

9. **Скрыпников В. Б.** Технично-экономическое обоснование энергосберегающей технологии производства сжатого воздуха // Вісн. Придніпровськ. Держ. Академ. Будівн. та Архітект.-2001.-№ 10.-С. 57–61.
10. **Федоров Ю. И., Дегтярев В. И.** Выбор параметров воздухоохладителя-утилизатора на тепловых трубах для центробежных компрессоров //Сб. научн. тр. Разработка эксплуатация и ремонт шахтных стационарных установок.– Донецк: ИГММК им. Федорова.–1990.– С. 242–255.
11. **Дегтярев В. И., Федоров Ю. И.** Утилизация тепла сжатого воздуха турбокомпрессоров // Уголь Украины.–1997.–№ 11.–С. 33–34.
12. **Парфенов В. П.** Анализ влияния охлаждения на термодинамическую эффективность многоступенчатой компрессорной установки//Изв. вузов. Энергетика.–1991.–№ 7.–С. 63–67.
13. **Парфенов В. П., Январев И. А.** Оценка тепловой эффективности теплообменного оборудования при комбинированном охлаждении сжатых газов в компрессорных установках//Изв. вузов. Машиностроение.– 1998.–№ 1–3.–С. 62–67.
14. **Герасименко Г. П.** Комплексное использование пневматической энергии при отработке глубоких месторождений. М.: Недра, 1971.– 178 с.
15. **Носырев Б. А., Рыбин А. А.** Энергосберегающая технология эксплуатации компрессорных установок//Изв. вузов. Горный журнал.–1987.–№ 5.–С. 82–95.
16. **Рыбин А. А.** Энергосбережение и экологические проблемы при эксплуатации шахтных стационарных компрессорных установок // Изв. вузов. Горный журнал.–1996.–№ 7.–С. 107–110.
17. Механизация и автоматизация технологических процессов добычи и переработки руд: Отчет о НИР (промежуточн.)/Криворожск. горн. инст. – Г–7–86; № ГР 01860077843; Инв. № М 112563.–Кривой Рог, 1987.– 82 с.
18. **Самуся В.И., Оксень Ю.И., Радюк М.В.** Оценка эффективности теплонасосной технологии утилизации тепла воздушных турбокомпрессоров // Науковий вісник НГУ.- 2010.- № 6.- С. 78-82.
19. **Андронов Ф.А.** Эффективные системы утилизации тепла с использованием модульных агрегатов воздушного охлаждения // Журнал «Энергослужба предприятия».- 2003.-№ 1.
20. **Барон В.Г.** Утилизация тепла охлаждающих жидкостей – один из важных аспектов энергосбережения / **Барон В.Г.** // СОК.- 2006.- № 12.

Рукопис подано до редакції 01.09.11

УДК 621.317.39

В.Й. ЛОБОВ\*, канд. техн. наук, доц., Р.О. ПАСТЕРНАКОВ, магістрант  
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ У СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

Розроблено функціональну схему, яка детально показує взаємозв'язки між конструктивними блоками пристрою. Складено модель у програмному середовищі LabVIEW 8.6. Процес вимірювання вологості та її контроль промодельовано з урахуванням особливостей, що можуть виникнути при роботі пристрою за різних умов та відповідно до поставлених завдань регулювання.

