НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ АВІАЦІЙНИХ І КОСМІЧНИХ СИСТЕМ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ ВИКЛАДАЧІВ, НАУКОВЦІВ, АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ

присвячена Дню Науки – 2017

30 – 31 ТРАВНЯ 2017 РОКУ

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»

ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ

Том 1

КИЇВ – 2017

УДК: 681.327+656.34-523

Загальною метою науково-технічної конференції є плідне спілкування науково-промислової спільноти, викладачів, науковців, аспірантів, студентів факультету авіаційних і космічних систем з наукових проблем в сфері розвитку авіаційно-космічної галузі України.

У збірнику опубликовані доповіді, які зроблені на конференції з наступних напрямків: автоматизація експериментальних досліджень; метрологія та вимірювальна техніка; літаки та вертольоти; прилади та системи керування літальними апаратами і теоретичної та прикладної механіки.

В роботі секції «Автоматизація експериментальних досліджень» брали участь 60 викладачів, науковців, аспірантів, студентів.

Том 1 збірника містить 11 наукових праць за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем в галузі інформаційних технологій та автоматизації експериментальних досліджень.

Використання матеріалів збірника можливе за умови обов’язкового посилання.

Адреса Оргкомітету науково-технічної конференції: 03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корп. 28. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Факультет авіаційних і космічних систем.

Рекомендовано до публікації Вченою радою факультету.

Відповідальний редактор: Мариношенко О П.
Редактор: Добролюбова М. В.

Технічні редактори: Бурлака Д. А.
Кириленко Є. О.
Коваленко М. П.

В авторській редакції.

Збірник доповідей науково-технічної конференції викладачів, науковців, аспірантів, студентів факультету авіаційних і космічних систем, том 1, 30-31 травня 2017 року, м. Київ, ФАКС, НТУУ «КПІ». – 2017. – 55 с.

ОГРАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

1. Збруцький Олександр Васильович – професор, доктор технічних наук, декан ФАКС, голова конференції.

2. Мариношенко Олександр Петрович – доцент, кандидат технічних наук, заступник декана ФАКС з наукової роботи, заступник голови.

3. Туз Юліан Михайлович – професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри АЕД, керівник секції «Автоматизація експериментальних досліджень».

4. Федоров Володимир Миколайович – доцент, кандидат технічних наук, завідувач кафедри ТМ, керівник секції «Теоретична та прикладна механіка».

5. Яремчук Ніна Антонівна – доцент, кандидат технічних наук, завідувач кафедри ІВТ, керівник секції «Метрологія та вимірювальна техніка».

6. Добролюбова Марина Валеріївна – доцент, кандидат технічних наук, заступник завідувача кафедри АЕД з наукової роботи.

7. Прохорчук Олександр Віталійович – доцент, кандидат технічних наук, заступник завідувача кафедри ПСКЛА з наукової роботи.

Збірник доповідей науково-технічної конференції викладачів, науковців, аспірантів, студентів факультету авіаційних і космічних систем, том 1, 30-31 травня 2017 року, м. Київ, ФАКС, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – 58 с. У збірнику опубліковані тези доповідей конференції з наступних напрямків: автоматизація експериментальних досліджень; метрологія та вимірювальна техніка; літаки та вертольоти; прилади та системи керування літальними апаратами; теоретична та прикладна механіка.

За зміст опублікованих у збірнику праць відповідальність несуть їх автори.

Сборник докладов научно-технической конференции преподавателей, научных работников, аспирантов, студентов факультета авиационных и космических систем, том 1, 30 - 31 мая 2017 года, г. Киев, ФАКС, КПИ им. Игоря Сикорского. – 2017. – 58 с. В сборнике опубликованы тезисы докладов конференции по следующим направлениям: автоматизация экспериментальных исследований; метрология и измерительная техника; самолеты и вертолеты; приборы и системы управления летательными аппаратами; теоретическая и прикладная механика.

За содержание опубликованных в сборнике докладов ответственность несут их авторы.

The collection of reports scientifically-technical conference of teachers, science officers, post-graduate students, students of faculty of aviation and space systems, on May, Vol. 1, 30 - 31th 2017, Kiev, the FASS, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. – 2017. – 58 p. In the collection theses of reports of the conference on following branches: automation of experimental researches; metrology and the measuring technics; planes and helicopters; devices and control systems of flying machines are published; theoretical and applied mechanics.

The authors bare the responsibility for the content of the reports published in the collection.

ЗМІСТ

Секція 1 «Автоматизація експериментальних досліджень»

ДОНИК В.Д.
Режимы течения газа в отсеке летательного аппарата 9

КРОТЕВІЧ М.В., ШЕВЧЕНКО К.Л.
Вимірюванні діелектричної проникності при зменшенні впливу товщини матеріалу.....13

КУЛЬБЕДА С.В., ШЕВЧЕНКО К.Л.
Дослідження методів підвищення точності вимірювання прискорення. 15

КУШНІР А.Ю., ШУМКОВ Ю.С.
Мінімізація спотворень форми ступінчастих випробувальних сигналів у вимірювальних системах.....17

ЛІВАДІНА А.Ю.
Система вимірювання тиску газу в газопроводі.....24

ЛІКАРЕНКО І.О.
Метод оптимізації та вибору профілю крила. 27

МИКИТИН І.В., ШУМКОВ Ю.С.
Аналіз спотворень форми ступінчастих випробувальних сигналів в тракте передачі вимірювальних систем.....33

НЕРОЗНА І.О., ДОБРОЛЮБОВА М.В.
Підсистема оперативного дистанційного моніторингу мікроклімату бджолиних вуликів.....38

ПАВЛЕНКО В.Р.
Обмін даними між комп'ютером та вимірювальним пристроєм на базі мікроконтролера та інтерфейсу RS232. 41

ПРИТУЛА К.В.
Універсальний перетворювач USB та RS-485/ RS-232 інтерфейсів. 47

ШЕВКУН М.С.
Повірочний комплекс для систем обліку кількості інформіцїї.....53

Науково-технічна конференція викладачів, науковців, аспірантів та студентів, присвячена Дню Науки

СЕКЦІЯ
«АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»

УДК 629.735.33.027.2

ДОНИК В.Д.

РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ОТСЕКЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Государственное предприятие «АНТОНОВ», Киев, Украина, e-mail: vasiliy.d.donik@gmail.com

Постановка задачи. При решении практических задач гидродинамики и газодинамики возникает необходимость установить закономерности исследуемого процесса движущейся жидкости(газа). Характер зависимости между давлением, температурой, плотностью движущейся среды существенно зависит от режимов течения. Установление этих зависимостей и определение на их основе режимов течения представляет собой как теоретическое, так и практическое значение. Для жидкости и газа выделяют два режима течения: ламинарный и турбулентный. Смена режима течения определяется по критическому числу Рейнольдса [1]. В газовой динамике при движении среды со скоростью (w) зачастую режим течения определяется по скорости звука (a) [2, 3] в соответствии с числом Маха $(M = w/a)$. При M <1 течение называется докритическим, при M =1 – критическим, а при M >1 – закритическим. Для этих режимов течения газа устанавливаются зависимости между давлением, температурой, плотностью, скоростью и расходом газа. В соответствии с методом Эйлера определяются также стационарные и нестационарные режимы течения. Так, например, если «траектории жидких частиц не совпадают с линией тока» [4, с. 29], то течение жидкости называется нестационарным. В противном же случае режим течения называется стационарным. Для стационарного режима температура жидкости в рассматриваемых сечениях с течением времени не изменяется. На основании установленных режимов течения газа представляется возможным описать исследуемый процесс, производить расчет и анализ изменения параметров газа исследуемого процесса. Несмотря на полученные результаты, провести анализ протекания газодинамических процессов в отсеке не представляется возможным. Разработанные критерии недостаточно полно отражают особенности процессов в отсеке, особенно при подводе(отводе) газа и энергии.

