

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГІДРОСТАТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА РІВНЯ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ

Мацуй А.М., Кондратець В.О., Віхрова Л.Г.

Кіровоградський національний технічний університет

Запропоновано вдосконалену математичну модель гідростатичного перетворювача рівня рідких середовищ, що дозволяє підвищити точність контролю технологічних параметрів

Постановка проблеми. В період глобалізації кожна країна прагне гарантувати продовольчу безпеку. За цих умов особлива увага приділяється агропромислому комплексу, механізації та автоматизації технологічних процесів, енергозабезпеченню та енергозбереженню. Посушливий клімат України, який найбільш виражений в останні десятиліття, вимагає зрошування родючих земель. Автоматизація технологічних процесів в АПК крім притаманних їй задач забезпечує і ресурсо- та енергозбереження. У багатьох технологічних процесах застосовують датчики рівня рідин [1]. Автоматизація поливу родючих земель та обліку води в гідросистемах базується на вимірюванні рівня води [2], де вимагається висока точність, особливо у рисових зрошувальних системах. Застосування традиційних засобів вимірювання рівня рідин в АПК приводить до значних енергетичних та матеріальних перевитрат. Тому розв'язання вказаних задач в АПК на базі удосконаленого рівнеміра спрямовано на реалізацію напрямку "Новітні технології в енергетиці, промисловості та аграрному комплексі", передбаченого законодавством України. Матеріали даної статті також стосуються виконання наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету. Враховуючи сказане, тема даної статті є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задачу вимірювання рівня рідких середовищ в різні роки розв'язують Битенський М.Г., Бондарев Г.С., Бородин І.Ф., Гриневич В.Б., Карандєєв К.Б., Кортунова В.Ф., Можегов Н.А., Новик А.І., Прилепський В.Н., Самаркін Ю.В., Соловйов М.А., Хансуваров К.І., Шрайбер Г., Яковлев Л.Г. та інші. Однак запропоновані засоби не розроблялися для умов АПК і тому не можуть бути реалізованими. Аналіз показує, що в системі АПК перспективним є гідростатичний перетворювач [3], який є простим і зручним у використанні, однак його не можливо прямо застосувати в наслідок притаманних вад, встановлених в процесі експлуатації. Такий стан склався тому, що математична модель цього перетворювача складена спрощеною з логічним поясненням певних положень роботи та деякими пропозиціями щодо підвищення точності вимірювання рівня рідкого середовища [4].

Мета статті. Пропонується вдосконалити математичну модель гідростатичного перетворювача рівня рідких середовищ.

Основні матеріали дослідження. Гідростатичний перетворювач рівня рідких середовищ можливо виконати у вигляді відрізка циліндричної закритої зверху і відкритої знизу труби достатньо великого діаметра, який вертикально встановлено у вимірювальній рідині на відстані від дна. Нижня кромка труби

служить початком відліку рівня. Вихідною величиною гідростатичного перетворювача є тиск повітря в його порожнині, а вхідною – тиск рідкого середовища, що його оточує. У верхній частині встановлюється вторинний перетворювач тиску в електричний сигнал або він через штуцер імпульсною трубою з'єднується з верхньою частиною гідростатичного первинного перетворювача.

Схематичне зображення гідростатичного перетворювача рівня подано на рис.1. При подачі рідини вона заходить у внутрішню порожнину гідростатичного перетворювача і стискує в ньому повітря. Знайдемо зв'язок тиску в гідростатичному перетворювачі P_{II} з рівнем рідини H_C .

