

## **ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВНУТРІШНЬОТРУБНОГО ПРИСТРОЮ**

**Я.Р. Порада**

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)

e-mail: slavikpr@ukr.net

*Розглянуто базові принципи та обмеження методів діагностики газопроводів з допомогою внутрішньотрубних пристроїв. Обґрунтована необхідність встановлення системи автоматичного регулювання швидкості дефектоскопів, яка створює умови для якісного знімання діагностичних даних. Базуючись на опублікованих наукових дослідженнях пояснено важливість підтримування швидкості у заданих межах під час використання таких пристроїв. Описано склад та функції елементів існуючих систем автоматичного регулювання швидкості на основі відомих конструкцій інтелектуальних поршнів. Спираючись на патентну документацію, виділені, проаналізовані та класифіковані перспективні напрямки для підвищення ефективності роботи дефектоскопів. Запропоновано нову схему взаємодії елементів системи регулювання швидкості діагностичних пристроїв, що забезпечить збільшення тривалості автономної роботи і підвищить її ефективність. Висунуто і обґрунтовано можливість генерування енергії під час роботи внутрішньотрубного пристрою за допомогою перетворення механічної енергії руху на гідравлічну або електричну. Наведено основні технологічні та конструктивні вимоги, які необхідно задовольнити при проектуванні нових внутрішньотрубних пристроїв. Представлена і описана гідравлічна схема, яка буде базовою для проведення майбутніх досліджень. Сформульовано основні тези наукових досліджень для перевірки пропонуєваних конструкцій таких систем.*

*Ключові слова:* Регулювання швидкості, діагностика, гідравлічні системи.

*В статье рассмотрены основные принципы и ограничения методов диагностики газопроводов с помощью внутритрубных устройств. Обоснована необходимость установки системы автоматического регулирования скорости дефектоскопов, которая создает условия для качественного съема диагностических данных. Основываясь на опубликованных научных исследованиях объяснено важность поддержания скорости в заданных пределах при использовании таких устройств. Описаны состав и функции элементов существующих систем автоматического регулирования скорости на основе известных конструкций интеллектуальных поршней. Опораясь на патентную документацию, выделены, проанализированы и классифицированы перспективные направления для повышения эффективности работы дефектоскопов. Предложена новая схема взаимодействия элементов системы регулирования скорости диагностических устройств, что обеспечит увеличение длительности автономной работы и повысит ее эффективность. Выдвинута и обоснована возможность генерирования энергии во время работы внутритрубного устройства с помощью преобразования механической энергии движения в гидравлическую или электрическую. Приведены основные технологические и конструктивные требования, которые необходимо удовлетворить при проектировании новых внутритрубных устройств. Представлена и описана гидравлическая схема, которая будет базовой для проведения будущих исследований. Сформулированы основные тезисы научных исследований для проверки предлагаемых конструкций таких систем.*

*Ключевые слова:* Регулировка скорости, диагностика, гидравлические системы

*The article deals with basic principles and limitations of gas pipelines diagnostic methods using in-line devices. The necessity of the automatic speed control unit's installation which creates conditions for efficient capturing of diagnostic data was proved. The importance of maintaining speed in specified limits based on published scientific articles was explained. We described the structure and function of automatic speed control unit's existing elements based on the known structures of intelligent pigs. Perspective directions for improving the efficiency of in-line tools were identified, analyzed and classified on the basis of patent documentation. A new scheme of interaction between elements of the speed control unit was suggested which will provide longer duration of run and increase its effectiveness. The possibility of power generation by converting mechanical energy of motion into hydraulic or electric is given. The main design requirements were given which should be taken into account while designing all new in-line tools. The new hydraulic circuit was presented and described, which is the basis for future research. The major thesis of future researches to verify proper performance of the suggested construction of speed control unit were listed.*

*Keywords:* speed control, in-line inspection, hydraulic system.

Вік магістральних трубопроводів України складає приблизно від 20 до 40 років, тому для підтримання газотранспортної системи в належному стані необхідно періодично контролювати їх технічний стан з використанням приладів та технічних засобів. Особливого значення надається внутрішньотрубній діагностиці (ВТД) як найбільш досконалому методу діагно-

стики лінійної частини магістральних газопроводів. З його допомогою визначаються такі види дефектів стінки трубопроводу, як вм'ятини, гофри, корозія, тріщини, розшарування металу, дефекти зварного шва та ін.

Перші роботи з ВТД в ДК «Укртрансгаз» були проведені в 1996 році. З того часу обстежено близько 26 тис. км магістральних газо-

проводів. ВТД стала невід'ємною частиною моніторингу стану трубопроводу, що дає змогу попередити аварійні ситуації [1].

