

МЕТОДИ ТА ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ПОТОКУ МОЛОКА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розглянуто класифікацію витратомірів, методи вимірювання рідини на яких вони побудовані. Проведено вибір керуючого мікроконтролера, розроблено схему підключення датчика.

Ключові слова: ємнісний витратомір, повітряно-молочна суміш, датчик, керуючий мікроконтролер.

Abstract

In this paper, the classification of flowmeters, the methods of measuring the fluid on which they are built, is considered. The selection of the control microcontroller is made, the scheme of connection of the sensor is developed.

Keywords: capacitor flow meter, air-milk mixture, sensor, control microcontroller.

Вступ

Сільське господарство – галузь господарства, завданням якої є забезпечення населення продовольством і отримання сировини для цілого ряду галузей промисловості. На відміну від промисловості, технологічний процес в сільському господарстві тісно пов'язаний з природою, де земля виступає в ролі головного засобу виробництва. Саме тому ця галузь має більший вплив на природне середовище, ніж будь-яка інша галузь народного господарства. У сільськогосподарському виробництві зайнято близько половини економічно активного населення світу.

Молочне скотарство - провідна галузь тваринництва, що забезпечує значну частину валової продукції сільськогосподарського виробництва, повноцінне харчування населення, рівномірне надходження коштів протягом року, а також сприяє підвищенню родючості ґрунтів [1].

В Україні в 2018 році спостерігалось значне поліпшення якості молока, що надходить на переробні підприємства. Так, за 9 місяців 2018 року обсяги закупівлі молока екстра і вищого сорту зросли відповідно на 33,8% і 7,8%. У той же час, обсяги закупівлі молока I сорту скоротилися на 8,9%, а II сорту — на 15,1%.

Сьогодні молочний сектор демонструє позитивні результати, покращилася якість сировини, вперше за останні роки Україна увійшла в 10-ку світових лідерів з експорту молочної продукції [2].

Актуальність роботи. З огляду на сучасні тенденції розвитку обладнання для молочного тваринництва, створення засобів оперативного моніторингу інтенсивності молоковидедення в процесі машинного доїння є вкрай актуальним питанням, без вирішення якого не можливо повною мірою реалізувати потенціал технологій точного тваринництва та забезпечити створення адаптивної доїльної апаратури.

На сьогодні широко використовуються механічні витратоміри об'ємного принципу дії (ковшового та поплавкового типів) та пропорційного відбору, їх недоліками є низький рівень дискретизації вимірювань потоку, значна похибка вимірювань при високій інтенсивності молоковіддачі, низька мобільність та ускладнене інтегрування у автоматичні системи. Також застосовуються датчики інфрачервоного принципу дії та датчики провідності, їх недоліки висока вартість та низька точність вимірювань. Відомий також термоанемометричний вимірювач потоку молока, недоліком якого є підвищене енергоспоживання, що важливо при застосуванні автономного енергоживлення. Разом з тим згадані вище параметри рідини (молока) можливо оцінити непрямыми методами, наприклад, через електричну ємність, електропровідність чи діелектричну сталу. При цьому одними з найпростіших (за конструкцією) є датчики ємнісного типу. Як приклад, добре відоме використання ємнісних датчиків для контролю вологості матеріалів.

Метою даної роботи є розробка витратоміра індивідуальних надоїв шляхом узагальнення та дослідження динамічних проявів водомістких рідин у проточних датчиках ємнісного типу.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд поставлених задач: провести літературний пошук витратомірів, визначити їх типи та характеристики; здійснити дослідження ємнісного датчика; проаналізувати способи підключення; розробити схему електричну принципову; підтвердити справедливості зроблених припущень, сформулювати задачі подальшого дослідження.

Об'єктом досліджень є процес вимірювання витрат рідини за допомогою мікропроцесорного ємнісного проточного витратоміра.

Предметом досліджень є спосіб вимірювання витрат рідини, що використовує принцип зміни електричної ємності під дією водомісткої рідини, яка знаходиться між обкладинками електричного вимірювального конденсатора.

Методи дослідження - використано наступні методи дослідження: спостереження, експеримент, аналіз та узагальнення.