Цель статьи. Определение режимов течения газа в отсеке летательного аппарата(ЛА) для разработки математической модели.

Основная часть. Рассмотрим изменение параметров газа в отсеке в соответствии с основными положениями разработки математической модели отсека [5]. За основу использовано уравнение состояния. Зависимость между давлением (P_0) температурой (T_0) и плотностью (ρ_0) газа в заторможенном потоке определим в таком виде: $P_0 = R\rho_0 T_0$. На основании уравнения состояния можно записать зависимость между давлением, температурой, массой газа (m) и объемом отсека (V) в таком виде $RmT_0 = P_0 V$. Изменение этих параметров происходит при подводе или отводе газа. Для отсека с давлением (P_0) и

температурой (T_0) в заторможенном потоке, массой газа (m), объемом отсека (V) при подводе газа с параметрами $(P_{под}, m_{под}, T_{опод})$ и объемом $(V_{под})$ рассмотрим в самом общем случае режимы течения газа в соответствии с уравнениями:

$$\frac{dP_0}{d\tau} = \frac{d\left(f_1(m, T_0, V)\right)}{d\tau}, \qquad \frac{dP_{под}}{d\tau} = \frac{d\left(f_2(m_{под}, T_{под}, V_{под})\right)}{d\tau}.$$

Раскроем функциональную зависимость между переменными величинами. Запишем изменение параметров газа в отсеке на основании уравнения состояния в дифференциальном виде:

$$\frac{dP_0}{d\tau} = \frac{P_0}{T_0}\frac{dT_0}{d\tau} - \frac{P_0}{V}\frac{dV}{d\tau} + \frac{RT_0}{V}G, \tag{1}$$

где R – газовая постоянная; G – суммарный расход газа в отсеке.

При изменении параметров газа в отсеке зависимость между давлением и температурой газа определяется в соответствии с уравнением политропы (n – показатель политропы) в таком виде:

$$\frac{dT_0}{d\tau}\frac{1}{T_0} = \frac{n-1}{n}\frac{dP_0}{d\tau}\frac{1}{P_0}. \tag{2}$$

Аналогично записываются уравнения изменения параметров подаваемого газа:

$$\frac{dP_{под}}{d\tau} = \frac{P_{под}}{T_{под}}\frac{dT_{под}}{d\tau} - \frac{P_{под}}{V_{под}}\frac{dV_{под}}{d\tau} + \frac{RT_{под}}{V_{под}}G_1, \qquad \frac{dT_{под}}{d\tau}\frac{1}{T_{под}} = \frac{n-1}{n}\frac{dP_{по}}{d\tau}\frac{1}{P_{под}}.$$

На основании уравнений (1) и (2) производится расчет параметров газа в отсеке и подаваемого газа одним из численных методов, например, методом Рунге-Кутта. Расчет параметров газа в отсеке и подаваемого производится до выполнения условий с заданной точностью: $P \approx P_{под}$, $\rho \approx \rho_{под}$, $T \approx T_{под}$. При невыполнении одного из этих условий, параметры газа в отсеке изменяются во времени и являются нестационарными.

От взаимодействия подаваемого газа и газа в отсеке определяется режим течения. Полученные расчетные значения параметров газа позволяют определить в каждый момент времени отношение параметров подаваемого газа к параметрам газа в отсеке $\left(\frac{P_{под}}{P_0}, \frac{T_{под}}{T_0}, \frac{\rho_{под}}{\rho_0}\right)$. При достижении критического отношения параметров газа течение газа происходит со скоростью звука. Таким образом, при взаимодействии подаваемого газа и газа в отсеке может быть докритический, критический и закритический режимы течения газа.

На основании уравнения политропы связь между критическими параметрами температуры и давления определим по формуле:

$$\frac{T_{кр}}{T_0} = 1 - \left(1 - \frac{P_{кр}}{P_0}\right)\frac{n-1}{n}.$$

Полученное уравнение устанавливает зависимость между критическими параметрами температуры и давления при изменении параметров газа по политропе.

Анализ уравнений (1) и (2) показывает, что изменение давления газа в отсеке с достижением критических значений зависит от расхода газа, изменений объема и температуры. В соответствии с работой [5] определим для двух состояний газа и объема при скорости воздуха, равной скорости звука, критическое соотношение параметров объема и площади сечения (для канала площадью F и длиной H):

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)_{кр} = \frac{A_1}{A_2}\frac{m_2}{m_1}\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{1-k}}\left\{1-\frac{1}{C_p T_{01}}\left[\left(\frac{w_2^2}{2}\right)_{кр} - q + l\right]\right\},$$

$$\left(\frac{F_2}{F_1}\right)_{кр} = \frac{A_1}{A_2}\frac{m_2}{m_1}\frac{H_1}{H_2}\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{1-k}}\left\{1-\frac{1}{C_p T_{01}}\left[\left(\frac{w_2^2}{2}\right)_{кр} - q + l\right]\right\},$$

где A_1, A_2 – коэффициенты в соответствии с [6]; k – показатель адиабаты; C_p – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме; q – подведенная(отведенная) энергия; l – внешняя механическая работа.

Критический расход газа достигается при критических отношениях объемов или площадей. Впервые определим режимы течения в зависимости от двух состояний объемов подаваемого газа и объема отсека. Анализ реальных процессов в отсеке показывает, что в отсеке могут происходить изменения параметров газа в локальной области отсека или во всей области отсека. Если локальное и интегральное значения параметров газа в отсеке совпадают, то выполняются условия: $P_0 = P$, $T_0 = T$, $\rho_0 = \rho$. Отсек, в котором выполняются такие условия, называется «большим». Для такого отсека не производят интегрирования параметров по объему, что позволяет существенно сократить объемы численных расчетов и повысить эффективность расчета. При взаимодействии газов выделим следующие основные режимы:

1. $V_1/V_2 \prec (V_1/V_2)_{кр}$, $V_2/V \prec (V_2/V)_{кр}$ – докритический режим.
2. $V_1/V_2 = (V_1/V_2)_{кр}$, $V_2/V = (V_2/V)_{кр}$ – критический режим.
3. $V_1/V_2 \succ (V_1/V_2)_{кр}$, $V_2/V \succ (V_2/V)_{кр}$ – закритический режим.
4. $V_1/V_2 \succ (V_1/V_2)_{кр}$, $V_2/V \prec (V_2/V)_{кр}$ – переходной режим.
5. $V_1/V_2 \prec (V_1/V_2)_{кр}$, $V_2/V \succ (V_2/V)_{кр}$ – переходной режим.