Технологічно до швидкості руху внутрішньотрубних пристроїв (ВТП) в трубопроводі висуваються жорсткі вимоги. У випадку руху очисних шкребків зміна їх швидкості призводить до погіршення якості очищення трубопроводу, а у випадку застосування діагностичних рухомих пристроїв зміна швидкості суттєво впливає на якість одержаної інформації про геометрію і реальний стан трубопроводу. У складних трасових умовах, властивих магістральним трубопроводам, за наявності рідинних відкладень та з урахуванням рельєфу траси та еліптичності труби досягти чіткого рівномірного руху поршня в трубопроводі шляхом регулювання подачі продукту в трубопровід надзвичайно важко. Однак відкидання керувальних впливів у процесі очищення чи діагностування може призвести до суттєвої нерівномірності руху поршнів, що спричинить зниження якості очищення – в першому випадку та спотворення інформації – в другому. Отже, під час діагностування та очищення трубопроводів слід забезпечити сталу швидкість руху поршня чи принаймні таку, яка б не виходила за межі допустимого інтервалу. [2]

Відомо [3], що всі діагностичні поршні, в яких основним принципом виявлення дефектів є поперечне TFI (transverse field inspection) та повздовжнє MFL (magnetic flux leakage) намагнічування, здатні правильно працювати тільки за достатньо малих швидкостей руху потоку газу (не більше 3-4 м/с). При звичайних режимах роботи трубопроводу швидкість газу близька до 36 км/год або до 10 м/с. Така швидкість для діагностичного поршня масою в декілька тон є згубною як для дефектоскопа, так і для трубопроводу. Тому до недавнього часу діагностика магістральних трубопроводів виконувалася тільки тоді, коли режим роботи газотранспортних підприємств дозволяв знижувати швидкість руху газу до 3-4 м/с.

Звичним методом контролю швидкості діагностичного пристрою є регулювання швидкості потоку газу на компресорній станції. Такий метод накладає обмеження на проведення діагностики трубопроводів через необхідність зменшення об'ємів перекачування, що є неприйнятним для експортних газопроводів.

Використання діагностичними поршнями систем автоматичного контролю швидкості руху дає змогу проводити внутрішньотрубну діагностику без зниження об'ємів перекачування, тож, відповідно, полегшує роботу персоналу компресорних станцій.

Проблема використання систем автоматичного регулювання швидкості руху внутрішньотрубних пристроїв рано чи пізно ставала перед кожним підприємством, що надає послуги з діагностування трубопроводів. Особливо це питання актуальне у випадку використання магнітних дефектоскопів через фізичні обмеження такого методу діагностики. Вирішенням проблеми ефективного регулювання швидкості

внутрішньотрубних пристроїв займалося ряд вчених, зокрема Thuenemann U., Грудз В.Я., Бакаєв В.В., Розен Г., Подгорбунских А.М., Лоскутов В.Е., Канайкин В.А, Матвиенко А.Ф. та Rahe F.

Оскільки успішне вирішення даної проблеми надає суттєві конкурентні переваги, більшість інформації становить таємницю і не висвітлюється у фахових виданнях. Завісу таємничості було привідкрито після опублікування статті [4], де описувалося конструктивні особливості елементів системи автоматичного регулювання швидкості у діагностичних поршнях компанії Rosen. Дана система пройшла лабораторні та промислові випробування, отримала сертифікацію і на даний час встановлюється на всіх діагностичних пристроях згаданої компанії.

Для пояснення складових частин діагностичного поршня скористаємося інформаційним матеріалом компанії Rosen [5]. На рисунку 1 зображено найбільш поширений діагностичний інструмент для визначення втрати металу стінками трубопроводу.

Згідно зі специфікаційною документацією основними вузлами даного пристрою:

- магнітний блок;
- сенсорний блок;
- блок одометра;
- бортовий комп'ютер;
- корпус;
- клапан контролю швидкості.

З наведеної вище структури можна виділити елементи, які входять до складу системи автоматичного регулювання швидкості внутрішньотрубного пристрою. До них відносяться:

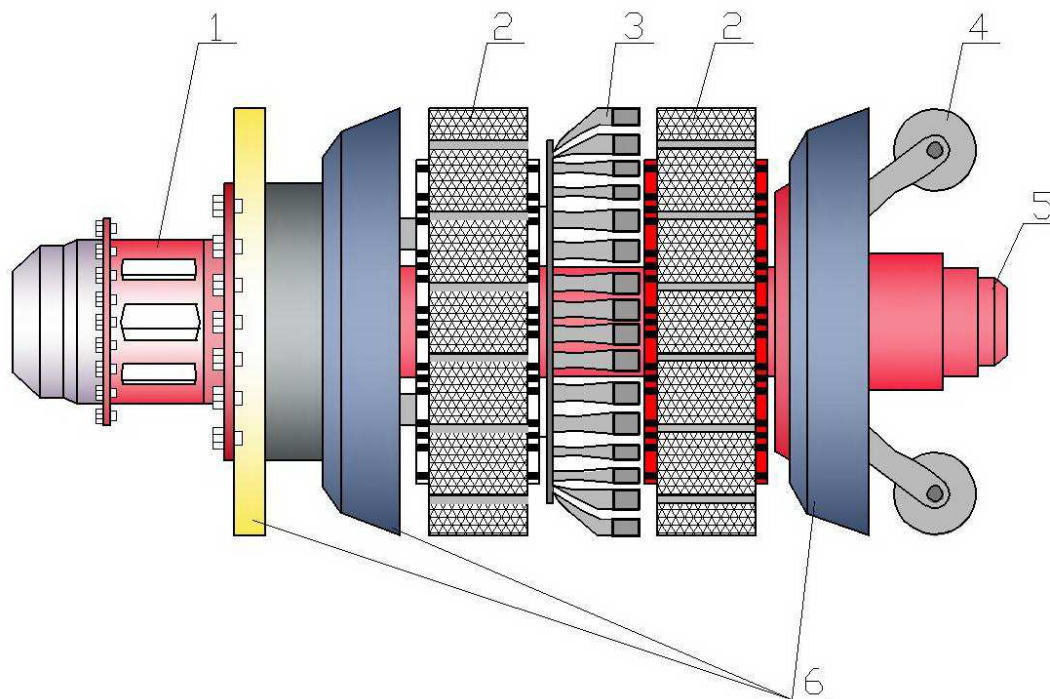
- клапан(засувка);
- привод засувки;
- одометр;
- електронний блок управління;
- джерело живлення.

Для детального вивчення принципу роботи автоматичної системи регулювання швидкості внутрішньотрубного інструменту необхідно розглянути детально кожний елемент цієї системи, його конструкцію і функції.

Основною умовою встановлення системи автоматичного регулювання швидкості є наявність байпасного каналу, що уможливорює рух потоку через діагностичний поршень. Функцією клапана (засувки) є регулювання поперечного перерізу наскрізного каналу поршня, чим змінюється різниця тисків на поршні і, відповідно, швидкість руху пристрою. Існує велика кількість конструкцій засувок. Практично всі зарубіжні компанії, що займаються розробкою систем автоматичного регулювання швидкості, після напруженої дослідницької роботи дійшли трьох основних типів засувок.

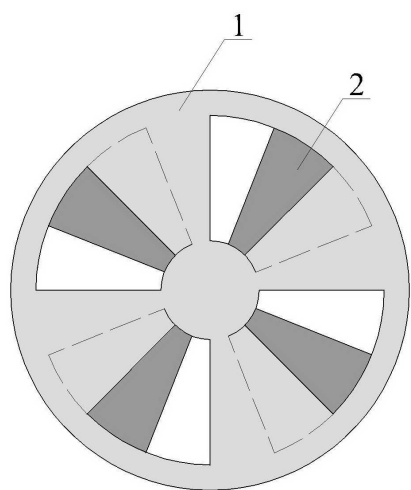
Перший тип засувки – нерухомий пілон з отворами у вигляді секторів, які перекриваються під час обертання навколо осі заслінки (рис. 2).

Нерухомий пілон встановлюється на передньому виході каналу. До пілона щільно дотикається заслінка. Отвори на пілоні та заслінці



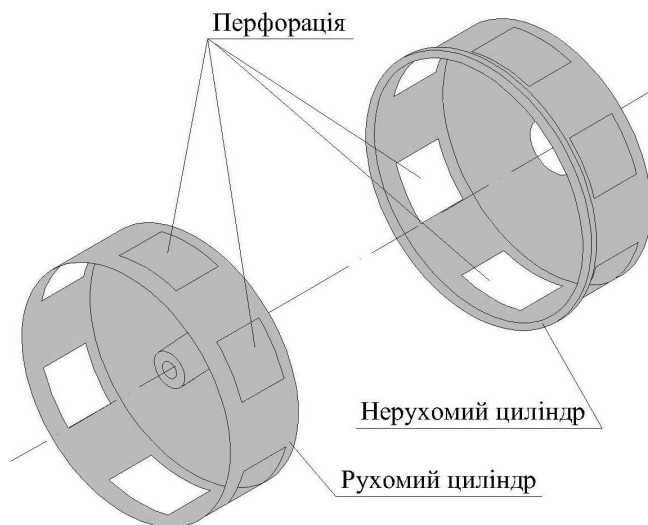
1 - клапан контролю швидкості (байпасна заслінка); 2 – магнітний блок; 3 – сенсорний блок;  
4 – бортовий комп’ютер; 6 – ущільнюючі манжети

**Рисунок 1 – Діагностичний поршень компанії Rosen**



1 – нерухомий пілон; 2 – заслінка

**Рисунок 2 – Засувка першого типу**



**Рисунок 3 – Засувка другого типу – циліндрична**

одинакові, і при максимальному відкритті отвори на пілоні та заслінці співпадають. При повному закритті перфорація пілона закрита масивом заслінки, відповідно потік газу повністю перекривається через поршень.

Другий тип – циліндрична конструкція (рис. 3).

