумулятора системи згладжування

Якщо обсяг акумулятора системи згладжування хвиль тиску прагне нескінченності $V_0 \rightarrow \infty$, то натікання роздільної рідини в акумулятор не буде впливати на тиск у ньому. У цьому випадку, аналогічно випадку $Cv_{кл} = 0$, система буде працювати як запобіжний клапан, обмежуватиме тиск у трубопроводі на заданому рівні. У протилежному випадку $V_0 \rightarrow 0$ заповнення акумулятора відбуватиметься настільки швидко, що час роботи системи прагне нуля. Зменшення обсягу акумулятора з певного моменту призводить до того, що система згладжування просто не спрацює.

Координати точок, необхідні для побудови графіка «Зміна тиску на вході НПС при її зупинці для різних значень початкового настроювального тиску газового акумулятора P_0 системи згладжування тиску» відображені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Координати точок відповідних значень настроювального тиску p_0 газового акумулятора системи згладжування на вході НПС при її зупинці

Тиск, який настроюється в газовому акумуляторі, p_0	Час, с	Тиск, МПа
0,8	12,9	10
	140	10
1	12,3	10
	110	10
	130	18
	140	18
1,2	12,4	10
	99	21
	140	21
1,4	12,3	10
	99	22
	140	22
1,6	12,3	10
	81	22,3
	140	22,3
1,8	12,3	10
	83	23,5
	140	23,5
2	12,3	10
	53	25
	140	25
Система згладжування не спрацювала	0	8,6
	13	8,6
	23	28,5
	23	28,5
	140	30,5

На рис. 3.5 представлені результати серії розрахунків спрацювання системи захисту з різним початковим тиском налаштування газового акумулятора p_0 . З рисунка видно, що зі збільшенням початкового настроювального тиску швидкість наростання тиску не змінюється. Відмінність полягає лише у тиску спрацювання системи згладжування та у тривалості роботи системи. Швидкість наростання тиску на вході станції змінюється зі зміною величини p_0 , т.як. об'єм акумулятора фіксований, а

витрата роздільної рідини в акумулятор заданий відповідним коефіцієнтом, тому швидкість заповнення не змінюється.

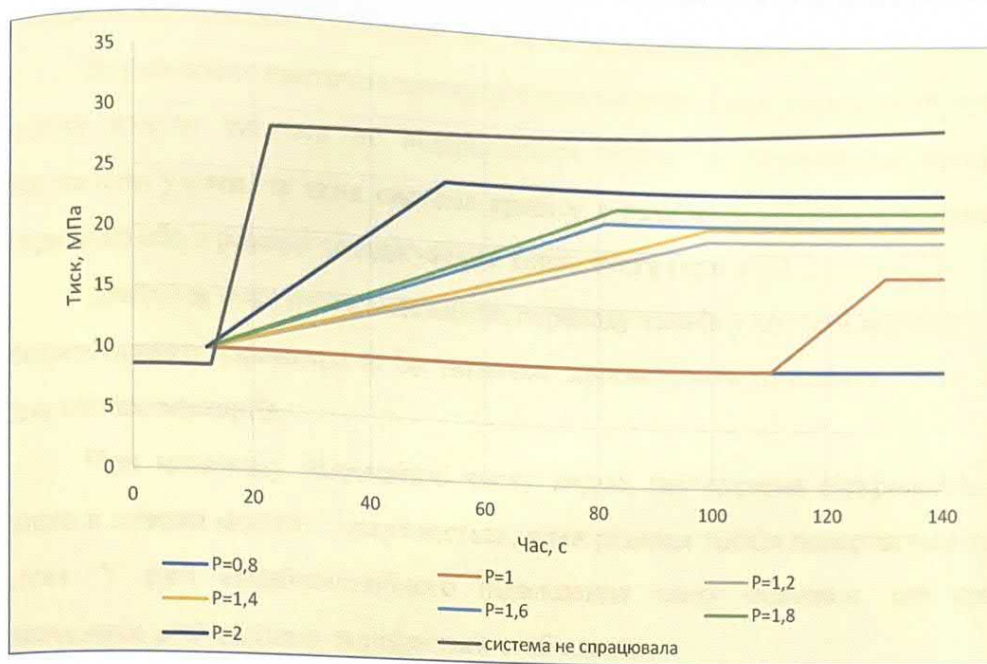


Рис. 3.5 Зміна тиску на вході ПС при її зупинці для різних значень початкового настроювального тиску газового акумулятора системи згладжування хвиль тиску.

3.3 Висновки з третього розділу

Робота системи згладжування хвиль тиску описується системою диференціальних та алгебраїчних рівнянь. Це дозволяє моделювати поведінку системи при різних змінах тиску в нафтопроводі. Вплив параметрів, таких як об'єм газового акумулятора, коефіцієнти витрат клапанів і дроселів, на динамічну поведінку системи вивчено на основі диференціальних рівнянь.

Проаналізовано роботу системи згладжування хвиль тиску при різних умовах. При плавному підвищенні тиску у трубопроводі система спрацьовує лише за умови досягнення порогової різниці тиску. Залежно від

налаштувань, клапан може залишатися відкритим лише певний час. У разі раптового підвищення тиску клапан відкривається миттєво. Його час роботи залежить від швидкості скидання нафти та параметрів дроселя.

