



УДК 621.65

DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENCY MONITORING DEVICE FOR CENTRIFUGAL PUMPS**РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ****Glad I.V. / Гладь І.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8247-655X

*Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ,**Карпатська, 15, 76019***Batsala Y.V. / Бацала Я.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4964-407X

*Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ,**Карпатська, 15, 76019***Kiianiuk O. I. / Кіянюк О.І.***Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ,**Карпатська, 15, 76019***Kurliak P. O. / Курляк П.О.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8113-5211

*Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ,**Карпатська, 15, 76019*

Анотація. В статті розглянуто можливість застосування термодинамічного та класичного методів визначення ККД відцентрового насоса. Розроблено віртуальний прилад для вимірювання енергетичних параметрів та температури вхідного та вихідного потоків рідини насосів з авторським програмним забезпеченням в середовищі LabVIEW. Запропоновано вимірювання енергетичних параметрів трифазного асинхронного двигуна, який обертає вал насоса, за допомогою інформаційно-вимірювального пристрою. Проведено дослідження роботи відцентрового насоса, визначено його ККД, зроблено висновки щодо ефективності роботи під навантаженням. Окреслено кроки для подальших наукових досліджень відцентрових насосів та можливості вдосконалення апаратної реалізації пристрою контролю енергоефективності.

Ключові слова: відцентровий насос, ККД, енергоефективність, термодинамічний метод вимірювання, віртуальний пристрій, середовище LabVIEW.

Вступ.

В умовах дефіциту енергоресурсів в Україні набуває актуальності питання їх ефективного використання та заощадження. Важливе місце в цьому процесі займають електропривідні відцентрові насоси (ЕВН), які використовуються на різноманітних промислових об'єктах. Лише електроприводи ЕВН споживають



близько третини всієї виробленої електроенергії. Середнє значення ККД промислових ЕВН не перевищує 40 %, а кожного десятого – менше 10 %. Тому підвищення ефективності функціонування ЕВН є одним із стратегічних завдань енергозбереження України.

Основний текст

Низька енергоефективність вітчизняних ЕВН обумовлена недостатніми науковими дослідженнями їх енергообмінних процесів, неможливістю аналізувати та оптимізувати режими їх роботи. Причина цього – відсутність інформаційно-вимірювальних систем для оперативного аналізу функціонування ЕВН – єдиних джерел достовірної інформації про їх реальний технічний стан.

Розроблений спеціалістами Росії пристрій визначення ККД гідравлічної частини КПДМЕР-2М вимірює значення тільки гідравлічного ККД. В основі його роботи є термодинамічний метод, суть якого у вимірюванні різниці температури і тиску рідини на вхідному і вихідному патрубках насоса та обчисленні значення ККД насоса за математичною моделлю. Для отримання ККД всього перекачувального агрегату необхідно знати ККД електродвигуна, після чого помножити його на ККД насоса, що пристроєм не забезпечується.

Розроблена спеціалістами Великобританії багатофункціональна система моніторингу технічного стану ЕВН YATESMETER уможлиблює визначення ККД всього перекачувального агрегату. В основі її функціонування також закладено термодинамічний метод, але передбачено вимірювання споживаної електродвигуном активної потужності. Обчислення ККД агрегату проводиться в портативній ЕОМ за унікальною математичною моделлю, яка є ноу-хау розробників. На жаль, в Україні YATESMETER комерційно не пропонується, а очікувана роздрібна ціна складає десятки тисяч у.о., що унеможлиблює придбання промисловими підприємствами та науково-дослідними організаціями.

Враховуючи наведене вище, необхідними є науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, спрямовані на створення пристрою контролю енергоефективності ЕВН.

Роботи ведуться у двох напрямках: із застосуванням термодинамічного методу та класичного методу.