Аналіз стану

Представленим на ринку засобам моніторингу інтенсивності молоко виведення притаманна низка недоліків, а проте вітчизняні пристрої на основі датчиків проточного типу відсутні [3]. Лідером ринку таких пристроїв є оптичні (інфрачервоні) сенсори типу FFS-30 виробництва SCR [4]. Ці ж сенсори у своєму обладнанні використовує світовий лідер із виробництва обладнання для молочного тваринництва – DeLaval [5]. Датчик виконано як трубку зі змінною формою перерізу (в зоні встановлення оптичної групи трубка має прямокутний переріз). Пристрій – компактний, не містить рухомих механічних частин і не створює механічних перешкод для вільного руху пульсуючого потоку молока.

Фірмою ВЕСО розроблено проточний датчик інтенсивності молоко виведення ємнісного принципу дії [6]. Характерною особливістю доїльної апаратури ВЕСО є значний внутрішній діаметр молокопровідного шланга доїльного апарата (22 мм на відміну від загально прийнятих 15–16 мм). До цього ж типу пристроїв належать проточні датчики інтенсивності молоко виведення від Panazoo [7].

Важливими є не лише контроль інтенсивності молоко виведення та облік індивідуального надою, але й визначення інших показників молока. Згадані вище параметри молока можливо оцінити непрямыми методами, наприклад, через електричну ємність, електропровідність чи діелектричну сталу. А проте одними з найпростіших (за конструкцією) є датчики ємнісного типу. Однак суттєва відмінність сигналу ємнісного датчика для різних фізичних проявів рідин (суцільне середовище, поверхнева плівка, піна [8]) і відсутність відповідних алгоритмів інтерпретації сигналу перешкоджають використанню ємнісних датчиків для контролю інтенсивності молоковиведення та обліку молока.

Для створення лічильника молока на основі проточного датчика ємнісного типу слід врахувати наступні особливості: фізичний стан рідини – молока (найбільший вплив на електричні властивості датчика створюють: молоко як суцільне середовище, молочна піна, молочна плівка на стінках датчика); режим потоку молока (характерним є пульсуючий потік молока порціями, що повністю заповнюють переріз молокопровідного шлангу, але мають різну довжину та швидкість руху); певна відмінність електричних властивостей молока одержаного в різний період і від різних тварин, що впливають на сигнал датчика.

Результати дослідження

На сьогодні існує величезна кількість витратомірів, які використовують для комерційного і технологічного контролю потоків рідин, газу та пари.

Витрата речовини – це кількість речовини (рідини або газу), яка протікає через поперечний переріз трубопроводу за одиницю часу.

За вимірюваною величиною розрізняють об'ємні та масові витратоміри. За фізичними явищами, що покладені в роботу, витратоміри об'єму поділяють на механічні, механіки рідин і газів, електродинамічні, хвильові, а масові лічильники – на теплові і механічні. Згідно з принципом роботи до об'ємних механічних витратомірів належать тахометричні і осцилювальні витратоміри, а до масових механічних – інерційні. За ефектами, що використовують, у тахометричних витратомірах можна виділити основні три групи: камерні (інші назви: діафрагмові або мембранні), турбінні і шарові [9]. Найчастіше використовують перші два види. Класифікація витратомірів зображена на рисунку 1.