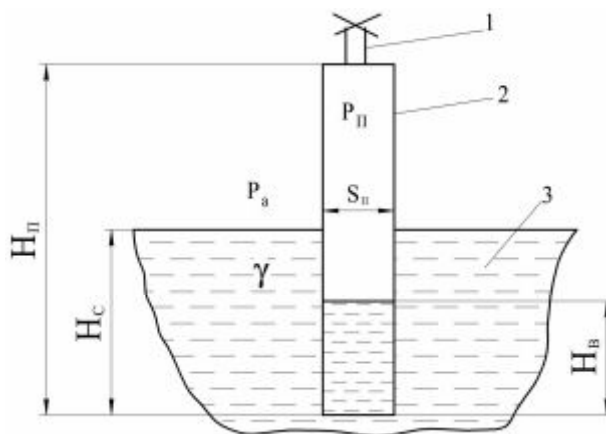


Рисунок 1 – Схематичне зображення гідростатичного перетворювача рівня:

1 – штуцер; 2 – відрізок труби; 3 – вимірюване середовище

Первинний перетворювач працює при незмінній масі газу і змінних його об'ємах, тому для нього буде справедливою залежність

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

або

$$P_{a1} V_1 = P_{II} V_2, \quad (1)$$

де P_{II} , P_{a1} – відповідно тиск повітря в перетворювачі і атмосферний тиск при його заповненні повітрям;

V_1, V_2 – відповідно об'єм газу у перетворювачі при атмосферному тиску і зменшений об'єм газу в перетворювачі під дією вимірюваного середовища.

Тиск у перетворювачі, визначений з рівняння (1), дорівнює

$$P_{\Pi} = \frac{P_{a1} V_1}{V_2} \quad (2)$$

Об'єм повітря у вихідному стані перетворювача

$$V_1 = S_{\Pi} H_{\Pi}, \quad (3)$$

де S_{Π} - площа поперечного перерізу перетворювача;
 H_{Π} - висота перетворювача.

Змінений об'єм повітря в перетворювачі дорівнює

$$V_2 = S_{\Pi} (H_{\Pi} - H_B), \quad (4)$$

де H_B - висота стовпа середовища у внутрішній порожнині перетворювача.

Умова рівноваги у первинному перетворювачі полягає у рівності сил, що діють з боку внутрішньої порожнини і зовнішнього середовища – стовпа рідини і атмосферного тиску.

Сила з боку середовища і атмосфери характеризується результируючим тиском. Тиск рідини на вході в перетворювач можна визначити залежністю

$$P_p = P_{a2} + \gamma g H_C, \quad (5)$$

де P_{a2} – атмосферний тиск в момент вимірювання;
 γ – густина вимірюваного середовища;
 g – прискорення земного тяжіння.

Тиск рідини, що розвиває перетворювач, приведений до його входу, дорівнює

$$P_{p\Pi} = P_{\Pi} + \gamma g H_B. \quad (6)$$

На підставі рівності тисків P_p і $P_{p\Pi}$ можна записати

$$H_B = \frac{P_{a2} - P_{\Pi} + \gamma g H_C}{\gamma g}. \quad (7)$$

Підставивши (7) в (4) і перетворивши вираз, отримаємо

$$V_2 = \frac{S_{\Pi}}{\gamma g} [\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2} + P_{\Pi}]. \quad (8)$$

Підставимо значення об'ємів повітря (3) і (8) у вираз (2). При цьому після перетворення отримаємо рівняння

$$P_{\Pi}^2 + [\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2}] P_{\Pi} - P_{a1} H_{\Pi} \gamma g = 0. \quad (9)$$

Значення тиску у гідростатичному перетворювачі, визначене з (9), буде дорівнювати

$$P_{m,2} = \frac{-[\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2}] \pm \sqrt{[\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2}]^2 + 4 P_{a1} H_{\Pi} \gamma g}}{2}. \quad (10)$$

Аналіз показує, що рівняння (10) має сенс при знакові "плюс" перед коренем квадратним. З враху-

ванням цього залежність для тиску у гідростатичному перетворювачі буде

$$P_{\Pi} = \frac{[P_{a2} - \gamma g (H_{\Pi} - H_C)] + \sqrt{[\gamma g (H_{\Pi} - H_C) - P_{a2}]^2 + 4 P_{a1} H_{\Pi} \gamma g}}{2}. \quad (11)$$

Вираз (11) є статичною математичною моделлю гідростатичного перетворювача. Тиск у перетворювачі P_{Π} є функцією рівня вимірюваного середовища H_C , однак залежність відрізняється складністю. Крім того, вихідна величина перетворювача визначається рядом фізичних параметрів – атмосферним тиском при його заповненні P_{a1} , атмосферним тиском в момент вимірювання P_{a2} , прискоренням земного тяжіння g , густиною середовища γ та конструктивним параметром – висотою H_{Π} . Вихідний сигнал перетворювача не залежить від площі його поперечного перерізу.