Установление режимов течения газа в отсеке производится для реального объема с учетом объема подаваемого газа. Режим № 5 может быть получен при использовании специальных устройств (например, сопло) или закрутки газа (вращательное движение).

При переходе через критическое значение параметров газа функция зависимости между параметрами газа в отсеке претерпевает разрыв, излом или

перегиб. Для критических параметров газа дифференцировать уравнения математической модели не представляется возможным. Решение этой проблемы предложено одним из методов [6]. Проведенный анализ режимов течения воздуха в герметической кабине позволил описать изменение параметров воздуха с достаточной для практики точностью, что подтверждается сопоставлением результатов расчета и эксперимента (рис. 1).

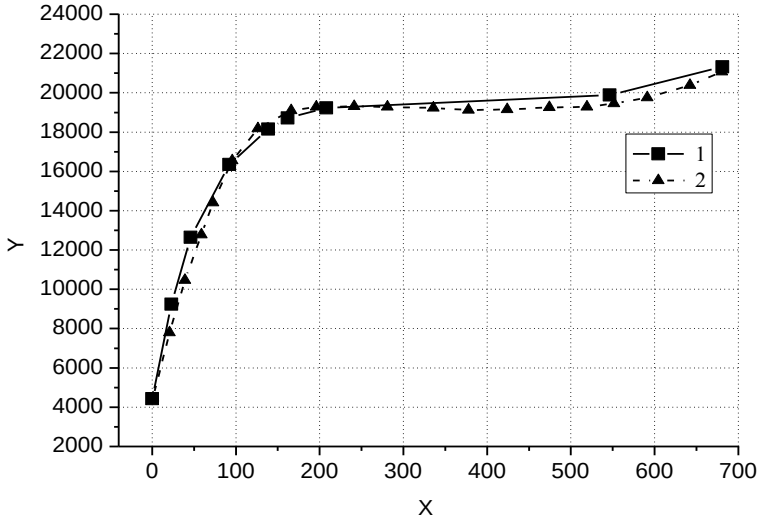

Рис. 1. Зависимость избыточного давления воздуха в отсеке ЛА (Y, Па) во времени (X, с) при взлете с вертикальной скоростью 16 м/с для вариантов выполнения проходной площади щели (F) во входной двери: 1 – эксперимент; 2 – расчет, проходная площадь щели F=70 см^2

Выводы. Впервые установлены режимы течения газа в отсеке и получены критические значения параметров газа в отсеке, что позволило разработать математическую модель, которая описывает изменение параметров газа в отсеке при подводе и отводе газа с достаточной для практики точностью.

Литература

1. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы/ Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

2. Прикладная газовая динамика/ Под ред. Г.Н. Абрамовича – М.: Наука,1976. – 888 с.

3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд-во 5-е. – М.: Наука, 1978. – 736 с.

4. Бендерский Б.Я. Аэрогидрогазодинамика / Б.Я. Бендерский. – Москва-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2007. – 496 с.

5. Доник В.Д. Моделирование газодинамических и аэроакустических процессов при внезапной разгерметизации отсеков летательного аппарата / В.Д. Доник, А.З. Двейрин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2014. – Вып. 63. – С. 134-151.

6. Доник В.Д. Исследование параметров воздуха в отсеке при переменном значении уравнения политропы / В.Д. Доник // XIV Международная научная конференция им. ак. М. Кравчука: тезисы доклада – К.: НТУУ «КПИ», 2012. – С. 169.

УДК 621.317.7

КРОТЕВІЧ М.В., ШЕВЧЕНКО К.Л.

ВИМІРЮВАННІ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ ПРИ ЗМЕНШЕННІ ВПЛИВУ ТОВЩИНИ МАТЕРІАЛУ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, mkuprun@gmail.com

Постановка задачі. При контролі діелектричної проникності листових діелектричних матеріалів широко використовуються коаксіальні резонансні датчики. Конструкція коаксіального резонатора забезпечує високу чутливість до змін діелектричної проникності.

Для контролю діелектричної проникності часто використовують резонансні датчики у виді чвертьхвильових відрізків коаксіальної лінії [1]. На одному з торців резонатора виконане вікно, прикрите пластиною з радіопрозорого матеріалу. При взаємодії з розташованим матеріалом, змінюються параметри датчика. Такі резонансні датчики зручні з погляду полегшеного доступу до матеріалу, але на результат виміру сильно впливає зміна товщини контрольованого матеріалу.

Мета статті. Подальше вдосконалення методів вимірювання діелектричної проникності, конструктивна оптимізація резонансних коаксіальних перетворювачів.

Основна частина. Для зниження впливу товщини на результат виміру діелектричної проникності в [2] запропоновано використовувати датчик, що складається з двох резонаторів. Контрольований матеріал поміщають між торцевим вікном одного з резонаторів і рухливою металевою пластиною. У результаті, резонансна частота одного з резонаторів визначається діелектричною проникністю і товщиною контрольованого матеріалу, а другого – величиною повітряного зазору між торцем резонатора і металевою пластиною. З урахуванням коефіцієнтів, що враховують крутість перетворення резонаторів, шукане значення діелектричної проникності буде визначатися відношенням зсувів резонансних частот резонаторів.

В даній роботі розглядається конструкція резонансного датчика, що забезпечує компенсацію змін товщини матеріалу в діапазоні товщин 0,1… 2 мм (рис. 1).

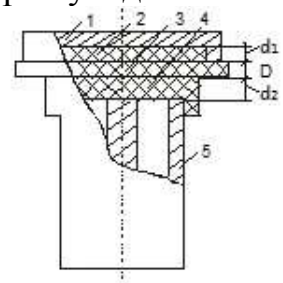

Рис. 1. Коаксіальний резонансний датчик з компенсацією впливу товщини матеріалу

Датчик містить металевий екран 1, пластини з радіопрозорого матеріалу 2 і 4, контрольований матеріал 3 і власне коаксіальний резонатор 5. Конструктивні параметри датчика вибирається з наступних розумінь.

Для показаного на рисунку 1 резонансного датчика при виконанні умови квазістаціонарності поля складова C_{CN} визначається відстанню до металевого екрана і діелектричною проникністю середовища ε, що пронизується потоком, а складова C_C – діелектричною проникністю середовища й ефективною площею матеріалу S_K, що пронизується дотичною складовою потоку.

У першому наближенні складові торцевої ємності описуються співвідношеннями

$$C_{CN} = k_1 \frac{\varepsilon S_N}{d_1 + D + d_2}; \tag{1}$$

$$C_{CK} = k_2 \frac{\varepsilon S_K}{l} = k_2 \frac{\varepsilon r\left(d_1 + D + d_2\right)}{l}, \tag{2}$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти пропорційності; S_N – площа, що пронизується нормальної складової потоку; r – середній радіус окружності, концентричної торцевої поверхні електродів; l – середня довжина дуги, по якій проходять уявні силові лінії дотичної складової потоку; d_1, D, d_2 – товщини відповідно торцевої кришки, досліджуваного матеріалу й ізолюючої пластини.