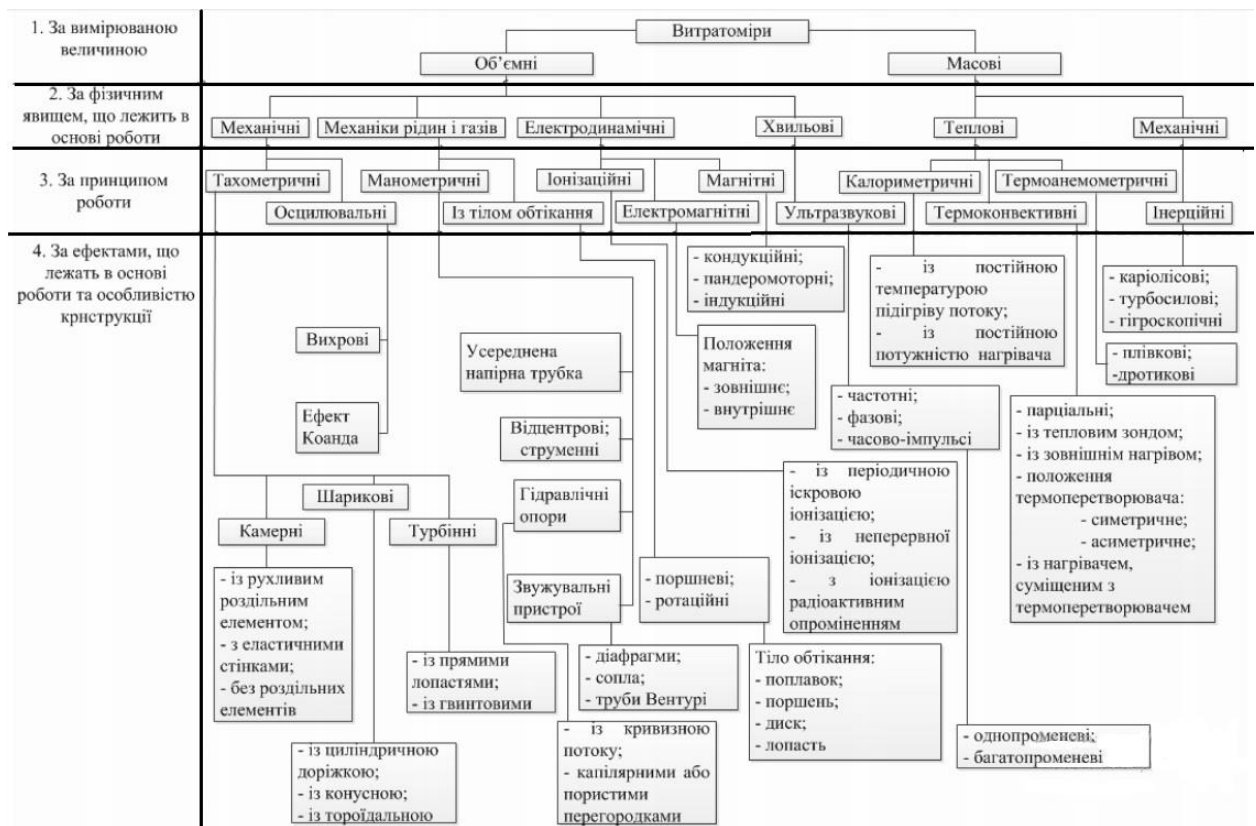


Рис.1 Класифікація витратомірів

На сьогодні широко використовуються механічні лічильники об'ємного принципу дії (ковшового та поплавкового типів) та пропорційного відбору, їх недоліками є низький рівень дискретизації вимірювань потоку, значна похибка вимірювань при високій інтенсивності молоковіддачі, низька мобільність та ускладнене інтегрування у автоматичні системи. Також застосовуються датчики інфрачервоного принципу дії та датчики провідності, їх недоліки висока вартість та низька точність вимірювань. Відомий також термоанемометричний вимірювач потоку молока [10], недоліком якого є підвищене енергоспоживання, що важливо при застосуванні автономного енергоживлення. Разом з тим згадані вище параметри рідини (молока) можливо оцінити непрямими методами, наприклад, через електричну ємність, електропровідність чи діелектричну сталу. При цьому одними з найпростіших (за конструкцією) є датчики ємнісного типу. Як приклад, добре відоме використання ємнісних датчиків для контролю вологості матеріалів. Відомі спроби застосування ємнісних датчиків для діагностування маститу тварин [11].

Принцип дії ємнісного датчика полягає у зміні електричної ємності під дією водомісткої рідини, яка знаходиться між обкладинками електричного вимірювального конденсатора (в літературі – «С-комірка») [12]. Проте широкому застосуванню подібних датчиків, перешкоджають складні електрофізичні ефекти, що проявляються під час руху водомісткої рідини. І якщо вплив води на електромагнітні властивості водомістких речовин – в тому числі, молока, відносно добре досліджений та відображений у науковій літературі, то прояви цих властивостей у динамічних умовах залишились невивченими.