В передній або задній частині дефектоскопа встановлюється фланець з жорстко закріпленим на ньому перфорованим циліндром, всередині якого розміщений другий циліндр з такою ж самою перфорацією. Внутрішній циліндр може обертатися навколо своєї осі, що

дозволяє повністю або частково суміщати отвори на циліндрах. Це дозволяє змінювати переріз каналу для перетоків газу через нього.

Як свідчить досвід [6], найкращим варіантом засувки є комбінація двох згаданих типів - плоскої та циліндричної. Використання засувки третього типу збільшує діапазон регулювання кількості потоку, що перепускається через поршень (рис. 4).

Для приведення заслінок в рух необхідний механізм, який створює достатнє зусилля для обертання їх відносно одна одної та має високу точність позионування. В загальній класифі-

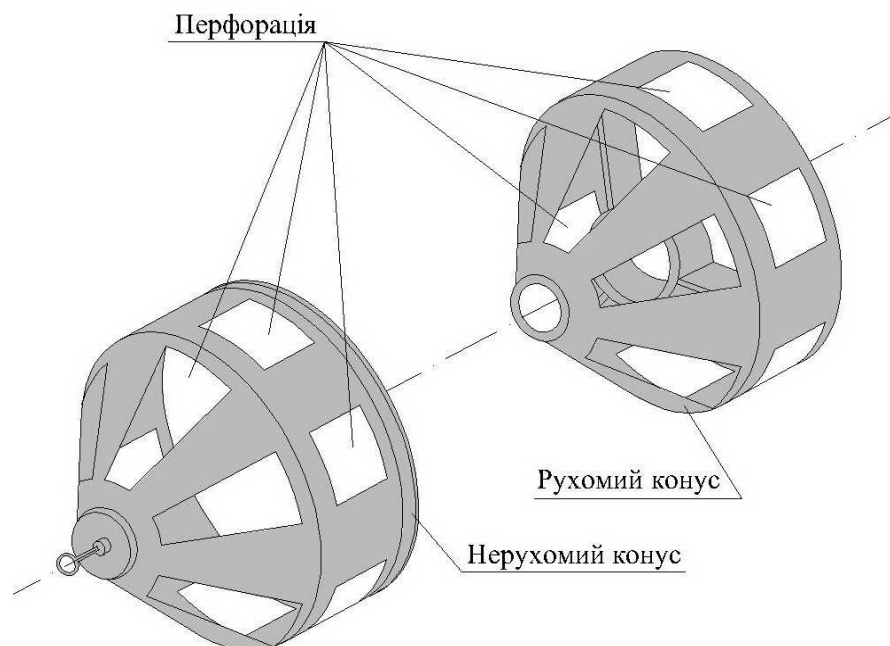


Рисунок 4 – Засувка третього типу – комбінована

кації привод буває електричним, гідравлічним, пружинним або комбінованим. На даний час найчастіше застосовується електричний привод. В цьому випадку рушійною силою є електросилова або електродвигуни (крокові електродвигуни). Перевагою такого методу є легкість і точність керування та можливість простого інтегрування в бортову систему діагностичного пристрою. Однак тривалість застосування (включень) електропривода для зміни поперечного перерізу каналу є обмеженою через ємнісні характеристики джерела живлення. Ще одним недоліком електричного привода є невелика потужність, тому для створення значних зусиль необхідно використовувати понижуючі редуктори, що, в свою чергу, призводить до зниження надійності та безвідмовності всієї системи.

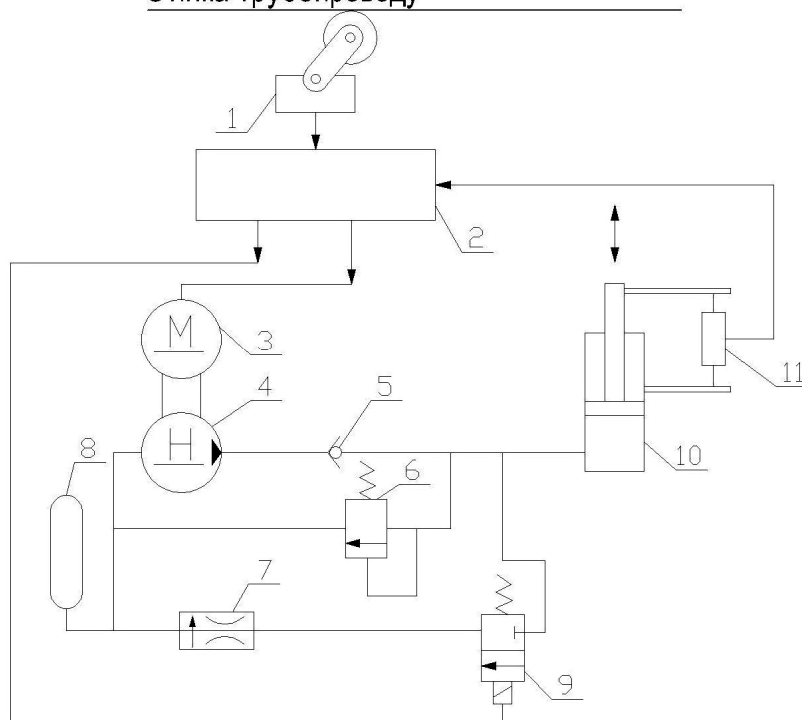
Слід згадати і про механічні та гідравлічні приводи. В основі їх роботи лежить застосування різниці тисків на поршні, пружини та ін.. Простота виготовлення та обслуговування є основними перевагами такого роду приводів, але водночас ефективність роботи його дуже низька, до того ж неможливо інтегрувати її в електронну систему керування. Можна стверджувати, що на сьогодні внутрішньотрубні пристрої стали високотехнологічними, надійними та ефективними машинами і, здавалося б, їх неможливо ще більше вдосконалювати. Та, незважаючи на це, науковці та конструктори втілюють в життя дуже сміливі та неординарні рішення. Дуже часто простежується тенденція до використання комбінованих конструкцій приводів. Всі ці роботи пов'язані із зростаючими вимогами компаній, які замовляють внутрішньотрубне обслуговування. Одне з таких рішень було представлено в роботі [7]. Головною особливістю є використання комбінованого привода, тобто електричного та гідравлічного. Загальна схема роботи подана на рис. 5.