Термодинамічний метод полягає у визначенні гідроККД відцентрового насоса за такою формулою:

$$\eta_r = \frac{1}{1 + \rho C \left(\frac{T_{ВИХ} - T_{ВХ}}{P_{ВИХ} - P_{ВХ}} \right)} \quad (1)$$

Для реалізації термодинамічного методу синтезовано структурну схему пристрою (рис. 1).

Для вимірювання вхідного і вихідного тиску застосовано давачі тиску SEN-86 з діапазоном вимірювання 0-10 бар, аналоговим вихідним сигналом 0-10 В та класом точності 1. Давачі живляться однополярною стабілізованою постійною напругою 15 В.

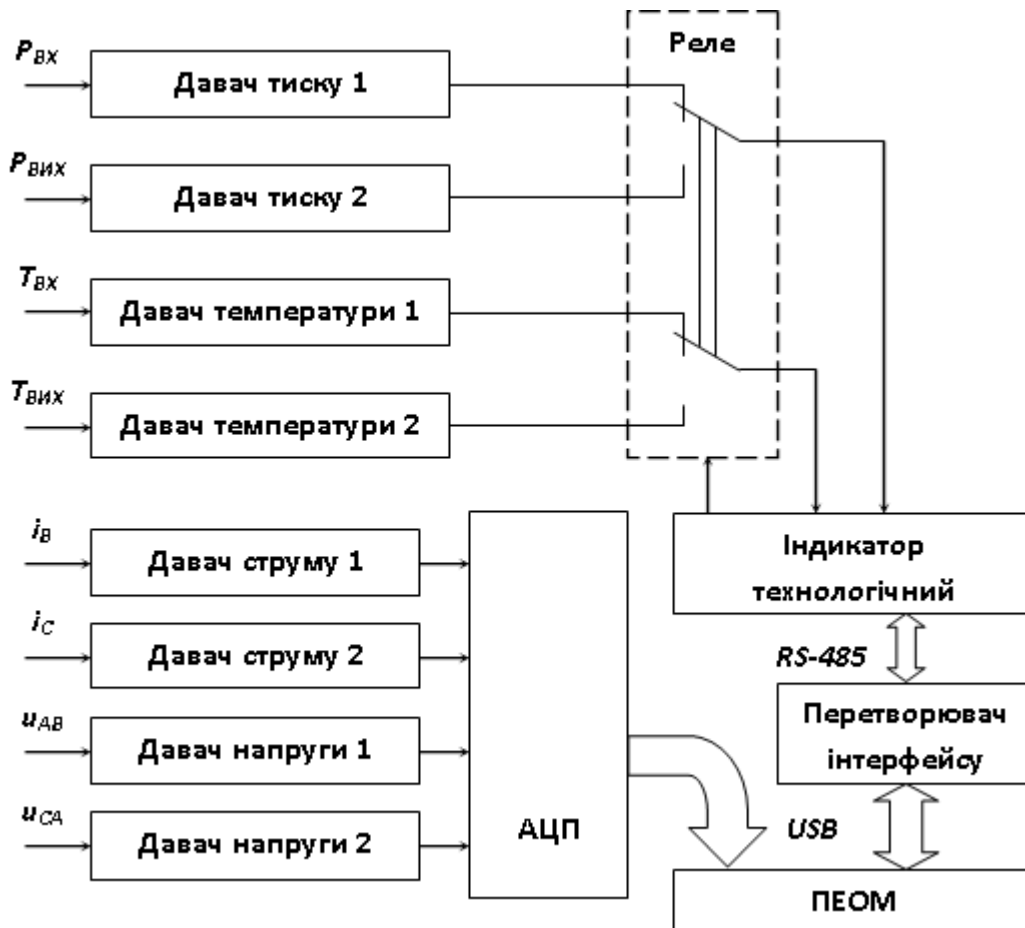


Рис. 1. Структурна схема пристрою на основі термодинамічного методу
Авторська розробка