Ємність плоского електричного конденсатора C , відповідно до елементарної теорії електротехніки, можливо визначити за формулою:

$$C = (\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S)/d \quad (1)$$

де ϵ_0 – абсолютна діелектрична проникність; ϵ – відносна діелектрична проникність; S – площа пластин, m^2 ; d – відстань між пластинами, m .

Цю формулу можливо переписати у формі:

$$C = \varepsilon \cdot C_0, \quad (2)$$

де C_0 – ємність конденсатора з діелектриком – вакуумом, Ф.

У формулі 2 виділено основний характерний параметр, який буде розглядатися нижче – ε діелектрична стала діелектрика конденсатора. Як відомо [13], вода у рідкій формі має діелектричну проникність близько 81 одиниць. Далі за текстом «рідиною» будемо називати водні розчини або водні суміші, в яких електричні властивості визначаються, в основному, наявною в них водою. На рис. 2 показано конденсатор, що складається із двох обкладинок, закріплених на трубці, яка виготовлена з матеріалу із малим значенням ε (для пластмас, це близько 4 одиниць) та характеристика датчика, який використовувався у експериментах.

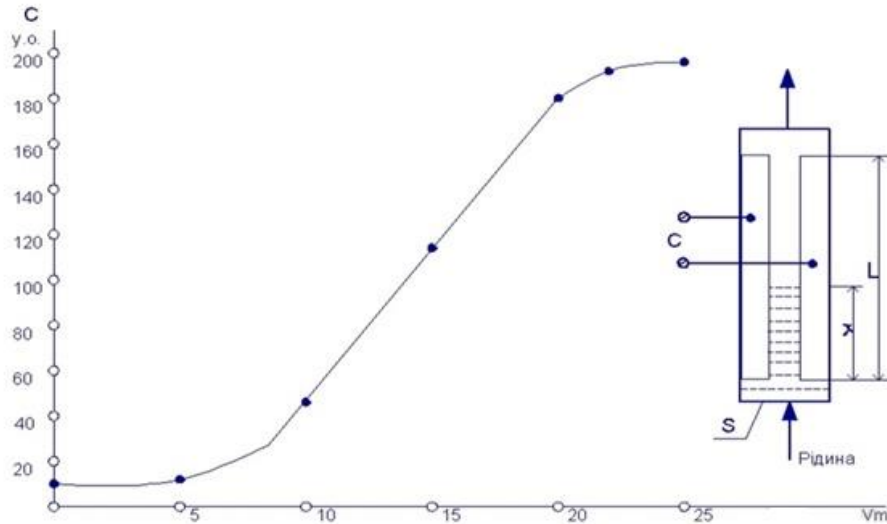


Рис.2 Схема ємнісного датчика та його характеристики

де: S – площа перерізу датчика; L – довжина датчика; χ - ступінь заповнення датчика; V - об'єм рідини у датчику; C - електрична ємність.

Якщо конденсатор (рис. 2) заповнити водою у пропорції χ (далі – «наповненість датчика»), то електрична ємність такого конденсатора складе:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot C_0 \cdot \chi + \varepsilon_0 \cdot C_0 \cdot (1 - \chi) = C_0 \cdot (\varepsilon - 1) \cdot \chi + C_0, \quad (3)$$

Де χ - наповненість датчика, число від 0 до 1.

Таким чином, вимірюючи ємність C можливо отримати інформацію про кількість рідини, або ступінь заповнення датчика. Виходячи з поставлених задач, було обрано генераторний метод вимірювання ємності. На рис. 3 наведено схему підключення датчика до електронної обчислювальної машини (ЕОМ).