**Аналіз існуючих пристроїв, їх переваги та недоліки.** Пристрої вимірювання вологості необхідні як у сфері загального призначення (басейни, жилі та офісні приміщення, магазини, лікарні), так і у спеціалізованих галузях (текстильна, картонно-паперова промисловість, садівництво, клімат-контроль спеціальних складських приміщень у сільському господарстві, метеорологія, екологічні вимірювання). Відносно вологості повітря можна виміряти прямим або непрямим методами. Вимірювання прямим методом - це використання спеціальних вимірювальних пристроїв, основними з яких у наш час є: LiCl-гігрометри, психрометри, гігрометри інфрачервоного випромінювання, волосяні гігрометри, пружинні гігрометри [1]. LiCl-гігрометри використовуються для неперервного вимірювання вологості в широкому діапазоні температур (-20...+60 °С), мають стійкість до дії агресивного середовища та пилу. Але, разом з тим, вони мають достатньо велику інерційність при вимірюванні (тривалість встановлення показів досягає декількох хвилин). Психрометри мають широке застосування у багатьох сферах господарства. Недоліками їх є неможливість використання у системах автоматичного контролю (дискретність зняття показів психрометра дасть похибку вимірювання, яка може сягати 20 %). Гігрометри інфрачервоного випромінювання є надзвичайно точними та в них передбачено цифровий вихід у систему регулювання. Втім ці пристрої мають високочутливий газоаналізатор, який в наш час має дуже високу вартість і тому використання даних пристроїв є обмеженим. Волосяний та пружинний гігрометри є найпростішими пристроями вимірювання вологості з похибкою вимірювання до 5 % та неможливістю підключення у систему регулювання. Непрямий метод базується на вимірюванні вологості за допомогою датчика, що має високу точність вимірюван-

\* © Лобов В.Й., Пастернаков Р.О., 2012

ня. Цей датчик перетворює значення вимірної вологості у певну еквівалентну електричну величину (наприклад, напругу), яка може надходити до кіл регулювання і, у вигляді цифрової індикації, виводиться на екран монітора або дисплея оператора. Даний принцип вимірювання є найбільш доцільнішим, оскільки може бути застосований за будь-яких умов навколишнього середовища без застосування складних та дорогих схемних рішень.

**Постановка завдання.** Виникає необхідність у розробці моделі та проведення імітації роботи такого пристрою. Конструктивно він повинен складатись із власне пристрою і схеми датчика та проводити не тільки індикацію вимірюючого значення, але і сигналізацію за допомогою світлодіодів про задовільність або незадовільність вимірюючого значення вологості відповідно до необхідних умов, що також мають задаватись (оператором або із розрахунку системою регулювання).

**Викладення матеріалу.** Схема датчика вологості спирається на принцип перетворення величини вологості на еквівалентне значення ємності. Тобто датчик вологості представлений конденсатором із змінною величиною ємності. Схему датчика зручно реалізувати на основі властивостей ємності. Дія ємнісних датчиків базується на залежності ємності конденсатора  $C$  від площі пластин  $S$ , відстані між ними  $d$  та діелектричної проникності середовища  $\varepsilon$

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S / d, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_0 \varepsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м - електрична стала.

Принцип дії ємнісного датчика такий. У процесі роботи водяна пара проникає через верхню пористу обкладку конденсатора (рис. 1) і врівноважується з оточуючим газом. Одночасно ця обкладка захищає електричні процеси, що протікають у полімерному шарі (THERMOSET POLYMER), від зовнішньої фізичної дії (світло, електромагнітне випромінювання).

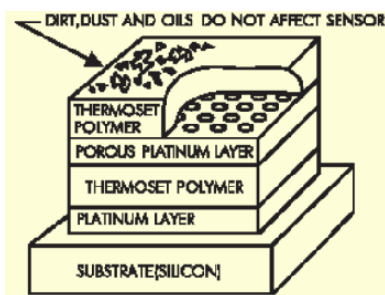


Рис. 1. Загальна структура датчика-ємності

Шар полімеру, що покриває пористий (у даному випадку платиновий) електрод зверху (POROUS PLATINUM LAYER) служить захистом конденсатора від пилу, бруду та різноманітних масел. Така потужна фільтраційна система, з одного боку, забезпечує датчику тривалу безперервну роботу в умовах сильного забруднення оточуючого середовища, з іншого - знижує час перетворення величин. Зміна величини ємності у даному датчику відбувається за рахунок зміни діелектричної проникності у середовищі датчика.

Для того, щоб процес зміни ємності від зміни вологості зафіксувати шляхом зміни електричних величин, цей датчик вмикають у спеціальну схему датчика-генератора. У цій схемі зміна значення ємності конденсатора реєструється зміною частоти імпульсів генератора, у коливальний контур якого і увімкнений датчик [2].