Встановлено критичне значення безрозмірного параметра $a^* = 1,78$, при якому клапан системи не відкривається навіть за підвищення тиску. Визначено умови, за яких система працює в режимі запобіжного клапана (при $a=0$) або в режимі згладжування хвиль тиску (при $a>0$).

Діаграми показують залежність перепаду тисків у системі від часу та безрозмірного параметра a . Це дозволяє прогнозувати поведінку системи для різних сценаріїв.

При плавному підвищенні тиску видно, що система відкривається лише в певний момент і закривається, коли різниця тисків повертається до нуля. У разі стрибкоподібного підвищення тиску показано, що при значеннях $a>a^*$ система залишається стабільною.

Для уникнення зайвого спрацьовування системи в штатних умовах рекомендується регулювати коефіцієнт витрати дроселя так, щоб параметр a перевищував критичне значення a^* .

Дослідження підтверджує, що правильно підібрані параметри системи згладжування хвиль тиску забезпечують її ефективну роботу в різних умовах експлуатації. Важливим є оптимальний вибір безрозмірного параметра a , який враховує об'єм газового акумулятора, витратні характеристики клапанів і дроселів, а також початковий тиск у системі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розглянуто причини виникнення хвиль тиску і наслідки для основного обладнання нафтоперекачувальних станцій. Огляд сучасних засобів захисту від хвиль тиску виявив як переваги, так і недоліки цих способів. Зважаючи на високу швидкість протікання хвильових процесів, пріоритетним завданням є забезпечення своєчасного спрацьовування клапана скидання.

Запропоновано переоснащення нафтоперекачувальної станції, що дозволяє забезпечити захист обладнання та трубопроводу від перевантажень і пошкоджень; підвищити довговічність та ефективність роботи нафтоперекачувальної станції та мінімізувати ризики екологічних катастроф через аварійні ситуації. Систему згладжування хвиль тиску запропоновано встановити на байпасі приймального колектору насосів нафтоперекачувальної станції для зменшення крутості фронту хвилі підвищеного тиску, що утворюється під час аварійних або планових зупинок насосних агрегатів. Робота системи згладжування хвиль тиску описується системою диференціальних та алгебраїчних рівнянь. Це дозволяє моделювати поведінку системи при різних змінах тиску в нафтопроводі.

Проаналізовано роботу системи згладжування хвиль тиску при різних умовах. При плавному підвищенні тиску у трубопроводі система спрацьовує лише за умови досягнення порогової різниці тиску. Залежно від налаштувань, клапан може залишатися відкритим лише певний час. У разі раптового підвищення тиску клапан відкривається миттєво. Його час роботи залежить від швидкості скидання нафти та параметрів дроселя.

Встановлено критичне значення безрозмірного параметра a , при якому клапан системи не відкривається навіть за підвищення тиску. Визначено умови, за яких система працює в режимі запобіжного клапана (при $a=0$) або в режимі згладжування хвиль тиску (при $a>0$). Для уникнення зайвого спрацьовування системи при безаварійній роботі рекомендується

регулювати коефіцієнт витрати дроселя так, щоб параметр a не перевищував критичне значення a^* .

Дослідження підтверджує, що правильно підібрані параметри системи згладжування хвиль тиску забезпечують її ефективну роботу в різних умовах експлуатації. Важливим є оптимальний вибір безрозмірного параметра a , який враховує об'єм газового акумулятора, витратні характеристики клапанів і дроселів, а також початковий тиск у системі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Транспортування нафти, нафтопродуктів і газу: навч. посіб. / Л.Н. Ширін, О.В. Денищенко, С.Є. Барташевський, Є.А. Коровяка, В.О. Расцветаєв ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2019. – 203 с
2. Середюк М. Д. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / Середюк М. Д., Якимів Й. В., Лісафін В. П. – Івано-Франківськ: Кременчук, 2001. – 517 с.
3. ДСТУ 4611:2006 Магістральні трубопроводи. Терміни та визначення основних понять. : ДСТУ (Держ. Стандарт України) від 31.08.2017.
4. Середюк М. Д. Експериментальні дослідження перехідних процесів у магістральних нафтопроводах, спричинених зупинками насосних агрегатів / М. Д. Середюк, С. Я. Григорський // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2013. – № 2(35). – С. 16-29.
5. Григорський С. Я. Результати експериментальних досліджень закономірностей гідродинамічних процесів у нафтопроводі за зміни кількості працюючих насосних агрегатів / С. Я. Григорський, М. Д. Середюк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – № 1(50). – С. 161-172.
6. Платонов С. П. Пропозиції для модернізації системи згладжування хвиль тиску на НПС / С. П. Платонов ; наук. кер. І. Л. Бошкова // Проблеми формування здорового способу життя у молоді : зб. матеріалів XII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів з міжнар. участю, Одеса, 03–05 жовт. 2019 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій ; гол. ред. О. М. Кананихіна. – Одеса : ФОП Бондаренко М. О., 2019. – С. 425–426.
7. Григорський С. Я. Визначення положення та ступеня заповнення самопливних ділянок магістральних трубопроводів / С. Я. Григорський, М.

21. Sadykov B.B., Baygurin Zh.D., Imansakipova B.B., Kozhaev Zh.T. Development of methods for optimizing geodesic monitoring based on zoning. Resorce and resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Kryvyi Rih National University, Ukraine, 2018.
22. Thorley A. R. D. Fluid Transients in Pipeline Systems / A. R. D. Thorley. – 2nd ed. – [S. l.] : The American Society of Mechanical Engineers, 2004.