Зіставлення виразів (1) і (2) показує, що зміна товщини матеріалу D викликає протилежну по характеру зміну складових C_{CN} і C_C. Отже, умовою компенсації впливу товщини можна вважати відшукання на кривих зміни C_{CN} і C_C такі ділянки, на яких зміна товщини викликає однакові по абсолютній величині зміни складових C_{CN} і C_C. Критерієм виконання такої вимоги служить рівність кутів нахилу кривих C_{CN} і C_C, задане у вигляді

$$\left|\frac{\partial C_{CN}}{\partial D}\right| = \left|\frac{\partial C_{CK}}{\partial D}\right| \tag{3}$$

Взяття часткових похідних від виразів (1) і (2) і виконання перетворень приводить до квадратного рівняння щодо величини d_2. Рішення цього рівняння та використання радіопрозорого матеріалу саме такої товщини забезпечує компенсацію впливу товщини матеріалу при постійній товщині ізолюючої пластини d_1.

Висновок. Експериментальна перевірка показала, що при зміні товщини матеріалу від 0,2 до 1 мм відносна зміна показань приладу склала 4 %. Для резонатора відкритого типу відносні зміни показань перевищили 300 %. Таким чином, запропонована конструкція резонансного датчика та оригінальний критерій вибору співвідношення товщин ізолюючої пластини d_1 та торцевої кришки d_2 дозволили майже у 100 разів зменшити вплив зміни товщини досліджуваного матеріалу на результат виміру діелектричної проникності.

Література

1. *Брандт А. А., Дослідження діелектриків на СВЧ. -М.: Физматгиз, 1963, 403 с.*
2. *Танюк Б.А., Шевченко К.Л. Трехрезонаторный резонансний СВЧ влагомер./ У зб.: Структурні методи підвищення точності, чутливості і швидкодії вимірювальних приладів і систем. – Житомир, 1985. С. 68.*

УДК 681.3

КУЛЬБЕДА С.В., ШЕВЧЕНКО К.Л.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПРИСКОРЕННЯ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, e-mail: rower8@i.ua

Постановка задачі. Моніторинг динамічних навантажень має велике значення для визначення рівня фізичного розвитку людини та загального контролю ефективності спортивних тренувань. Дана задача є важливою, як для професійних спортсменів, так і для людей, що займаються спортом з оздоровчою метою. Класичні методи контролю стану здоров'я людини та рівня фізичної підготовки (аналіз антропометричних показників, медичний огляд тощо) не дозволяють вести оперативний контроль безпосередньо під час тренувань. Тому для визначення інтенсивності фізичних навантажень спортивні медики рекомендують використовувати частоту серцебиття та частоту скорочення м'язів. В більшості видів спортивних тренувань переважають динамічні навантаження, що передбачають активне скорочення м'язів. Для їх вимірювання розробляється велика кількість технічних засобів. В даний час суттєво зросла увага до покращення їх характеристик та зменшення вартості.

Мета статті. Розробка методів зменшення температурного впливу при вимірюванні прискорення.

Основна частина. Точність результату вимірювання – характеристика якості вимірювання, що відображає близькість до нуля похибки його результату. Ці похибки є наслідком багатьох причин: недосконалість засобів вимірювань, методів вимірювань, досвіду оператора, недостатньої старанності проведення вимірювання, впливу зовнішніх умов тощо. Для зменшення похибок необхідно усунути або зменшити вплив кожної з причин їх появи. Точність вимірювань звичайно характеризується похибкою вимірювання. Вважається, що чим менша похибка вимірювання, тим більше його точність.[1]

Кожен результат містить похибку, величину якої можна представити в наступному вигляді:

$$\Delta x_{вим}=x_{рез}-x_p$$

де $\Delta x_{вим}$ – похибка вимірювання; $x_{рез}$ – результат вимірювання; x_p – реальне (дійсне) значення вимірюваної величини [2].

Оскільки істинне значення фізичної величини невідомо, то для визначення похибки вимірювання замість нього беруть дійсне значення фізичної величини X визначається з точністю, достатньою для оцінки похибки вимірювання. Тоді похибка вимірювання можна оцінити різницею між результатом вимірювання X та дійсним розміром x_p:

$$\Delta x_{вим} = X - x_p.$$

Для оцінки ступеня наближення результатів вимірювання до істинного значення вимірюваної величини використовуються методи теорії ймовірностей і математичної статистики[3]. Використання методів, розроблених в рамках теорії

ймовірностей і математичної статистики, дозволяє з певною вірогідністю оцінити межі похибок, за межі яких вони не виходять, що дає можливість для кожного конкретного випадку вибрати засоби і методи вимірювання, які забезпечують отримання результату, похибки якого не перевищують заданих границь з необхідним ступенем довіри до результатів вимірювань (вірогідністю) [4].

Серед методів підвищення точності слід виділити такі методи, що зменшують вплив систематичної складової похибки, бо ми розглядаємо температурний вплив на точність вимірювань. Для зменшення систематичної похибки вимірювань широко використовується метод, який ґрунтується на паралельних вимірюваннях величини x за допомогою зразкових засобів вимірювання або мір. Вимірювання величини x проводиться в декілька етапів (рис. 2). Спочатку вимірюється величина x за допомогою звичайного засобу вимірювання (ЗВ1), а потім за допомогою зразкового засобу (ЗЗВ). Засоби вимірювання підключаються по черзі за допомогою перемикача П. Результати вимірювань після перемикача подаються в обчислювальний засіб (ОЗ), де вони опрацьовуються і визначається систематична складова похибки як різниця вимірювальних величин за допомогою звичайного та зразкового засобів вимірювань [6].

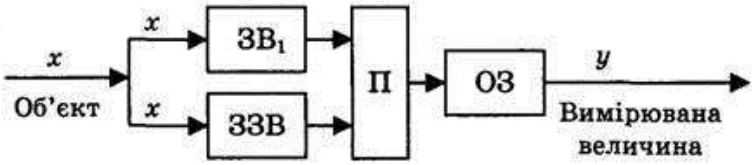

Рис. 2. Схема зменшення систематичної складової похибки за допомогою зразкових засобів вимірювання

Вимірювана величина визначається за алгоритмом

$$y = m \cdot x \pm \quad (7)$$

Систематична похибка вимірювання визначається як різниця між математичними сподіваннями, одержаними за результатами вимірювань за допомогою зразкових та звичайних технічних засобів вимірювальної техніки [7].

Висновки. Розглянуто проблеми, що виникають при вимірюванні. Завдяки розробленим методам з'явилась можливість контролювати точність вимірювань.

Література

1. *Аксенова Е.Н. «Элементарные способы оценки погрешностей результатов прямых и косвенных измерений».*
2. *Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Душин Е.М. Основы метрологии и электрические измерения.*
3. *Брянский Л. Н. "Непричёсанная метрология".*
4. *Болтон У. Карманный справочник инженера метролога.*
5. *Богданов Д. В., Фильчаков В. В. "Стандартизация жизненного цикла и качества программных средств".*
6. *Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В., Папуловский В. Ф. "LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий".*
7. *Благодатских В. А. Стандартизация разработки программных средств.*
8. *Гвоздев В. Д. Прикладная метрология: Величины и измерения. – М.:МИИТ, 2015.*

УДК 621.317

КУШНІР А.Ю., ШУМКОВ Ю.С.