Опишемо принцип роботи такої системи. Одометр 1 передає частотні імпульси, які відповідають швидкості руху поршня до мікропроцесора 2. Там вони обробляються і після цього сигнал передається на гідророзподільвач 9 або електродвигун 3. Електродвигун 3 приводить в рух гідронасос 4, який створює тиск в системі та перекачує оливу із гідроаккумулятора 8 до гідроциліндра 10. Гідроциліндр 10 переміщує виконавчий механізм (заслінку байпасного каналу). Дросель 7 встановлений для плавного зворотного ходу гідроциліндра. Запобіжний клапан 6 не допускає перевищення граничного тиску в гідросистемі. Зворотній клапан 5 закриває напірну магістраль при зупинці насоса. Інформація про положення гідроциліндра 10 надходить до мікропроцесора від давача положення. Така схема привода дає змогу генерувати значні зусилля, але через електричний привод насоса необхідно збільшувати ємність джерела живлення.

Одометр – пристрій, який визначає пройдений дефектоскопом шлях і його швидкість. Це – колесо, що за допомогою спеціального кріплення притискається до стінки труби і під час руху обертається. За кількістю обертів, що здійснює колесо за певний час, визначається відстань і швидкість. Одометр є сенсором, який надає актуальну інформацію про швидкість у конкретний момент. Але ж неможливо на основі тільки даних одометра «регулювати на випередження» або прогнозувати швидкість внутрішньотрубного пристрою. Тому додатково можна встановлювати інші сенсори. Наприклад, акселерометри, гіроскопи, диференціальні та звичайні давачі тиску.

Автоматичною системою регулювання швидкості внутрішньотрубного дефектоскопа керує електронний блок управління. Основною його функцією є аналіз отриманих від давачів даних, порівняння із заданими величинами і

Стінка трубопроводу



1 – одометр; 2 – мікропроцесор; 3 – електродвигун; 4 – гідравлічний насос;  
5 – зворотній клапан; 6 – запобіжний клапан; 7 – дросель; 8 – гідроакумулятор;  
9 – гідророзподільвач; 10 – гідроциліндр; 11 – давач положення

**Рисунок 5 – Схема роботи комбінованого привода**



**Рисунок 6 – Складові елементи системи контролю швидкості та логічні зв'язки між ними**

надсилання відповідних сигналів на виконавчий механізм. В патентах [6] та [8] використано найпоширенішу схему роботи та послідовність логічних операцій електронного блоку управління, котра подана на рисунку 6.

Імпульсні сигнали подаються на лічильник імпульсів, де перетворюються на цифровий сигнал, що надходить до блоку компаратора. На даному етапі задані величини швидкості порівнюються із наявними, та за певним алгоритмом визначається команда управління, яка відтак

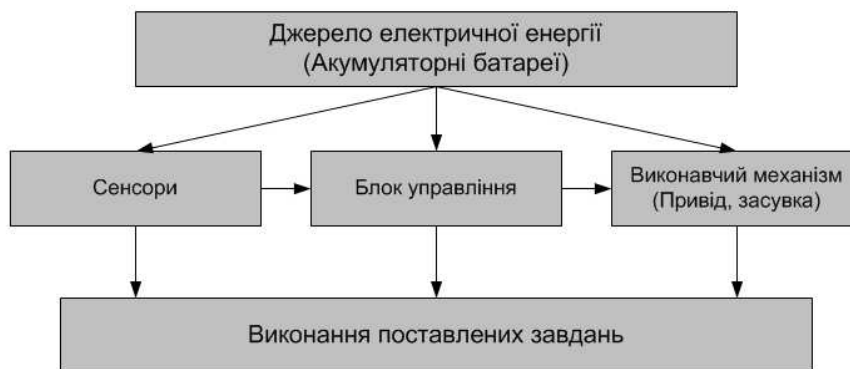


Рисунок 7 – Схема взаємодії елементів існуючої системи автоматичного регулювання швидкості

надходить на контролер сервопривода. Результатом цієї операції є сигнал двигуну, який вказує, в яку точну позицію необхідно повернути засувку. Такий ланцюг операцій повторюється постійно.

