

**ВІДГУК**

офіційного опонента д.т.н., проф. Горбійчука М.І.  
на дисертаційну роботу

**Кріля Сергія Олександровича** на тему

«Автоматизація процесу керування гідродинамічним режимом  
магістрального нафтопроводу»,

яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за  
спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

**Актуальність теми.**

Нафта є стратегічно важливим ресурсом, адже вона є основою паливно-енергетичного комплексу та сировиною для багатьох хімічних виробництв. Тому у сучасному світі важливим завданням є забезпечення безперервного та надійного транспортування нафти. Територією України проходить магістральний нафтопровід «Дружба», який призначений для транспортування нафти з російських родовищ до країн Східної Європи та українських нафтопереробних заводів.

Одною з основних задач при транспортуванні нафти трубопроводом є захист трубопроводу від виникнення таких негативних явищ як гідродудар та кавітація. Для цього на нафтоперекачувальних станціях встановлюють системи автоматичного регулювання тиску нафти. Така система дозволяє згладжувати стрибки тиску, що розповсюджуються вздовж нафтопроводу, і які виникають при планових або аварійних зупинках насосних агрегатів, при проходженні очисних приладів або при інших технічних операціях.

У дисертаційній роботі Кріля С.О. вирішується актуальна наукова задача – розробка нової системи автоматичного керування гідродинамічним режимом магістрального нафтопроводу з покращеними показниками якості регулювання, яка забезпечить підвищення ефективності при відпрацюванні всіх потенційно можливих збурень гідродинамічного режиму

Вирішення поставленої наукової задачі дає змогу підвищити надійність експлуатації нафтопроводу, зменшити кількість аварійних зупинок та зменшити енергетичні втрати під час транспортування нафти.

**Зв'язок теми дисертації з науковими програмами і темами.** Тематика досліджень дисертації Кріля С.О. пов'язана із планом роботи кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Львівська політехніка» за напрямом «Методи та засоби обліку енергоносіїв та автоматизація технологічних процесів». Дослідження виконувались дисертантом в рамках держбюджетної теми: «Дослідження схем імпульсних регуляторів у промислових системах автоматизації», номер державної реєстрації 0116U004098 (2016-2017 рр.)

**Структура та зміст дисертаційної роботи.** Основна частина роботи складається із чотирьох розділів, у яких послідовно викладено суть вирішення задачі.

У **першому розділі** досліджено структуру магістрального нафтопроводу та проведено аналіз існуючих схем перекачування нафти та методів регулювання тиску нафти. Визначено, що схема перекачування «з насосу в насос» є найпоширеніша для проміжних нафтоперекачувальних станцій. Показано, що при застосуванні такої схеми важливим є забезпечення значення тиску нафти у встановлених межах, для вирішення цього завдання зазвичай застосовують метод дроселювання потоку нафти. Автором зроблений висновок, що існуючі системи регулювання тиску у нафтопроводі не забезпечують достатню швидкодію та надійність, а також спричиняють додаткові енергетичні втрати при транспортуванні нафти. На основі цього дисертантом сформульовано мету роботи та задачі досліджень.

У **другому розділі** проведено моделювання та дослідження елементів нафтопроводу, що безпосередньо впливають на гідродинамічний режим

На основі аналізу регулюючих органів, що застосовуються для дроселювання нафти, автором визначено, що економічно доцільно застосовувати поворотну заслінку з електричним виконавчим механізмом. Для лінеаризації динамічної характеристики комплексу поворотна заслінка – виконавчий механізм запропоновано переміщувати заслінку одночасно зі зміною швидкості цього переміщення.

Автор проаналізував методи побудови цифрових ПІ регуляторів і зробив висновок, що застосування ефекту «пропорційного стрибка», який притаманний регулятору побудованому на основі рекурсивних рівнянь, дозволить підвищити швидкодію системи регулювання при різких змінах тиску, які виникають у нафтопроводі.

**Третій розділ** присвячений побудові математичної моделі системи керування гідродинамічним режимом магістрального нафтопроводу.

Автором отримано поліноміальну залежність швидкості переміщення поворотної заслінки від її положення. Застосування такої залежності дозволило наблизити динамічну характеристику системи поворотна заслінка - виконавчий механізм до лінійної.