Найпростіша схема генератора імпульсів може бути зібрана на основі мультівібратора (рис. 2). Він служить для генерування коливальної форми, що відрізняється від синусоїдальної. Найчастіше мультівібратор має накопичувач енергії (у даному випадку представлений конденсатором) і електронний ключ, перемикання якого зумовлене запасом енергії у накопичувачі.

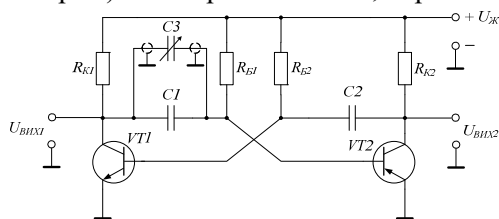


Рис. 2. Увімкнення датчика вологості до схеми мультівібратора

його розробці, є:

лінійність характеристик (максимальне наближення до лінійної залежності вхідної та вихідної величини пристрою);

висока точність вимірювання (похибка при вимірюванні має бути нульовою або близькою до неї);

висока чутливість пристрою (має реагувати на найменшу зміну вимірюваної величини);

надійність роботи (повинна бути відсутньою дія сторонніх чинників, відсутність коливань напруги живлення, надійне закріплення усіх складових блоків пристрою, відсутність зворотної дії на датчик-ємність);

забезпечення характеристик упродовж тривалого часу використання.

Отже, функціональна схема пристрою вимірювання і контролю вологості повітря показана на рис. 3 (ПЧН - блок перетворення частоти імпульсів у напругу). Маємо, що найпершим функціональним елементом пристрою є датчик-ємність, який змінює значення своєї ємності  $C_3$  у відповідності із вологістю повітря. Цю залежність будемо представляти у вигляді співвідношення

$$C_3 = K_{\text{датчика-ємності}} \quad (2)$$

де  $K_{\text{датчика-ємності}}$  - передатний коефіцієнт, що зв'язує вологість повітря та значення ємності датчика. Залежність діелектричної проникності датчика-ємності від вологості повітря описується наступним співвідношенням

$$\varepsilon = K_\varepsilon (1 - 0,01\varphi), \quad (3)$$

де  $K_\varepsilon = 0,02 \cdot 10^{-9}$  - умовний коефіцієнт зв'язку діелектричної проникності та вологості повітря [3]. Тоді прийнявши значення  $S = 225 \text{ мм}^2$  та  $d = 2 \text{ мм}$  [4] і підставивши вирази (1) і (3) у вираз (2) отримаємо рівняння залежності величини ємності від вологості повітря у даний момент часу

$$C_3 = 22 - 0,2\varphi. \quad (4)$$

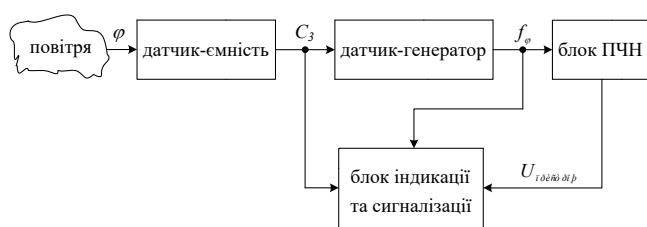


Рис. 3. Функціональна схема пристрою вимірювання вологості

Датчик-ємність вмикається у схему мультивібратора (датчика-генератора), вихідним сигналом якої є частота імпульсів, що відповідає значенню вологості  $f_\varphi$ . Значення ємності  $C_3$  впливає на тривалість паузи при відкритому транзисторі  $VT2$

$$t_n = 0,7R_{B1}(C_1 + C_3). \quad (5)$$

Тривалість імпульсів буде залишатись незмінною (оскільки залежить від незмінних у часі параметрів схеми)

$$t_i = 0,7R_{B2}C_2. \quad (6)$$

Отже, регулювання частоти імпульсів на виході датчика-генератора буде здійснюватись шляхом зміни шпаруватості імпульсів (тривалість імпульсів змінюється, час паузи залишається постійним). Тоді значення частоти імпульсів на виході схеми можна обчислити

$$f_\varphi = \frac{1}{t_n + t_i} = \frac{1}{1,4(R_{B2}(C_1 + C_3) + R_{B1}C_2)}. \quad (7)$$