Важливим елементом системи є джерело живлення. Воно забезпечує електроенергією діагностичний блок (сенсори, магніти, бортовий комп'ютер) та автоматичну систему контролю швидкості. Акумуляторні батареї отримали широке застосування через порівняно невеликі розміри, сталу напругу і просте обслуговування. Проте значним недоліком є обмежена ємність акумуляторної батареї, що змушує скорочувати енергоспоживання елементів діагностичного пристрою. Вихід з ладу джерела живлення призводить до втрати даних і необхідності проведення повторного діагностування. Під час обслуговування трубопроводів з допомогою ВТП можливим є їх застрягання або зупинка. Причини бувають різні: починаючи від деформації труби і, закінчуючи не повністю відкритими кранами та неправильно вибраним режимом транспортування продукту під час проведення обслуговування. В таких ситуаціях джерело живлення продовжуватиме розряджатися, і навіть при успішному вивільненні пристрою система не матиме енергоживлення для продовження її роботи, що вимагатиме повторного запуску діагностичного поршня.

На рисунку 7 подано схему взаємодії елементів найбільш розповсюдженої системи автоматичного регулювання швидкості. Як видно із даної схеми, блок управління, виконавчий механізм та сенсори отримують електричну енергію від джерела живлення. На нашу думку, така схема накладає обмеження на тривалість використання і надійність всієї системи через невелику ємність акумуляторної батареї.

Існують інженерні рішення, де застосовують генератор з акумуляторними батареями [9]. Приведення генератора в рух здійснюється за рахунок різниці тисків на поршні або колесом, яке притискається до стінки трубопроводу і, відповідно, під час руху обертається. Перевагою такого джерела живлення є автономність, а негативною – не до кінця відпрацьована технологія застосування, складність в обслуговуванні та ненадійність.

Після ретельного вивчення існуючих систем автоматичного регулювання швидкості внутрішньотрубних пристроїв приходимо до висновку, що необхідно перебудувати схему взаємодії складових елементів для досягнення вищої ефективності роботи. Як зазначається в [10], додаткову енергію можна генерувати за допомогою перетворення кінетичної енергії руху поршня в механічну, електричну або гідравлічну. В таких системах електронний блок управління та одометр живляться від акумуляторної батареї, а енергія для приведення в рух засувки береться за рахунок перетворення кінетичної енергії руху в гідравлічну енергію. Запропонована схема взаємодії складових елементів системи автоматичного регулювання швидкістю внутрішньотрубних пристроїв наведено на рисунку 8.

Обробка великої кількості публікацій в науково-фахових виданнях, підручників, патентної документації, рекламних проспектів та інформації з мережі Інтернет дала можливість більш детально познайомитися з проблематикою використання внутрішньотрубних пристроїв при обслуговуванні магістральних газопроводів. На даному етапі роботи ми ставимо перед собою наступні завдання:

Основним напрямком дослідження стане вивчення можливості та доцільності використання гідравлічних систем у внутрішньотрубних пристроях. Спочатку необхідно перевірити, чи зможе ефективно справитися запропонована система із функціями регулювання швидкості у внутрішньотрубних пристроях. А після успішного тестування її можна буде адаптувати до інших завдань, таких як, наприклад, компенсація зношування манжет ВТП, локалізація місць аварійного витoku з допомогою ВТП, перекривання ділянки трубопроводу для проведення ремонтних робіт без зупинки перекачування транспортованого продукту. Варто згадати, що на даний час не існує ефективних засобів для компенсації зношування ущільнюючих манжет. З однієї сторони, це призводить до погіршення якості очищення порожнини трубопроводу, а з другої – збільшується швидкість ВТП, що призводить до втрати діагностичних даних.

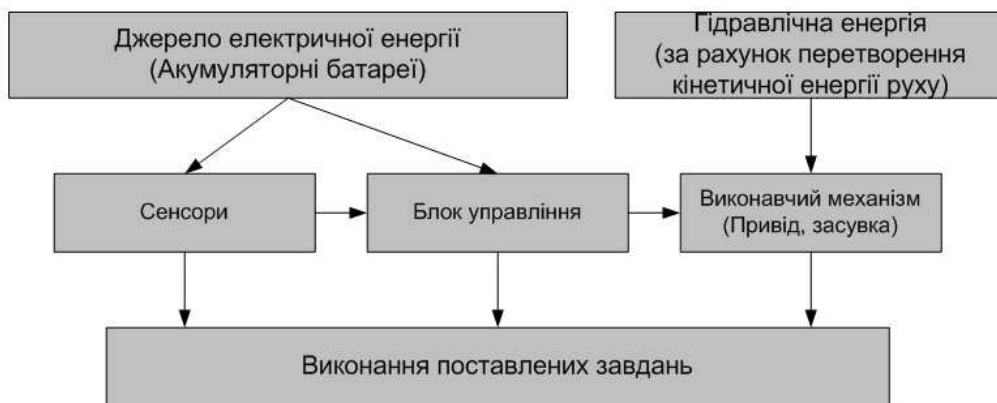


Рисунок 8 – Схема взаємодії елементів запропонованої системи автоматичного регулювання швидкості