МІНІМІЗАЦІЯ СПОТВОРЕНЬ ФОРМИ СТУПІНЧАСТИХ ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ У ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна, e-mail: aartur196@gmail.com

Вступ. У вимірювальних системах при передачі випробувальних сигналів (ВС) з фронтами нано- і субнаносекундного діапазону тривалості на відстань від джерела сигналу на вхід об'єктів, що досліджуються, кола передачі сигналів вже варто розглядати як кола з розподіленими параметрами [2,3]. При цьому виникають перевідбиття між джерелом і навантаженням, які призводять до істотних спотворень форми сигналу. Для передачі ВС без спотворень застосують узгоджені за хвильовим опором широкосмугові високочастотні тракти передачі сигналів, наприклад, у вигляді відрізків коаксіального кабелю [4], які узгоджені на обох кінцях кабелю.

Однак, в автоматизованих системах не завжди вдається забезпечити умови узгодження навантаження на кінцях кабелю з його хвильовим опором. Це відбувається при під’єднанні об'єктів із різним вхідним активним опором [5,6,7].

З іншого боку, узгодження опору на виході джерела ВС із опором кабелю призводить до втрати половини рівня сигналу на навантаженні [2].

Тому для забезпечення максимальної амплітуди сигналу, що передається, джерела ВС навантажуються безпосередньо на хвильовий опір кабелю. При використанні ж джерела ВС з неузгодженим виходом та при відмінності опору навантаження від хвильового опору кабелю виникають перевідбиття між джерелом і навантаженням.

Таким чином, для забезпечення умов передачі ВС при максимальному рівні сигналу по коаксіальному кабелю без спотворень особливо важливим є розв'язання задачі автоматичного узгодження опору навантаження з хвильовим опором кабелю.

Постановка задачі. Метою статті є викладення методу автоматичного узгодження опору на вході об'єктів досліджень із хвильовим опором кабелю, що дозволяє підвищити точність відтворення форми ступінчастих випробувальних сигналів з фронтами нано- і субнаносекундного діапазону.

Теоретичні положення. Як було наведено, форма встановлення напруги на навантаженні визначається багаторазовим накладенням на сигнал, який передається, перевідбитих хвиль, які щоразу приходять з затримкою $2T_0 l$, де $T = T_0 l$ – повна затримка сигналу у кабелі; T_0 – погонна затримка (затримка, що зведена до одиниці довжини); l – довжина кабелю. Так для радіочастотного

коаксіального кабелю марки РК-50 із хвильовим опором $Z_0 = 50$ Ом погонна затримка складає $T_0 = 5$ нс/м [4].

При $2T_0\, l < t_ф$, де $t_ф$ – тривалість фронту сигналу, що передається, форма визначається багаторазовим накладенням на нього фронт, фронтів перевідбитих хвиль. Фронти сигналу, що передається, і відбитих хвиль збігаються в часі При цьому важко виділити інформацію про неузгодженість навантаження з хвильовим опором кабелю.

При $2T_0\, l > t_ф$ фронти сигналу і відбитих хвиль рознесені в часі відносно один одного. Через те встановлення напруги відбувається у вигляді окремих сходинок, що дозволяє розв'язати задачу автоматичного узгодження через відбитий сигнал.

На рис. 1 наведена схема генератора ступінчастого ВС з автоматичним узгодженням опору на вході об’єктів досліджень із хвильовим опором кабелю.

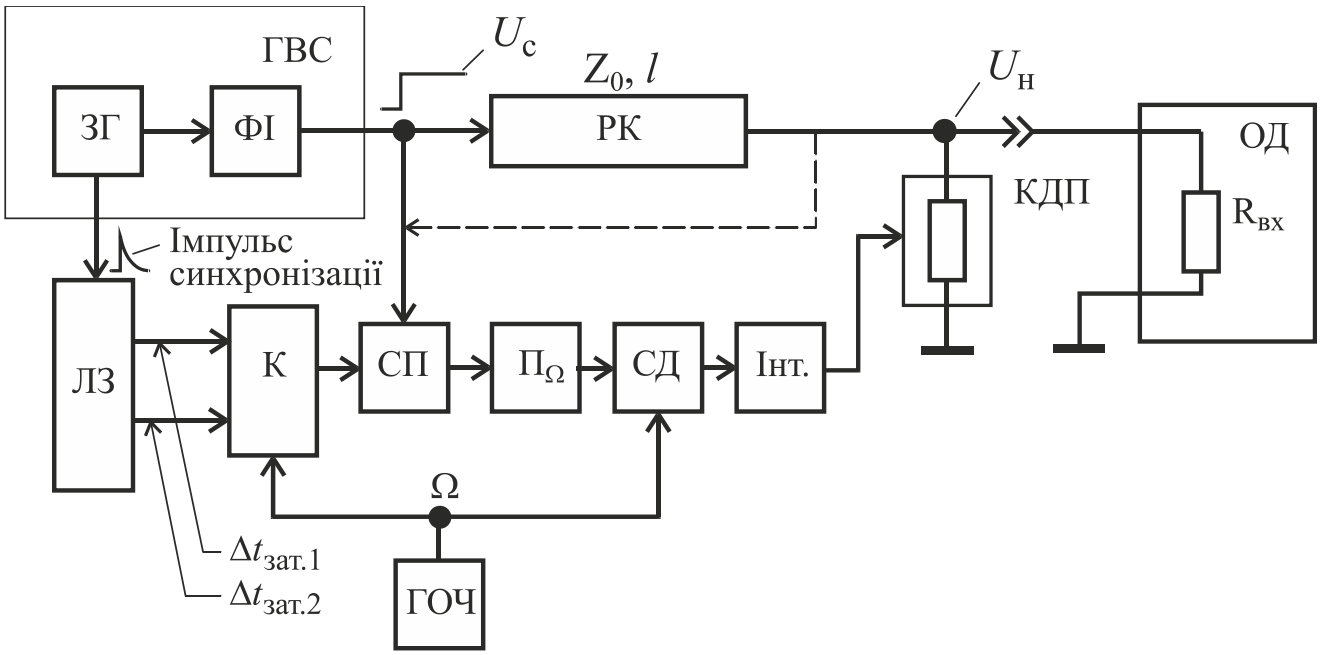

Рис. 1. Генератор ступінчастого ВС з автоматичним узгодженням опору на вході об'єктів досліджень з хвильовим опором кабелю

На схемі показані: ЗГ – задаючий генератор; ФІ – формувач імпульсів; РК – радіочастотний коаксіальний кабель; ЛЗ – лінія затримки; К – комутатор; СП – стробоскопічний перетворювач; $П_Ω$ – вибірковий підсилювач; СД – синхронний детектор; Інт. – інтегратор, КДП – керований двополюсник; ГОЧ – генератор низької опорної частоти; ОД – об'єкт досліджень. Задаючий генератор ЗГ визначає період проходження і тривалість імпульсів ВС. Формувач імпульсів ФІ, що має струмовий вихід, забезпечує відтворення параметрів форми ступінчатого ВС на низькоомному навантаженні. Вихід формувача синхроімпульсів, що входить до складу ЗГ, через лінію затримки ЛЗ і комутатор К є підключений до входу запуску генератора стробуючих імпульсів СП. Змішувач СП включений

безпосередньо в тракт передачі сигналу на початку кабелю РК. Як вимірювальний блок використовується стробоскопічний перетворювач Я40-1700 (змінний блок до універсального осцилографу) зі смугою пропускання 3,5 ГГц [8].