Дослідження математичної моделі системи регулювання тиску на нафтоперекачувальній станції показали, що коефіцієнт підсилення об'єкта регулювання змінюється нелінійно і у широких межах, що ускладнює процес регулювання. Важливим результатом третього розділу є обґрунтування застосування частотного перетворювача та імпульсного ПІ регулятора, що дозволило змінювати коефіцієнт підсилення системи «регулятор – виконавчий механізм», не змінюючи коефіцієнт підсилення регулятора. Завдяки цьому вдалося компенсувати нелінійну зміну коефіцієнта підсилення об'єкту регулювання.

В **четвертому розділі** наведено результати дослідження реакції розробленої математичної моделі системи керування гідродинамічним режимом на можливі збурення.

Описано розроблену дисертантом систему керування гідродинамічним режимом та представлені результати її дослідження на діючому нафтопроводі (НПС «Плещівка» магістрального нафтопроводу «Дружба»).

Адекватність одержаної моделі підтверджено порівняльним аналізом перехідних процесів отриманих при дослідженні математичної моделі та впровадженій системи на усі можливі потенційні збурення системи.

Аналіз перехідних процесів отриманих при дослідженні розробленої системи автоматичного керування та моделі системи з постійним часом повного ходу виконавчого механізму показав, що розроблена система забезпечує кращі показники регулювання, такі як менші динамічні відхилення та вищу швидкодію. Запропонована система дозволила усунути коливні процеси, які виникають при відпрацюванні деяких збурень.

У додатках наведено акти впровадження отриманих у дисертації результатів.

Загалом, наведений аналіз результатів досліджень дозволяє зробити висновок про те, що основні наукові положення які розробляються в розділах дисертації є обґрунтованими і базуються на отриманих експериментальних даних.

**Достовірність отриманих наукових результатів** визначається їх теоретичним обґрунтуванням та підтвердженими результатами експериментальних досліджень. Адекватність отриманих математичних моделей системи автоматичного регулювання тиску на нафтоперекачувальній станції підтверджується застосуванням класичних методів моделювання для їх отримання та їх порівнянням із експериментальними даними.

**Наукова новизна дисертаційного дослідження та їх обґрунтованість** полягає в наступному:

- запропоновано новий принцип формування керуючої дії в системі регулювання тиску на НПС, особливістю якої є сумісне формування переміщення та швидкості переміщення поворотної заслінки, що дозволяє усунути негативні наслідки гідродудару та кавітації у нафтопроводі;

- отримав подальший розвиток метод регулювання тиску на НПС шляхом дроселювання потоку нафти, особливістю якого є запропонована зміна швидкості переміщення поворотної заслінки залежно від її положення, що дозволило покращити швидкодію системи регулювання тиску та якісні показники процесу регулювання;

- побудовано математичну модель комплексу поворотна заслінка – виконавчий механізм, яка відрізняється від існуючих введенням зміни швидкості переміщення заслінки, в залежності від її положення, і дозволяє лінеаризувати динамічну характеристику цього комплексу;

- удосконалено структуру цифрового ПІ-регулятора системи керування гідродинамічного режиму нафтопроводу, яка відрізняється від існуючих тим, що вона побудована на основі рекурсивних рівнянь, що забезпечує значне підвищення швидкодії регулятора, при різких змінах тиску, а це дозволяє відреагувати на початку хвилі гідродудару і усунути аварійну ситуацію.

- розроблено метод компенсації нелінійності коефіцієнта підсилення системи регулювання тиску на НПС шляхом плавної зміни часу повного ходу виконавчого механізму.

**Практична цінність отриманих результатів** полягає в наступному:

- запропонований автором алгоритм зміни швидкості переміщення заслінки від її положення, може бути застосований для будь-яких заслінок та кульових кранів, які використовуються для регулювання витрати та тиску великих потоків;

- розроблена система регулювання тиску на НПС впроваджена на станціях «Новини» та «Плещівка», які входять до складу філії “Магістральні нафтопроводи “Дружба” ПАТ “Укртранснафта”. Впроваджені системи дозволили скоротити кількість аварійних зупинок НПС, підвищити швидкодію системи і покращити якість відпрацювання збурень гідродинамічного режиму та зменшити енергозатрати при транспортуванні нафти.