При проектуванні нових систем необхідно задати конструктивні та технологічні вимоги до них:

- ефективніша робота в порівнянні із вже існуючими зразками;
- надійна конструкція, що забезпечить безвідмовну роботу та не буде створювати перешкод для роботи основних елементів діагностичних та очисних поршнів;
- автономність роботи, незалежність якості та тривалості роботи ВТП від обмежених джерел живлення;
- компактність та легкість конструкції;
- модульність, яка дозволить без значних змін інтегрувати гідравлічну систему у роботу будь-якого ВТП.

Спершу треба звернути увагу на те, що більшість ВТП є «динамічними» інструментами, тобто свої функції вони виконують тільки під час свого руху. Отже, генерування енергії для виконання поставлених завдань буде постійним, поки пристрій рухається. В умовах трубопроводу існує два основних потенціали для генерування енергії: використання різниці тисків, що утворюється на рухомій границі поршня та перетворення механічної енергії руху самого ВТП. Згідно [11] різниця тисків на поршні для трубопроводу зовнішнім діаметром 1420 мм зазвичай коливається в межах від 0.1 МПа до 0.5 МПа. Такої різниці тисків недостатньо для обертання лопатей електрогенератора і профіль траси буде значно впливати на значення величини різниці тисків. Водночас метод генерування енергії за рахунок перетворення механічної енергії руху поршня позбавлений таких недоліків, а якщо врахувати факт, що швидкість змінюється в дуже малих межах, то він стає ідеальним з точки зору практичності. Такий принцип успішно був використаний у роботі [10]. Загальний вигляд внутрішньотрубного пристрою, де було використано цей метод, показано на рисунку 9.

В цій конструкції насос-колесо 3 прикріплене за допомогою спеціального підвісу до корпусу поршня 1 та притискається до стінки трубопроводу. При русі всього пристрою насос-колесо 3 обертається і створює гідравлічну

енергію, яка в подальшому накопичується в гідроаккумуляторі високого 5 та низького тисків. З допомогою гідроклапанів енергія направляється на виконавчі механізми. Перевагою такої конструкції є генерування додаткової енергії та використання для приведення в рух виконавчих механізмів, недоліком – застосування гідроаккумуляторів, що збільшують габарити всієї системи.

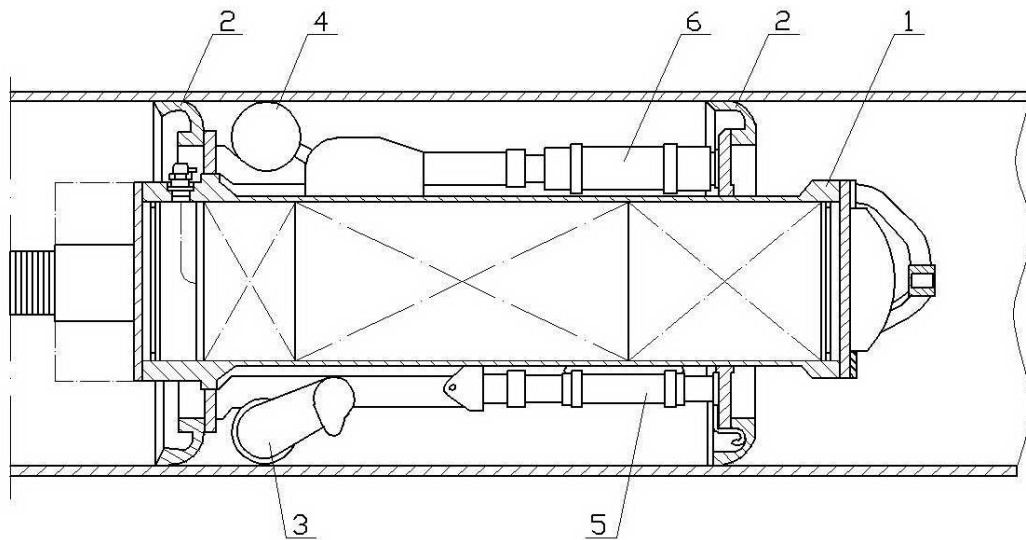
Копітка робота над створенням системи, що позбавлена вищезгаданих недоліків, привела нас до гідравлічної схеми, наведеної на рисунку 10. Насос 1 постійно перекачує оливу через зворотній клапан 3 та гідророзподільвач 5. Коли гідророзподільвач знаходиться в нейтральному положенні, олива повертається назад до гідроаккумулятора 2. При увімкненні гідророзподільвача 5 насос подає оливу в одну із камер гідроциліндра 6, приводячи його в рух, водночас з другої камери олива витісняється в гідроаккумулятор 2.