На рис. 2 наведені часові діаграми, що пояснюють принцип автоматичного узгодження. Коефіцієнти відбиття на початку і на кінці кабелю – $K_1(p)=[Z_1(p)-Z_0]/[Z_0+Z_1(p)]$, $K_2(p)=[Z_2(p)-Z_0]/[Z_0+Z_2(p)]$, де $Z_1(p)$ – вихідний імпеданс джерела ВС; $Z_2(p)$ – імпеданс навантаження; Z_0 – хвильовий опор лінії. Параметр $S=K_1 \cdot K_2$ враховує відбиття на обох кінцях кабелю.

На рис. 2,а наведена модель передачі ВС. Джерело ступінчастого ВС представлене джерелом струму $I_c(p)=I_0 \cdot [1/p^2 t_ф] \cdot (1-e^{-t_ф p})$, де $t_ф < 2T_0\, l$. Спочатку розглянемо випадок без впливу реактивних складових вихідного опору джерела ВС і навантаження. Вихідний активний опір джерела струму $R_1 \to \infty$. Без урахування C_1 коефіцієнт відбиття на початку лінії буде $K_1 \cong 1$.

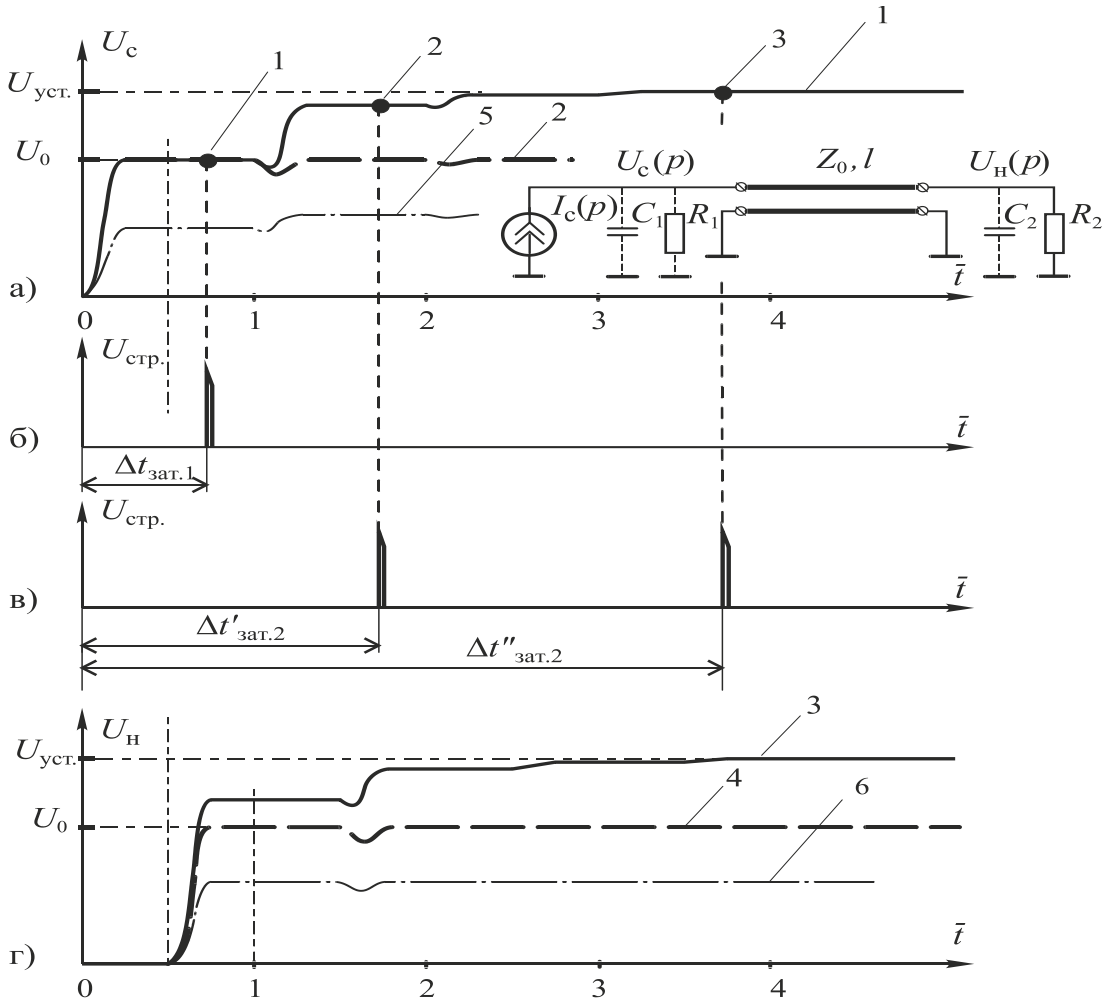

Рис. 2. Часові діаграми, що пояснюють принцип автоматичного узгодження опору на вході об'єктів досліджень з хвильовим опором кабелю по відбитому сигналу

У випадку неузгодженості навантаження за резистивною складовою ($R_2 \neq Z_0$, де $R_2 = R_{\text{кдп}} \| R_{\text{вх.ок}}$) при $2T_0 l > t_{\text{ф}}$ перехідна напруга на кінці кабелю $U_{\text{н}}(t_n)$ для рівня окремих сходинок у моменти часу $t_n = (2n+1)T_0 l$ буде визначатися:

$$U_{\text{н}}(t_n) = Z_0 I_0 (1+K_2) \cdot \frac{1-S^n}{1-S} = U_{\text{н, уст.}}(1-S^n); S \cong K_2 \quad (1)$$

де $U_0 = Z_0 I_0$ – значення напруги ВС на початку лінії передачі; $U_{\text{н,уст.}} = Z_0 I_0 (1+K_2)/(1-S) = R_2 I_0$ – стале значення напруги ВС на навантаженні (при $n \to \infty$).

Спотворення ступінчастого ВС за формою оцінюється виразом:

$$\delta \bar{U}_{\text{н}}(\Theta'_n) = S^n; \quad (2)$$

Максимальне значення оцінка (2) приймає при $n=1$ і складає величину $\delta \bar{U}_{\text{н, max}} = S$. Час установлення сигналу на навантаженні визначається переважно багаторазовими затримками відбитих хвиль в кабелі і при цьому практично не залежить від параметрів форми ВС, що передається. Наприклад, при довжині кабелю $l = 1$м (повна затримка сигналу у кабелі $T = 5$ нс) і при $S = 0{,}5$ (тобто $K_1 \cong 1$; $K_2 = 0{,}5$; $R_2 = 3Z_0$ або R_2= 150 Ом) час встановлення постійного рівня вершини ступінчатого ВС з похибкою 10 % дорівнюватиме 33,2 нс.