Впровадження результатів дисертації Кріля С.О. у виробництво підтверджено відповідним актом.

**Автореферат** повністю відтворює зміст дисертації і містить основні результати роботи, відомості про друковані праці автора, висновки.

**Подальше застосування** результатів дисертаційного дослідження можна рекомендувати підприємствам, які у ході своєї діяльності потребують транспортування великих об’ємів рідин трубопровідним транспортом. Також отримана структура цифрового ПІ регулятора може бути застосована для регулювання швидкозмінних величин.

Робота **апробована** на чотирьох наукових конференціях за напрямком досліджень, серед яких дві міжнародні та одна Всеукраїнська. На всіх конференціях наукові положення та результати роботи, що доповідались автором, були сприйняті без принципових заперечень і отримали схвальні відгуки.

**Повнота викладення результатів в опублікованих працях.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 10 наукових праць (в тому числі 1 публікація у виданні, що включене до наукометричної бази даних *Web of science*): 5 статей в наукових фахових виданнях (чотири праці одноосібні), 4 публікацій у матеріалах і тезах доповідей міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій. Результати дослідження всіх розділів дисертації знайшли своє відображення у наукових фахових виданнях.

Крім позитивних сторін роботи виявлено певні **недоліки**:

1 У першому розділі автор детально описує три технологічні схеми перекачування нафти по трубопроводам – «постанційна», «з підключенням резервуарів» та «з насоса в насос», а потім робить висновок, що по трубопроводам, які проходять територією України, використовують лише спосіб «з насоса в насос». Тому є недоцільним детальний опис двох перших технологічних схем – достатньо було коротко про них згадати.

2 Не доцільно було описувати регулювання продуктивності магістрального нафтопроводу зміною діаметрів коліс. Достатньо було вказати на такий спосіб з посиланням на відповідне джерело.

3 На с. 45 – 47 наводиться досить довга цитата з нормативного документа. Слід було матеріал п. 6.2 узагальнити і вичленити основні положення, які стосуються предмету досліджень.

4 Замість рис. 2.1 доцільно було б навести функціональну схему виконавчого механізму з поворотною заслінкою, який є предметом дослідження.

5 Для апроксимації залежності перепаду тиску від положення заслінки автор використовує програмний продукт MatLab, але не вказує, який метод апроксимації реалізований (МНК, поліноми Лагранжа чи Ньютона, сплайн-поліном). Тут доцільно було б дослідити адекватність отриманої математичної моделі.

6 Апроксимуючи залежність перепаду тиску від положення заслінки, автор отримує дві формули для різних діапазонів змін положень заслінки (формула (2.2)) та робить висновок, що на ділянці 60 – 100% «характеристику ПЗ можна замінити лінійною залежністю». Насправді залежність, яка визначена формулою (2.2) є постійною функцією.

7 Динамічні властивості виконавчого механізму автор описує інтегральною ланкою (формула 2.3), не пояснюючи чому знехтувана інерційність електричного приводу. Не обґрунтовані значення величин  $K = 100$  і  $T = 12$  та не вказані їх розмірності. Що є входом і виходом такої ланки?

8 На с. 63 величини  $C$  та  $\tau_i$  названі як сталі коефіцієнти хоча насправді це параметри налаштування ПІ-регулятора.

9 У формулі (2.10) не розкритий зміст змінної  $z_{n-1}$ . У формулах (2.8) і (2.10) пропущений індекс  $n$  при змінних  $y$  та  $x_{ex}$ .

10 Замість програм (с.66, с. 68), які написані у середовищі MatLab, доцільніше було навести блок-схему роботи алгоритму ПІ-регулятора.

11 Доцільно було пояснити яким чином отримані формули (2.11) і (2.12).. Незрозумілий зміст формули (2.16). Чому через  $dt$  позначено час дискретизації, якщо раніше було  $\Delta t$  (формула (2.16))?

12 Запис формули (3.1) є некоректний. Він не дає змоги розкрити її фізичний зміст. Правильно була формулу (3.1) записати у такому вигляді:  $\frac{d(\Delta P_{ПЗ})}{dt} / \frac{d(\Delta P_{лін})}{dt}$ . Тоді це відношення швидкості зміни двох приростів тисків  $\Delta P_{ПЗ}$  і  $\Delta P_{лін}$ .