Для вимірювання температури вхідного і вихідного патрубків застосовано накладні платинові термоперетворювачі опору типу Pt-100 марки ТСП-2-8 з номінальним опором 100 Ом при температурі 0 ° С. [1] Термоперетворювачі і давачі тиску приєднані до гальванічно ізольованих аналогових входів індикатора технологічного мікропроцесорного ІТМ-22М (виробництво фірми МІКРОЛ, Івано-Франківськ) через комутатори на базі реле, які перемикаються тим же індикатором. Індикатор ІТМ-22М має клас точності 0,2 і сполучений з ЕОМ з виконаним у середовищі LabVIEW 8.2.1 авторським програмним забезпеченням за допомогою інтерфейсу RS-485, по якому здійснюється зчитування та запис значень температур і тиску у файл. Також надсилається сигнал на перемикання реле, яке необхідно для забезпечення вимірювання одним каналом, налаштованим на діапазон аналогового сигналу 0-10 В. Інший аналоговий вхід індикатора налаштовано за трипровідною схемою на приєднання термоперетворювачів опору. Потім переключають реле на термоперетворювач 2 і вимірюють ним граничні взірцеві значення температури та знаходять коефіцієнт k_2 , b_1 .

$$K_2 = \frac{T_{2ВИМ} - T_{1ВИМ}}{T_{2ПАЗК} - T_{1ПАЗК}}, \tag{2}$$

$$b_2 = T_{2ВИМ} - K_2 T_{2ПАЗК}, \tag{3}$$

Як наслідок, перетворювальна характеристика термоперетворювача 2 буде



побудована за рівнянням (4):

$$T_2 = K_2 T + b_2 . \quad (4)$$

Таким чином, за допомогою комутації одного вимірювального каналу і приведенням перетворювальних характеристик термоперетворювачів опору забезпечується вимірювання температури патрубків відцентрового насосу.

В результаті випробування відмічено деяку термонестабільність каналів вимірювання температури, імовірною причиною яких було використання індикатора ІТМ-22М без додаткового корпусу, що уможливило вплив протягів повітря через вентиляційні отвори у корпусі індикатора на режим роботи його вимірювальних кіл. Тому в даний час проводяться роботи, спрямовані на оптимізацію конструкції пристрою визначення гідроККД.

З метою визначення повного ККД ЕВН необхідним є вимірювання електричної активної потужності на затискачах трифазного асинхронного двигуна, який обертає вал насосу. Оскільки обмотки статора двигуна сполучені в зірку з ізолюваною нейтраллю, то активну потужність доцільно вимірювати за допомогою методу двох ватметрів (схема Арона) із застосуванням методів цифрової обробки сигналів. Для цього за допомогою вимірювальних перетворювачів напруги з ефектом Холла компенсаційного типу марки CV3-1000 вимірюються миттєві значення лінійних напруг u_{AB} , u_{CA} , а миттєві значення струмів у фазах i_B , i_C вимірюються за допомогою струмових кліщів-адаптерів АТА-2502 (див. рис. 1). Клас точності давачів напруги становить 0,2, а давачів струму 2. Виміряні миттєві значення напруги і струму оцифровуються за допомогою 16-розрядного АЦП марки NI USB-6009 виробництва National Instruments [2] і вводяться у ЕОМ, в якій за технологією віртуальних приладів [3] визначається активна потужність асинхронного двигуна.

Для визначення повного ККД ЕВН термодинамічним методом необхідно знайти спосіб врахування механічних втрат передачі і втрат у двигуні або його ККД.

Перевагою термодинамічного методу є порівняно невелика вартість обладнання, а недоліком – інерційність каналів вимірювання температури. Термодинамічний метод уможливлює дослідження усталених режимів роботи ЕВН.

Класичний метод передбачає вимірювання вхідної електричної активної потужності двигуна ЕВН і вихідної гідравлічної потужності потоку рідини, яка перекачується для цього електрична частина пристрою аналогічна до наведеної вище, а гідравлічна включає ультразвуковий портативний витратомір (рис. 3).