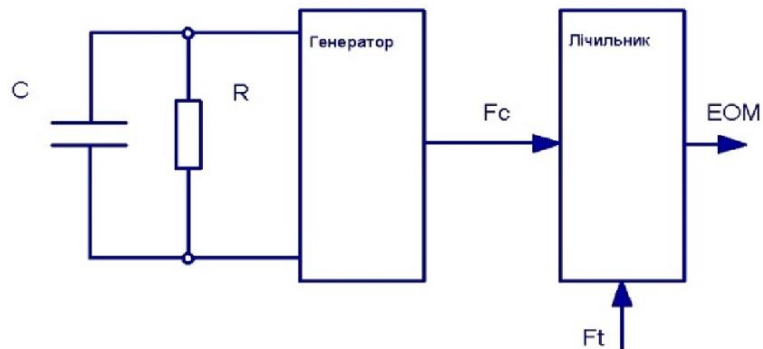


Рисунок 3 Схема підключення датчика до мікропроцесора

В сучасній фізиці води розрізняють багато її станів [13, 14], проте у даному випадку водний розчин (молоко) перебуває у двох станах – стан об’ємної рідини та стан пов’язаної рідини – «тонкої плівки». Фізичні властивості води у цих двох станах суттєво різняться, тому вихідний сигнал датчика формується під впливом води у цих двох станах. На рис. 4 показані типові сигнали датчика під час проходження порції води для двох схем генераторів (з позитивним і негативним впливом втрат на частоту). Розглянемо докладніше сигнал на рис. 4а, він поводить ся так, наче до датчика додавалась від’ємна ємність, що пояснюється впливом діелектричних втрат в рідині і підтверджується характером сигналу на рис. 4б.

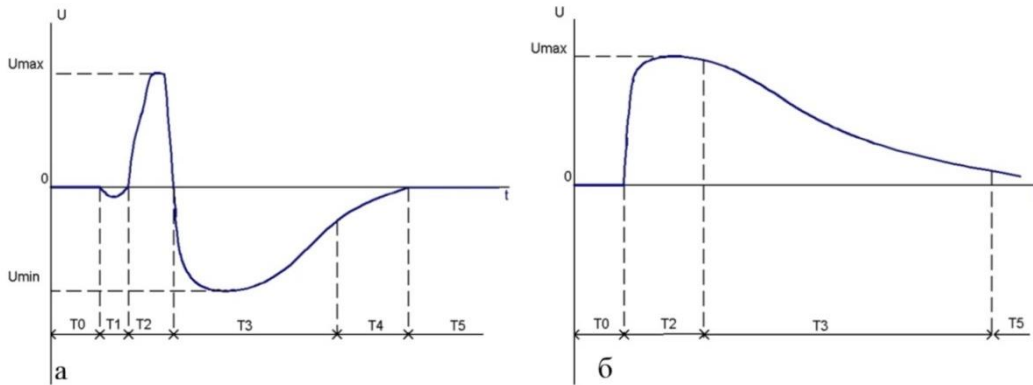


Рис.4 Сигнал проходження порції води крізь ємнісний датчик: а - генератор із позитивним впливом втрат на частоту; б - генератор із негативним впливом втрат на частоту

Враховуючи доволі тривалу фазу (Т3, Т4) відновлення сигналу (див. рис.4а) у порівнянні із часовими характеристиками самого сигналу (Т2), можна зробити висновок, що дана фаза сигналу відповідає релаксації тонкої плівки рідини на стінках датчика після проходження основної порції рідини. Для використання ємнісного датчика, як лічильника молока необхідно відділити сигнал рідини в об’ємі від сигналу рідини в поверхневій плівці. Для цього використано схему з позитивним генератором. При цьому файл даних із сигналом проходження рідини записувався в пам’ять СОМ та будувалась булівська «строб-функція», яка кожному відліку сигналу ставить у відповідь значення «0» або «1», що означає «проігнорувати» або «обчислити» відповідно. Для побудови вказаної строб-функції використовувалась згортка сигналу з вейвлетом Хаара із вікном, що приблизно вдвічі перевищує середню тривалість проходження порцій рідини. Такий спосіб побудови дає надійне розпізнавання позитивного та негативного фронтів сигналу.

Кількість рідини, що проходить крізь датчик за умови сталої швидкості потоку, можливо визначити із залежності:

$$M = v_0 \int_{t_2}^{t_1} p(t) \cdot dt, \quad (4)$$

де М – маса рідини, кг; $p(t)$ – функція наповненості датчика рідиною; v_0 – поточна швидкість рідини у датчику, м/с; t_1, t_2 – моменти часу, що задають інтервал виміру, с.