13 Довгий трубопровід це об'єкт з розподіленими параметрами і його за певних умов можна апроксимувати аперіодичною ланкою з запізненням. Тому не зовсім вірним є твердження - «довгий трубопровід з точки зору моделювання являє собою аперіодичну ланку з запізненням» (с.74).

14 Не обґрунтовано вибір постійної часу  $T = 10$  с по каналу збурення (с.84). Функція передачі ПІ-регулятора (3.14) відрізняється від функції передачі (2.5) (різні значення параметрів налаштування регуляторів). На рис. 3.15 на вісь ординат нанесені від'ємні значення коефіцієнта підсилення системи, але не пояснений його фізичний зміст.

15 Систему керування (с. 86) слід було дослідити як таку, що вміщує суттєву нелінійність, наприклад методом гармонічного балансу. У таких системах, як правило, виникають гармонічні коливання. Проведені автором аналітичні дослідження систем регулювання тиску не підтверджують таке припущення.

16 Дослідження системи автоматичного регулювання тиску (рис. 3.17) здійснювалось автором шляхом імітаційного моделювання з використанням програмного продукту Simulink системи MatLab, але автор за результатами моделювання не наводить даних, які б дали змогу визначити якість процесу регулювання (перерегулювання, час регулювання та ін.).

17 При написанні формул функцій передачі (3.22), (3.23) та ін. автор не вказує, що є входом і виходом ланки (системи). Іноді це ясно із тексту дисертації, але не усіх випадках.

18 За текстом дисертації зустрічаються русизми та термінологічні неточності:

с. 29 по цих параметрах – треба: за цими параметрами;

с.27 «пробка» чи «корок?»;

с. 36 Написано «радянського союзу». Назву країни слід писати з великої букви.

с. 40 «втрати енергії за рахунок ККД» - краще: зменшення ККД тягне за собою втрати енергії;

с. 44 «відмикати насосний агрегат» - мабуть: вимикати (відключати) насосний агрегат; «більш доцільно» - доцільніше;

с. 54, 83, 99 та ін. Автор використовує несистемну одиницю виміру тиску *бар*.

с.60 «при всіх показаних часах» - правильно: при всіх значеннях часу;

с. 70 «розузгодження по модулю» - українською: розузгодження за модулем

с. 83 Використаний застарілий термін «питома вага»

с. 89 «довжина імпульсу» - правильно: тривалість імпульсу та ін.

Висловлені зауваження не знижують загальної наукової та практичної значимості роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

### **Висновок**

1. Дисертаційна робота Кріля Сергія Олександровича є завершеною науковою працею, в якій розв'язана науково-практична задача розробки ефективної системи автоматичного керування гідродинамічним режимом магістрального нафтопроводу, яка забезпечила зменшення кількості аварійних зупинок нафтопроводу та зменшення економічних втрат при транспортуванні нафти.

2. Дисертаційна робота Кріля Сергія Олександровича «Автоматизація процесу керування гідродинамічним режимом магістрального нафтопроводу» виконана на достатньому фаховому рівні і відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування». Отримані результати відповідають критеріям наукової новизни, мають практичну цінність. За рівнем виконаних досліджень і значимістю отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9 та 11 Постанови Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння

вченого звання старшого наукового співробітника» щодо кандидатських дисертацій.

3. Автореферат повністю відповідає змісту дисертації, описує суть отриманих у дисертаційній роботі результатів та висновків і оформлений згідно діючих вимог ДАК України.

3. Результати досліджень дисертаційної роботи є новими, доповідались на наукових конференціях, а також достатньо повно відображені в наукових публікаціях, зокрема тих, що відповідають вимогам ДАК України.

4. Дисертаційна робота Кріля Сергія Олександровича відповідає вимогам ДАК України, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

### **Офіційний опонент**

завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж  
Івано-Франківського національного технічного  
університету нафти і газу  
доктор технічних наук,  
професор

М.І. Горбійчук

Підпис(и) *М. І. Горбійчук*

Посвідчую *М. І. Горбійчук*

Вчений секретар ІФНТУНГ

2007 р.