Так на рис. 2,а показана напруга $U_{\text{с}}(\bar{t})$ на початку кабелю при $2T_0 l / t_{\text{ф}} = 4$: суцільною лінією 1 – при неузгодженості опору навантаження з хвильовим опором кабелю, наприклад $R_2 = 1{,}5Z_0$ (тобто $K_2 = 0{,}2$; R_2= 75 Ом); пунктирною лінією 2 – коли навантаження погоджене з хвильовим опором ($R_2 = Z_0$) і відбитки через неузгодженість за резистивною складовою відсутні. На рис. 2,г представлена напруга $U_{\text{н}}(\bar{t})$ на навантаженні: суцільною лінією 3 при неузгодженості навантаження ($R_2 = 1{,}5Z_0$); штриховою лінією 4 – за умови узгодження $R_2 = Z_0$. Так для ВС у вигляді одиничної ступінчастої функції, що має фронт 1÷2 нс і час установлення вершини 5÷7,5 нс, зазначені параметри приблизно зберігаються в узгодженому режимі. При неузгодженості за резистивною складовою ($R_2 = 1{,}5Z_0$) і при довжині кабелю 1 м (затримка 5 нс) час встановлення вершини ВС з похибкою 1 % через відбиття складе вже 30 нс, що робить зазначений ВС непридатним до проведення вимірювань [7,8].

Для порівняння на рис. 2,а і рис. 2,г штрих-пунктирними лініями показаний сигнал на початку кабелю (лінія 5) і на навантаженні (лінія 6) у випадку, коли вихід джерела ВС є узгодженим з кабелем. У моделі кола на рис. 2,а режим узгодження відображено штрихами у вигляді підключення паралельно до джерела струму резистора, опір якого $R_1 = Z_0$. Однак на практиці повного узгодження отримати не вдається. Але навіть таке узгодження приводить до втрати половини рівня сигналу на навантаженні [2].

Кусково-ступінчастий характер, який набуває напруга при $2T_0 l > t_ф$ через відбиття, дозволяє відносно легко виділити сигнал, що несе інформацію про неузгодженість на кінці кабелю за резистивною складовою. Цю інформацію можна отримати як на кінці кабелю (рис. 2,г) так і на початку кабелю по відбитому від навантаження сигналу (рис. 2,а).

Оцінимо вплив реактивних складових вихідного опору джерела ВС і навантаження на можливість виділення інформації про неузгодженість опору на кінці кабелю за резистивною складовою. На рис. 2,а реактивні складові представлені, як дискретні ємності C_1 і C_2 (порядку $3 \div 5$ пФ) відповідно на початку і на кінці кабелю. Так при $C_1 = 5$ пФ стала часу кола на початку лінії передачі $\tau_1 = 0{,}25$ нс, де $\tau_1 \cong Z_0 C_1$ (при $R_1 \to \infty$). При цьому для фронту імпульсу струму джерела ВС реально виконується нерівність $(t_ф / \tau_1) > 3 \div 4$. Тоді для часу встановлення постійного рівня напруги падаючої хвилі $U_0 = Z_0 I_0$ з відносною похибкою $\xi_{уст.} = \Delta U / U_0$ при лінійному фронті імпульсу струму $I_с(p)$ джерела ВС з тривалістю $t_ф$ можна записати $t_{уст./\xi} \cong t_ф + \tau_1 |\ln(t_ф \xi_{уст.} / \tau_1)|$. Відповідно до цього виразу, при $t_ф = 1$ нс, $\tau_1 = 0{,}25$ нс і $\xi_{уст.} = 1\%$ час установлення складає $t_{уст.} \cong 1{,}8$ нс. При цьому не змінюється істотно фронт сигналу на початку кабелю.

Оцінимо вплив ємнісної складової C_2 на кінці кабелю. Для цього розглянемо схему за умови, що єдиним джерелом відбиттів є конденсатор C_2 (лінія передачі погоджена з опором навантаження за резистивною складовою, тобто $R_2 = Z_0$). Представимо фронт падаючої хвилі лінійним, тривалість якого $t'_ô$ відповідає повному часу зростання з похибкою $\xi_{уст.} = 1\%$ від сталого значення $U_0 = Z_0 I_0$. Тоді форма відбитого від навантаження імпульсу, що визначена відносно U_0, буде мати вираз:

$$\delta U_{відб.}(t) = \begin{cases} -\dfrac{\tau_2}{t'_ф} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}), 0 \le t \le t'_ф; \\ -\dfrac{\tau_2}{t'_ф} \cdot (1 - e^{-\frac{t'_ф}{\tau_2}}) \cdot e^{-\frac{(t - t'_ф)}{\tau_2}}, t'_ф \le t \le \infty, \end{cases} \quad (3)$$

де $\tau_2 \cong 0{,}5 Z_0 C_2$. При $(t'_ф / \tau_2) > 3 \div 4$ тривалість відбитого імпульсу $t_{відб.} \cong t'_ф + \tau_2 |\ln(t'_ф \xi_{в,уст.} / \tau_2)|$. Так при $C_2 = 5$ пФ; $\tau_2 = 0{,}125$ нс; $t'_ô = 1{,}8$ нс і при $\xi_{в.уст.} = 1\%$ тривалість складе $t_{відб.} \cong 2$ нс. Відносна амплітуда відбитого імпульсу, яка рівна коефіцієнту відбиття, при лінійному фронті падаючої хвилі, виходячи з (8), буде приблизно $\delta U_{відб./max} \cong -\tau_2 / t'_ф$. Так при зазначених вище параметрах

($C_2 =$ 5 пФ; $\tau_2 = 0{,}125$ нс; $t'_{\text{ф}} = 1{,}8$ нс) відносна амплітуда складе $\delta U_{\text{відб./ max}} \cong 7$ %. Відбита від C_2 хвиля накладається на вершину сигналу, що передається, приходить до початку кабелю і відбувається нове перевідбиття. На рис. 2 представлений випадок, коли $l = 40$ см, $2T_0 l = 4$ нс.

Таким чином, якщо фронт падаючої хвилі $t'_{\text{ф}} < 2T_0 l$ і виконується умова, що тривалість відбитої хвилі $t_{\text{відб.}} < 2T_0 l$ (для передачі використовується відрізок кабелю більше 20 см, при цьому подвійна затримка більш 2 нс), то ступінчастий характер встановлення напруги через відбиття зберігається. При цьому вплив C_1 і C_2 на можливість виділення інформації про неузгодженість кабелю можна виключити. Перевідбиття між генератором, роз'ємними з'єднаннями і діодами змішувача СП при тривалості фронту порядку $t_{\text{ф}} \cong 1 \div 2$ нс мають малу величину [8], діючи на ділянці фронту сигналу, що передається, при цьому затягується його встановлення, що, у свою чергу, враховується у відповідних затримках, що вводяться для зчитування сигналу, відбитого від навантаження.