Конструктивні параметри звичайно визначають характеристики перетворювачів. Якщо прийняти $H_{\Pi}=0$, то залежність (11) можна подати у вигляді

$$P_{\Pi} = P_{a2} + \gamma g H_C. \quad (12)$$

З залежності (12) витікає, що при $H_{\Pi}=0$ чутливість перетворювача буде найбільшою, оскільки отримуємо при певних γ і H_C саме велике значення тиску P_{Π} . Тому, з міркувань забезпечення найвищої чутливості, слід було б прийняти висоту перетворювача $H_{\Pi}=0$. Однак при $H_{\Pi}=0$ перетворювач реалізувати не можливо в наслідок забивання імпульсної трубки. Це вимагає іншого підходу при конструюванні гідростатичного перетворювача, а саме – вибору найменшого можливого значення висоти H_{Π} .

Як видно з математичної моделі гідростатичного перетворювача (11), його вихідна величина є функцією двох змінних – рівня і густини вимірюваного середовища. Математична модель передбачає визначення повного тиску в перетворювачі $P_{\Pi} = P_a + \gamma g H_C$. Наднормальний тиск можливо знаходити відповідно залежності

$$P_{\Pi\Pi} = P_{\Pi} - P_{a2}, \quad (13)$$

де $P_{\Pi\Pi}$ – наднормальний тиск у перетворювачі.

Аналіз показує, що при збільшенні висоти патрубка H_{Π} чутливість перетворювача дещо зменшується, залишаючись достатньо високою в межах можливих технологічних змін H_{Π} .

Оскільки вихідний сигнал гідростатичного перетворювача (11) залежить як від рівня, так і густини вимірюваного середовища, безпосередньо вимірювати рівень можливо лише при $\gamma = \text{const}$. Залежність наднормального тиску перетворювача від рівня вимірюваного середовища при різних густинах і $H_{\Pi}=0,6\text{м}$ показані на рис.2. З рис.2 видно, що наднормальний тиск перетворювача лінійно змінюється з ростом рівня вимірюваного середовища при різних його густинах. Чутливість перетворювача збільшується при зростанні його густини.

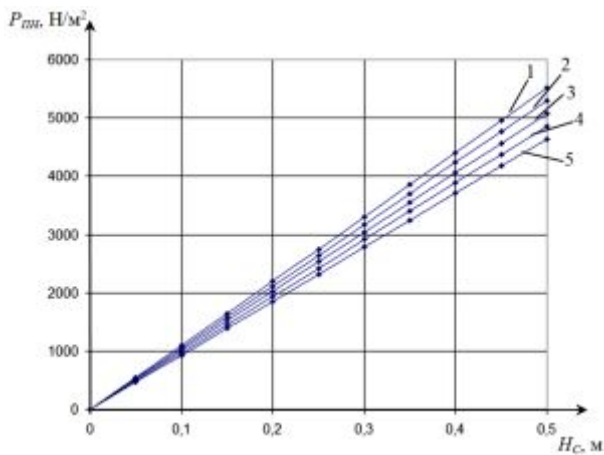


Рисунок 2 – Залежність наднормального тиску перетворювача від рівня вимірюваного середовища при різних густинах:
1 – 1200; 2 – 1150; 3 – 1100; 4 – 1050; 5 – 1000 кг/м³

З врахуванням того, що тиск на вході гідростатичного перетворювача дорівнює $P_{вх} = P_{a2} + \gamma g H_c$, вираз (11) можливо подати у вигляді

$$P_{II} = \frac{1}{2} \left[P_{вх} - \gamma g H_{II} + \sqrt{[P_{вх} - \gamma g H_{II}]^2 + 4 P_{a1} H_{II} \gamma g} \right]. \quad (14)$$

Статична математична модель гідралічного перетворювача, подана у вигляді (14), показує, що в ньому повний тиск на вході $P_{вх}$ також може розглядатися як вхідна величина. При цьому вихідна величина P_{II} є функцією двох параметрів – повного вхідного тиску $P_{вх}$ і густини середовища γ .