Враховуючи, що рівні значення опорів  $R_{B1}$  і  $R_{B2}$  та ємностей  $C1$  і  $C2$ , остаточно будемо мати

$$f_\varphi = \frac{0,714}{R_{B2}(2C_1 + C_3)}. \quad (8)$$

Згідно з [5] обираємо номінали елементів схеми мультивібратора: 1)  $R_{K1} = R_{K2} = 1 \text{ кОм}$ ; 2)  $R_{A1} = R_{A2} = 1 \text{ кОм}$ ; 3)  $\tilde{N}_1 = \tilde{N}_2 = 10 \text{ мкФ}$ . Шпаруватість імпульсів буде знаходитись як

$$\gamma = \frac{t_i}{t_i + t_n} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Моделювання генератора імпульсів прямокутної форми здійснено за допомогою базового компонента LabVIEW Signal Generator, що має наступне призначення своїх виводів: 1) duration - тривалість імпульсів (розраховуємо за формулою (6)); 2) signal type - тип вихідного сигналу (обираємо square (прямокутний)); 3) # of samples - кількість точок вимірювання; 4) frequency - завдання частоти (отримуємо з блоків розрахунку); 5) amplitude - амплітуда сигналу ( $10 \pm 0,5 \text{ В}$ ); 6) duty cycle - шпаруватість (розраховуємо у відповідному блоці за формулою (9)). Для наочності показань імпульсів поставлено дільник, який дозволяє пропорційно зменшувати частоту імпульсів з датчика-генератора та спостерігати зміни безпосередньо на екрані осцилографу. Відхилення напруги живлення схеми датчика-генератора впливає на роботу пристрою в цілому оскільки від неї залежить частота імпульсів на виході датчика-генератора, тому необхідне мати додаткове джерело живлення (наприклад, ще одну батарею або незалежне джерело) для відпо-

відності умовам надійності. Відповідно передбачається необхідна сигналізація про спрацювання додаткового джерела живлення і необхідність заміни або ремонту основного.

Отриману частоту імпульсів необхідно також вимірювати. Для цього необхідний блок ПЧН. Умовно його передатна залежність буде мати вигляд

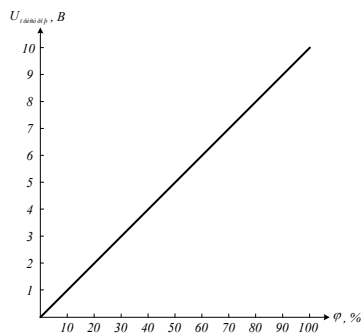
$$U_{\text{пристрою}} = K_{\text{ПЧН}} f_{\varphi}, \quad (10)$$

де  $K_{\text{ПЧН}}$  коефіцієнт передачі блоку ПЧН. ПЧН має перетворювати значення частоти імпульсів від датчика генератора у значення напруги у діапазоні від 0 до 10 В (залежно від відповідного значення вологості). Залежність між частотою імпульсів та напругою на виході пристрою отримаємо за допомогою методу найменших квадратів, який широко використовується для знаходження наближених функцій. У результаті проведених розрахунків отримано

$$U_{\text{пристрою}} = (42f_{\varphi} - 714)/2f_{\varphi}. \quad (11)$$

З урахуванням усіх наведених викладок отримуємо зовнішню характеристику пристрою вимірювання вологості повітря, яку показано на рис. 4.