З пристрою вилучено термоперетворювачі опору, що вивільнило другий вимірювальний канал індикатора ІТМ-22М, який використано для вимірювання тиску, тобто індикатор вимірює тиск синхронно у обох патрубках насосу. Протокол RS-485 уможливлює приєднання до 255 пристроїв та їх опитування по протоколу ModBUS. Таким чином забезпечується приєднання портативного ультразвукового витратоміра з накладними давачами.

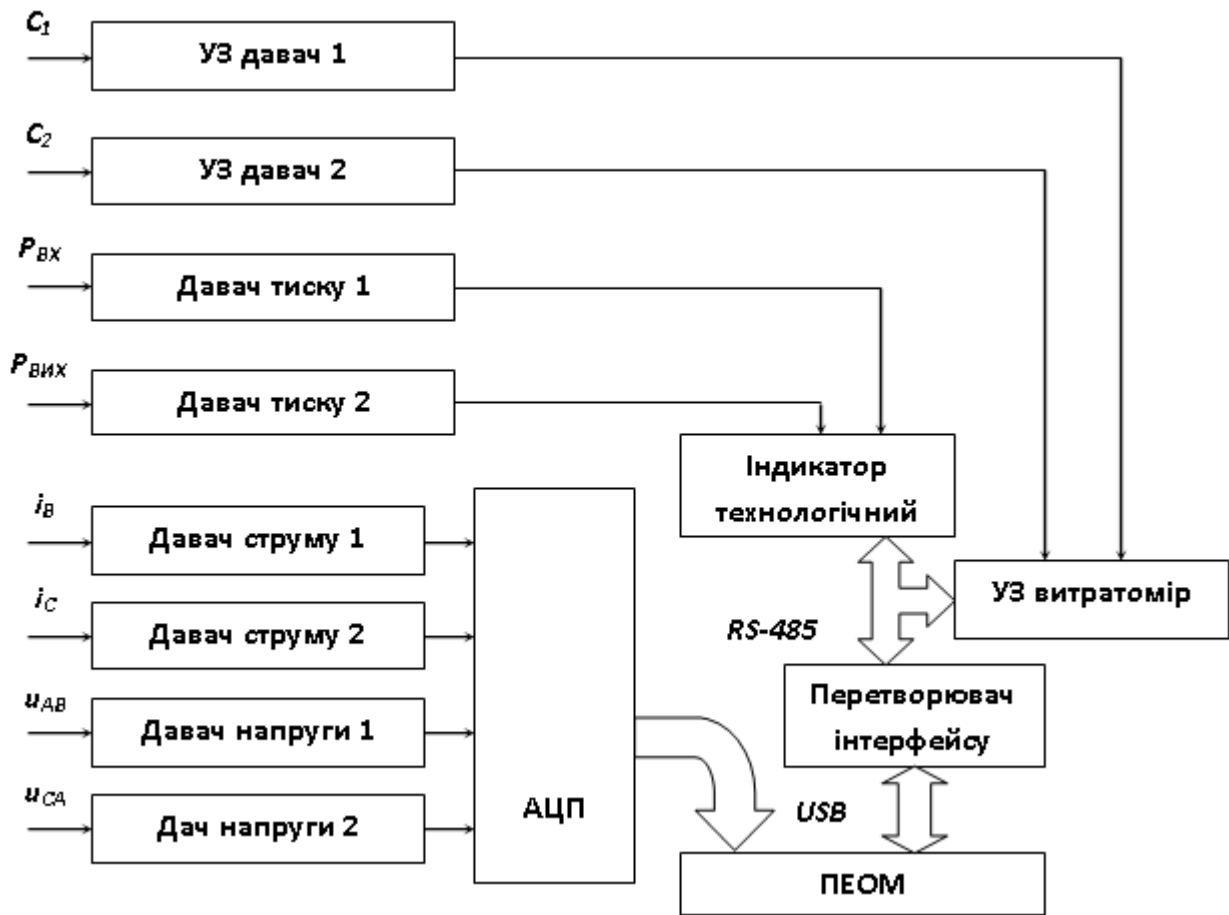


Рис. 2. Структурна схема пристрою на основі класичного методу
 Авторська розробка