Залежність наднормального тиску перетворювача від повного тиску середовища при різних його густинах подано на рис.3. З нього видно, що при певній густині середовища наднормальний тиск перетворювача P_{II} лінійно залежить від повного тиску на його вході. При зростанні густини середовища чутливість дещо зменшується. Вплив зміни густини середовища тут значно менший, ніж при вимірюванні її рівня.

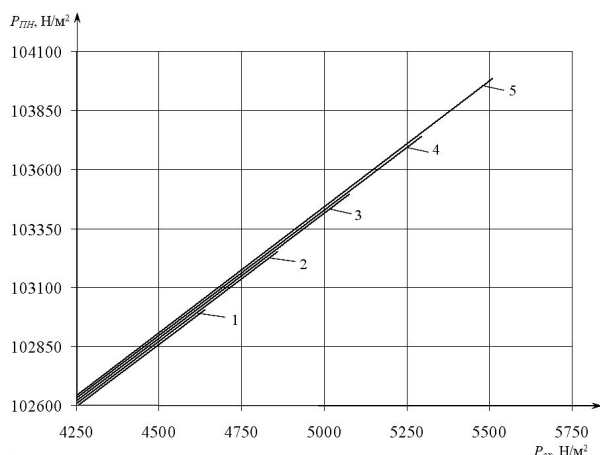


Рисунок 3 – Залежність наднормального тиску перетворювача від повного тиску середовища при різних його густинах:
1 – 1000; 2 – 1050; 3 – 1100; 4 – 1150; 5 – 1200 кг/м³

Висновки. З наведеного матеріалу видно, що статична математична модель гідростатичного перетворювача зв'язує його повний тиск з рівнем або тиском вимірюваного середовища. Однак цей зв'язок супроводжується впливом густини рідкого середовища на отриманий результат. При збільшенні густини рідини чутливість гідростатичного перетворювача в процесі визначення рівня зростає, а повного її тиску – зменшується. Вплив зміни густини вимірюваного середовища на рівень більший, ніж на повний тиск. При незмінній густині рідини забезпечується висока точність вимірювання технологічних параметрів.

На підставі проведених досліджень створюється можливість здійснення комплексного аналізу впливу збурюючих факторів та їх компенсації, спрямованих на подальше підвищення точності вимірювання рівня та тиску гідростатичним перетворювачем.

Список використаних джерел

1. Типові пристрої автоматизації технологічних процесів тваринницьких фермерських господарств / [В.О. Кондратець, М.С. Віхрова, С.І. Осадчий та ін.] / - Кіровоград: КНТУ, 2005.- 112с.
2. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Н.М. Недилько.- М.: Агропромиздат, 1986.- 368с.
3. Можегов Н.А. Автоматические средства измерения объема, уровня и пористости материалов / Можегов Н.А. – М.: Энергоатомиздат, 1990.- 120 [674]с.- (Библиотека по автоматике, вып. 674).
4. Яковлев Л.Г. Уровнемеры / Яковлев Л.Г.- М.: Машиностроение, 1964.- 190с.

Аннотация

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УРОВНЯ ЖИДКИХ СРЕД

Мацуей А.Н., Кондратец В.А., Вихрова Л.Г.

Предложено усовершенствованную математическую модель гидростатического преобразователя уровня жидких сред, которая позволяет повысить точность контроля технологических параметров.

Abstract

MATHEMATICAL MODEL OF HYDROSTATICAL TRANSFORMER OF LEVEL LIQUID ENVIRONMENTS

A. Matsuy, V. Kondratets, L. Vihrova

The improved mathematical model of hydrostatical transformer of level liquid environments is offered, which allows to promote exactness of control of technological parameters.