Рис. 4. Зовнішня характеристика пристрою



Блок індикації та сигналізації має виводити усі необхідні дані про стан змінних пристрою:

ємності датчика  $C_3$ , частоти імпульсів на виході датчика-генератора  $f_{\varphi}$ , напруги пристрою на виході ПЧН  $U_{\text{пристрою}}$ , кінцеве значення вимірюваної вологості  $\varphi$ . Також даний блок має здійснювати сигналізацію про нормальне чи ненормальне значення вологості та стан джерела живлення. Передбачається завдання певного діапазону допустимих значень - верхньої та

нижньої допустимих меж. За допомогою елементів порівняння відбуваються необхідні перевірки і, в залежності від отри-

маних результатів (входження або невходження вимірюваного значення у необхідний заданий оператором діапазон), відбувається свічення відповідного індикатора: 1) зелений - вимірювана величина входить до заданого діапазону; 2) синій - вимірювана величина менша за задану нижню межу діапазону вимірювання; 3) червоний - вимірювана величина більша за верхню задану межу.

**Моделювання роботи.** Відповідно до розроблених аналітично блоків для отримання моделі у програмному середовищі LabVIEW проведено їх відтворення та з'єднання.

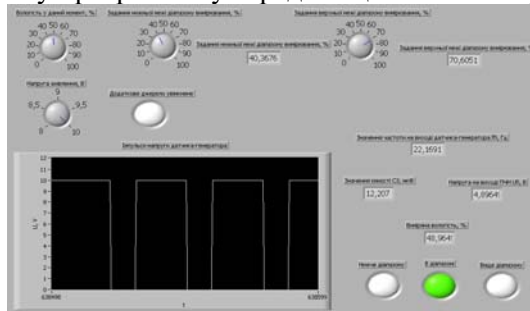


Рис. 5. Фронтальна панель при моделюванні входження значення вологості у заданий діапазон вимірювання

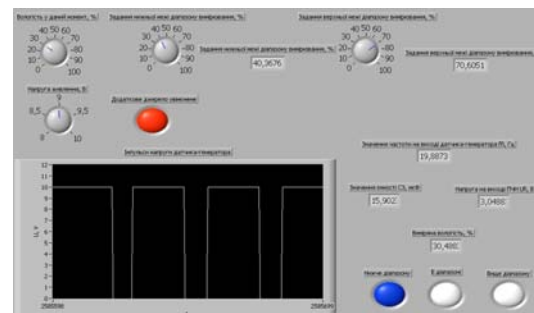


Рис. 6. Фронтальна панель при моделюванні випадку, коли значення вологості нижче нижньої межі діапазону вимірювання та увімкнене додаткове джерело живлення

У результаті отримуємо блок-діаграму пристрою вимірювання вологості, що показана на рис. 8. Керування його роботою проводиться через фронтальну панель (рис. 5-7). На ній маємо усі необхідні індикатори та ручки задання величин. Робота пристрою починається із задання верхньої та нижньої межі діапазону вимірювання вологості повітря (40 і 70 % відповідно). Далі встановлюється значення вологості у даний момент часу таке, щоб воно входило та не входило у діапазон вимірювання (рис. 5 - 50 %, рис. 6 - 30 % (додатково моделюємо зниження напруги живлення до значення 9 В), рис. 7 - 80 %). Проводимо моделювання. Отримуємо, що у першому випадку значення на індикаторі вимірюваної вологості дорівнює 50 % і горить зелений світлодіод, що вказує на входження до діапазону вимірювання, тобто пристрій спрацював правильно. На рис. 6 горить синій світлодіод, та світлодіод, що сигналізує увімкнення додаткового джерела

живлення та індикатор показує значення 30 %. На рис.7 все проходить аналогічно – горить необхідний червоний світлодіод та індикатор показує 80 %.