Відповідно застосовується інше авторське програмне забезпечення, яке реалізує класичний алгоритм:

$$N_1 = P_{AB} + P_{CA} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{AB} \cdot i_B + \frac{1}{T} \int_0^T u_{CA} \cdot i_A, \tag{5}$$

$$N_2 = Q(P_2 - P_1), \tag{6}$$

$$\eta = \frac{N_2}{N_1}. \tag{7}$$

Перевагою класичного методу є можливість дослідження як усталених, так і перехідних режимів роботи ЕВН, а недоліком – висока вартість портативного ультразвукового витратоміра (2000-5000 у.о.). Однак його наявність уможливило створення на базі технології віртуальних приладів портативної інформаційно-вимірювальної системи контролю енергоефективності електропривідних відцентрових насосів, яка після розгортання на об’єкті буде функціонувати автоматично, з мінімальним обсягом ручної обробки та введення даних оператором.

В процесі науково-дослідної роботи в програмі LabVIEW розроблено віртуальний прилад для вимірювання температури вхідного та вихідного потоків рідини насосу.

Віртуальний прилад працює, почергово перемикаючи канали вимірювання,



індикує числові значення температури та записує їх у файл текстового формату для подальшого аналізу та побудови часових діаграм.

Висновки.

В результаті експериментальних випробувань розробленого пристрою контролю гідравлічного ККД відцентрового насосу виявлено, що для підвищення чутливості вимірювання інформаційно-вимірювального комплексу необхідно використовувати повірені датчі необхідної точності, а також забезпечити відповідну теплоізоляцію корпусу вимірювача температури.

Перспективою подальших досліджень є підвищення точності пристрою визначення гідравлічного ККД та розробка методики його метрологічної повірки та розробка методів програмної корекції похибок вимірювання енергоефективності відцентрових насосів.

Література:

1. Гладь І. В. , Федорів М. Й., Кіянюк О. І. Контроль енергоефективності відцентрових насосів // Діагностика електромеханічних систем та ресурсозбереження. Кременчук. - 2011. - №2(39). - С. 72-273.
2. National Instruments. Режим доступу: [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ni.com>.
3. Кіянюк О. І., Гладь І. В. Експериментальне дослідження енергоефективності електропривідних насосів системи водопостачання басейну // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2013. - № 6. - С. 79-81.

References:

1. Glad I.V. (2011). Kontrol energoefektyvnosti vidcentrovyyh nasosiv [Diagnostic electromechanics systems and resource saving] in *Kremenchuk* [Scientific works], issue 39, vol.2, pp. 272-273.
2. National Instruments. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.ni.com>.
3. Kiiyaniuk O. I. (2013) Experementalne doslidgennia energoefektyvnosti elektropryvidnyh nasosiv systemy vodopostachannia baseinu. [Visnyk Vinnytsia Polytechnic University] in Vinnytsia [Scientific works], issue 6, vol.1, pp. 79-81.

Abstract. The article considers the possibility of applying thermodynamic and classical methods of determining the efficiency of a centrifugal pump. A virtual instrument for measuring energy parameters and temperature of inlet and outlet fluid flow of pumps with authoring software in LabVIEW environment has been developed. It is suggested to measure the energy parameters of a three-phase asynchronous motor, which rotates the pump shaft, using an information-measuring device. The work of the centrifugal pump is carried out, its efficiency is determined, the conclusions about the efficiency of work under load are made. The steps for further scientific research of centrifugal pumps and the possibility of improving the hardware implementation of the energy efficiency control device are outlined.

Key words: centrifugal pump, efficiency, energy efficiency, thermodynamic measurement method, virtual device, LabVIEW environment.

Стаття відправлена: 08.10.2019 г.

© Гладь І.В.