На рис.2 наведено статичну характеристику датчика, коли час між заповненням датчика та зчитуванням його сигналу відносно великий. У реальних умовах, коли крізь датчик рухається пульсуючий потік рідини від доїльного апарата (див. рис. 4), має місце утворення плівки рідини на його внутрішній поверхні. Зважаючи на доволі значний час руйнування плівки, у порівнянні з інтервалом проходження порцій рідини, можна прийняти припущення, що плівка умовно стабільна протягом усього періоду роботи доїльного апарата. При цьому для визначення динамічної характеристики датчика було проведено низку лабораторних експериментів. Під час експериментів враховано такі фактори, як, витрата рідини через молокопровідний шланг доїльного апарата, частота пульсації пульсатора, рівень робочого тиску доїльної установки, температура та тип (вода та молоко) рідини, тривалість доїння. Кількість рідини, що пройшла крізь датчик визначалась за формулою (4) та порівнювалась з фактичною кількістю у мензурі.

Висновки

В даній роботі розглянуто класифікацію витратомірів, методи вимірювання рідини, на яких вони побудовані.

На підставі аналізу викладеної інформації, було розглянуто лічильник молока для доїльного апарата на базі проточного датчика ємнісного типу, при цьому, в межах умов даної математичної моделі, результат обчислення обсягу молока не залежить від характеристик ємнісного датчика, а отже, і від електричних властивостей молока.

Проведено вибір керуючого мікроконтролера, розроблено схему підключення датчика.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сучасний стан молочної галузі [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.apk.sm.gov.ua/index.php/uk/2013-04-18-21-50-35/32-napryamki-diyalnosti/tvarinnitstvo/zagalna-kharakteristika-tvarinnitstva/45-suchasnij-stan-galuzi>
2. Milk.ua [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://milkua.info/uk/post/ukraina-uvijsla-v-top-10-svitovih-eksporteriv-molosnoi-produkcii>
3. Ткачук С. В., Ткач В. В. Обґрунтування принципу дії проточного датчика витрат молока ємнісного типу. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний зб.. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2016. Вип. 3 (102). С. 113–119.
4. Сенсори типу FFS-30 [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.scrdairy.com/milking-intelligence/freeflow-series.html>
5. DeLaval [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.delaval.ru/-/Product-Information1/Milking/Products/Milking-point/Milk-recording/MM25-SG>
6. Доїльна апаратура ВЕСО [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.becoknows.com>
7. Panazoo [Ел. ресурс] / Режим доступу: <http://www.panazoo.it/mmcompact-plus.html>
8. Карташов Л. П. Динамика эмульсий в сложных закрытых каналах технологического оборудования. РИО УрО РАН, 2013.
9. ЭлектроТехИнфо: информационная торговая система [Электронный ресурс]: Тахометрические счетчики и расходомеры. Устройство, принцип действия, типы и виды тахометрических счетчиков и расходомеров. – Режим доступу: http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_527.html. – Назва з екрану.
10. Дмитрів В.Т. Обґрунтування параметрів вимірювача потоку молока в процесі машинного доїння: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації»
11. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения / В.Д. Кукуш. – Радио и связь, 1985 г. 6. Эйзенберг Д. Структура и свойства воды, перевод с англ.
12. Семихина Л. П. Диэлектрические и магнитные свойства воды в водных растворах и биообъектах в слабых электромагнитных полях. Тюмень, 2005.
13. Д. Эйзенберг, В. Кауцман. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1975 г.
14. Патент UA 62387. Спосіб вимірювання величини витрати на основі спектральних характеристик шуму вимірювального середовища / С.І. Мельничук (Україна).

Кучерук Олександр Олександрович – студент групи КІВТ-19м кафедри метрології та промислової автоматики факультету автоматики та комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, fkca.mit15.kuoo1@gmail.com

Науковий керівник - **Васюра Анатолій Степанович** — професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, ВНТУ, м. Вінниця.

Alexander Kucheruk – student group KIVT-19m of the Department of Metrology and Industrial Automation of the Faculty of Automation and Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, fkca.mit15.kuoo1@gmail.com

Supervisor: **Vasyura Anatoly S.** — Professor, academician of Ukrainian Technological Academy, Professor of automation and intelligent information technologies department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,