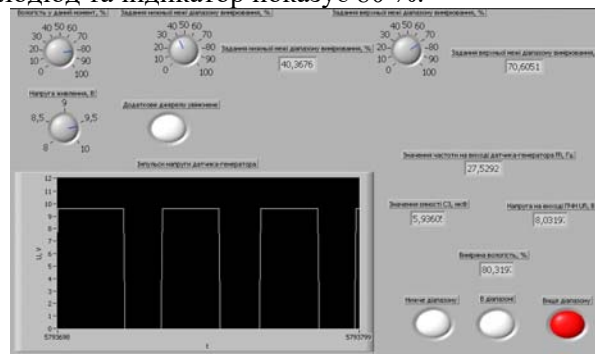


Рис. 7. Фронтальна панель при моделюванні випадку, коли значення вологості вище верхньої межі діапазону вимірювання

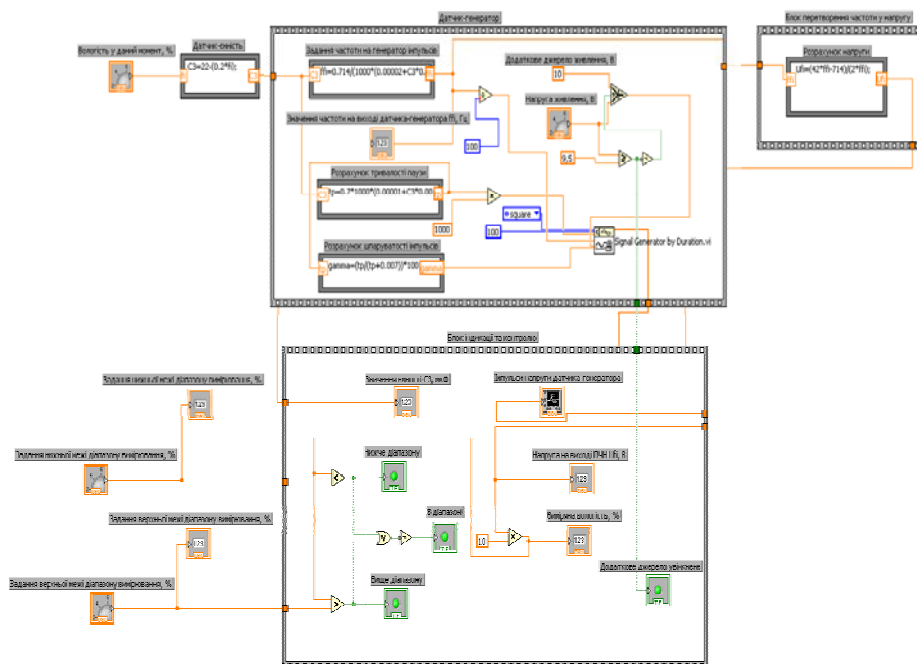


Рис. 8. Модель пристрою вимірювання вологості на блок-діаграмі

**Висновки.** Розглянутий датчик з непрямым методом вимірювання вологості повітря може бути застосований як у спеціалізованих технологічних процесах, так і у приміщеннях загально-го призначення, що мають систему «розумний дім», оскільки похибка вимірювання визначається процесами перетворення електричних величини і не перевищує 0,1 %. Розроблена модель пристрою дозволяє повністю імітувати його роботу - вимірювати вологість повітря у діапазоні від 0 до 100 %, задавати діапазон допустимих значень виходячи з умов, які необхідні у даний момент часу, та сигналізувати про відхилення від діапазону і заміну або поладження основного джерела живлення пристрою.

*Список літератури*

1. <http://redert.ru>.
2. <http://cosmodrom.com.ua>.
3. <http://class-fizika.narod.ru>.
4. <http://energolider.com.ua>.
5. Справочная книга радиолюбителя-конструктора / А.А. Бокуняев, Н.М. Борисов, Р.Г. Варламов и др./ Под ред. Н.И. Чистякова. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 278-279.
6. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Навчальний посібник/ Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков/ За ред.. Ю.Г. Соскова. – К.: Каравела. – 2004. – С. 139-141.
7. LabVIEW для всех / Джеффри Тревис: Пер. с англ. Клушин Н. А. – М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – С. 344-385.

Рукопись поступила в редакцию 01.09.11