Дана схема використовує електроенергію тільки для ввімкнення гідророзподільвача та живлення сенсорів.

На даному етапі така схема виступатиме як базова для майбутнього вдосконалення після випробувань її на різних режимах роботи.

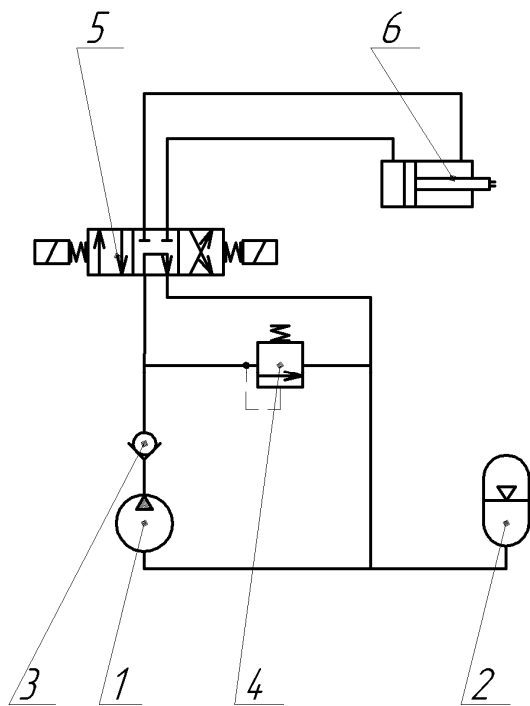
Зважаючи на складність систем, напрямки досліджень, можна поділити на такі складові частини:

- аналіз працездатності всієї системи;
- визначення робочого діапазону швидкостей насоса;
- вибір режиму роботи насоса в залежності від необхідної швидкості поршня;
- дослідження характеристик вибраного насоса (залежність тиску і продуктивності від частоти обертання валу насоса);
- вивчення роботи двох насосів (паралельно, послідовно);
- визначення величин моменту обертання на колесі залежно від режиму роботи насоса;
- аналіз споживання електроенергії системою;
- аналіз співвідношення споживаної електроенергії до отриманої гідравлічної.



1 – корпус; 2 – манжети; 3 – насос-колесо; 4 – одометр; 5 – гідроаккумулятор високого тиску; 6 – гідроаккумулятор низького тиску

Рисунок 9 – Загальний вигляд внутрішньотрубного пристрою



1 – гідравлічний насос; 2 – гідроаккумулятор; 3 – зворотній клапан; 4 – запобіжний клапан; 5 – гідророзподільвач із електромагнітним приводом; 6 – гідроциліндр

Рисунок 10 – Гідравлічна схема

Успішна реалізація поставлених задач дасть змогу покращити ефективність ВТІ, збільшити тривалість автономної їх роботи, відкрити нові можливості для конструкторів при проектуванні абсолютно нових пристроїв. Результати експериментальної роботи в даному напрямку будуть висвітлені в наступних публікаціях.

### Література

- 1 Іваник Є.Б. Досвід діагностування магістральних газопроводів ДК «Укртрансгаз» за допомогою внутрішньотрубних інспекційних поршнів / Є.Б. Іваник // Трубопровідний транспорт. – 2010. - №5. – С. 9-11.
- 2 Грузд В.Я. Стендові експериментальні дослідження динаміки руху поршня в трубопроводі / В.Я. Грузд, І.І.Капцов, Я. В. Дорошченко // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. – 2005. - №4. – С. 95-98.
- 3 Подгорбунских А.М. Устройства для автоматического регулирования скорости движения внутритрубных приборов-дефектоскопов / А.М.Подгорбунских // Дефектоскопия. – 2008. - №5. – С. 54-64.
- 4 Thuenemann U. Control your speed. // The Australian pipeliner. August, 2003. p. 24-28.
- 5 Магнитный инспекционный снаряд с технологией поперечного намагничивания (RoCorr·MFL) [Електронний ресурс]: <http://www.roseninspection.ru/Inspection+and+Services/In-Line+Inspection/Metal+Loss/RoCorr%C2%B7MFL/>
- 6 Патент 6190090 US. Apparatus for use in a pipeline.2001
- 7 Патент 6098231 US. Pipeline pigs. 2000
- 8 Патент 5208936 US. Variable speed pig for pipelines. 1993
- 9 Патент 4769598 US. Apparatus for electromagnetically testing the walls of pipeline. 1988.
- 10 Патент 4388871 US. Speed control system for a pipeline inspection vehicle.1983.
- 11 Cordell J., Vanzant H. The pipeline pigging handbook. – Texas: Clarion 2003.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
27.03.12  
Рекомендована до друку професором  
Груздом В.Я.