Пристрій на рис. 2 функціонує таким чином. При під’єднанні об’єкту досліджень на кінці кабелю автоматично відбувається настройка загального опору навантаження рівним хвильовому опору кабелю. Виділення інформації про неузгодженість кабелю з навантаженням відбувається по відбитому сигналу і здійснюється шляхом періодичного порівняння значень напруги, що формується на початку кабелю, в точках 1 і 2 (рис. 2,а) – відповідно в моменти часу до приходу першої відбитої від навантаження хвилі і після її приходу. Порівняння може здійснюватися також і з напругою в точці 3, яка відповідає встановленню вершини ВС. Для цього синхроімпульси із задаючого генератора ЗГ через лінію затримки ЛЗ і комутатор К подаються на вхід запуску генератора стробуючих імпульсів, який є у складі СП. Таким чином, відбувається задання фіксованих затримок стробуючих імпульсів (рис. 2,б і рис. 2,в) щодо переднього фронту ВС $U_{\text{с}}(\bar{t})$ на початку кабелю РК і відповідно моментів зчитування миттєвих значень сигналу в змішувачі СП. Частота Ω, з якої відбувається переключення затримок, вибирається набагато меншою за частоту генерації імпульсів ВС. При цьому в кожний напівперіод частоти Ω у змішувачі СП відбувається багаторазове зчитування значень сигналу $U_{\text{с}}(\bar{t})$ в тих самих точках з наступним їх усередненням. Стробоскопічний перетворювач СП працює у режимі “накопичування”. Затримки вибираються такими, що зчитування відбувається на ділянках установлення постійних рівнів сигналу, що передається, і відбитої хвилі. Так, наприклад, якщо довжина кабелю $l = 40$ см (подвоєна затримка в кабелі $2T_0 l = 4$ нс), то при C_1 і C_2 порядку 5 пФ, затримки відліків повинні складати $\Delta t_{\text{зат.1}} \cong 2 \div 3$ нс і $\Delta t'_{\text{зат.2}} \cong 6 \div 7$ нс (або $\Delta t''_{\text{зат.2}} \geq 30 \div 40$ нс). При цьому на аналоговому виході СП формується сигнал, змінна складова якого має частоту Ω. Амплітуда її

несе інформацію про неузгодженість на кінці кабелю за резистивною складовою навантаження. Змінна складова вихідного сигналу СП виділяється вибірковим підсилювачем $П_{\Omega}$ і потім випрямляється за допомогою синхронного детектора СД. Вихідний сигнал СД через інтегратор Інт впливає на керований двополюсник КДП, що під'єднаний на кінці кабелю паралельно вхідному опору ОД (при $R_{вх} > Z_0$) і служить для узгодження. Зміна опору КДП приводить до зменшення рівня відбитої хвилі. Після узгодження система буде підтримувати загальний опір навантаження, рівним хвильовому. При кожному новому під'єднанні ОД система буде автоматично настроювати опір на кінці кабелю. Тим самим підвищується точність відтворення форми ступінчастого ВС.

Роздільна здатність оцінки відхилення опору навантаження від хвильового по відбитому сигналу обмежена рівнем власних шумів СП, що складає 2÷5 мВ. У режимі "накопичування" роздільна здатність на порядок вище. Це дозволяє при амплітуді ВС у 1 В встановити відхилення активного опору навантаження від хвильового з похибкою меншою, ніж 0,2÷0,5 Ом.

Висновки. При $2T_0\, l > t_ф$ фронти сигналу і відбитих хвиль рознесені в часі відносно один одного. Через те встановлення напруги відбувається у вигляді окремих сходинок. Наведено оцінки похибки відтворення форми сигналів. Викладено метод автоматичного узгодженням опору навантаження з хвильовим опором кабелю по відбитому сигналу, що дозволяє суттєво зменшити похибку відтворення форми ступінчастих випробувальних сигналів із фронтами нано- і субнаносекундного діапазону тривалості. Метод автоматичного узгодження доцільно розвинути для підвищення точності відтворення форми сигналів, що мають фронти з тривалістю пікосекундного діапазону.

Література

1. *Системы автоматизированного контроля радиоэлектронной аппаратуры / Володарский Е.Т., Губарь В.И., Никифоров Л.Л., Туз Ю.М. – К.: Техніка, 1983. – 151 с.*
2. *Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. – М.: "Энергия", 1972. – 816 с.*
3. *Чурин Ю.А. Переходные процессы в линиях связи быстродействующих схем ЭВМ. – М.: Сов радио, 1975. – 362 с.*
4. *Справочник по элементам радиоэлектронных устройств / Под ред. В.Н. Дулина, М.С. Жука. – М., «Энергия», 1977. – 576 с.*
5. *Глебович Г.В. Искажения наносекундных импульсов при прохождении по коаксиальному кабелю. – "Радиотехника", 1963, т. 18, № 10. – С. 54-62.*
6. *Глебович Г.В., Ковалев И.П. Широкополосные линии передачи импульсных сигналов. – М.: Сов радио, 1973. – 223 с.*
7. *Андриянов А.В, Захтаренко В.С., Чепурнов А.В. Методы автоматизированных измерений параметров цепей и трактов во временной области //Техника средств связи. Серия РИТ. – 1983. – Вып. 1. – С. 1-13 //Вып. 2. – С. 1-32.*
8. *Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов / Глебович Г.И., Андриянов А.В., Введенский Ю.В. и др. – М.; Радио и связь, 1984. – 256 с.*
9. *Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 816 с.*

УДК 621.6

ЛІВАДІНА А.Ю.

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ ГАЗУ В ГАЗОПРОВОДІ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, laju95@mail.ru

Постановка задачі. Газова промисловість України як окрема галузь займає сьогодні найважливішу роль в паливно-енергетичному комплексі країни в зв'язку з тим, що частка природного газу в загальному обсязі споживання первинної енергії перевищує 45 %. Використання великого обсягу сировини вимагає контролювання технологічних параметрів газу, для зменшення питомих витрат і підвищення якості його обліку.

Існуючі на даний момент системи контролю є неавтоматизованими або автоматизованими частково [4, 5]. Для вимірювання необхідних параметрів до даних систем підключаються різні зовнішні контрольно-вимірювальні прилади (монометри, термометри і тд.), що не є досконалим рішенням цього питання. На підставі розглянутих технічних рішень було прийнято рішення створити автоматизовану систему на основі датчиків, що дозволить не тільки повністю автоматизувати процес контролю технологічних параметрів газу, а й підвищить ефективність споживання та раціонального використання ресурсів.

Мета статті. Висвітлення матеріалів щодо створення інформаційно-вимірювальної системи контролю технологічних параметрів газу в газопроводі.

Основна частина. Одночасне вимірювання і зіставлення декількох параметрів з метою їх комплексного аналізу значно оптимізує роботу газотранспортних систем. На даний час розроблено багато засобів вимірювання тиску газу. Актуальність ж розробки інформаційної системи вимірювання технологічних параметрів газу полягає в необхідності підвищення точності, швидкодії та одночасному контролі декількох параметрів, а саме тиску, розрідження та перепаду тиску у газопроводі, а також вимірювання температури за допомогою однієї системи. Крім того, в системі передбачена можливість представлення даних в зручній для перегляду та зберігання формі. Сполучення інформаційно-вимірювальної системи з комп’ютером дозволяє швидко отримувати, обробляти та зберігати для подальшого використання великі потоки інформації.

Система складається із чотирьох вимірювальних каналів, в трьох з яких відповідно вимірюються надлишковий тиск, різниця тисків та розрідження в газопроводі, а четвертий канал слугуватиме для контролю температури в газопроводі.

Функційна схема інформаційно-вимірювальної системи тиску газу в газопроводі приведена на рисунку 1.

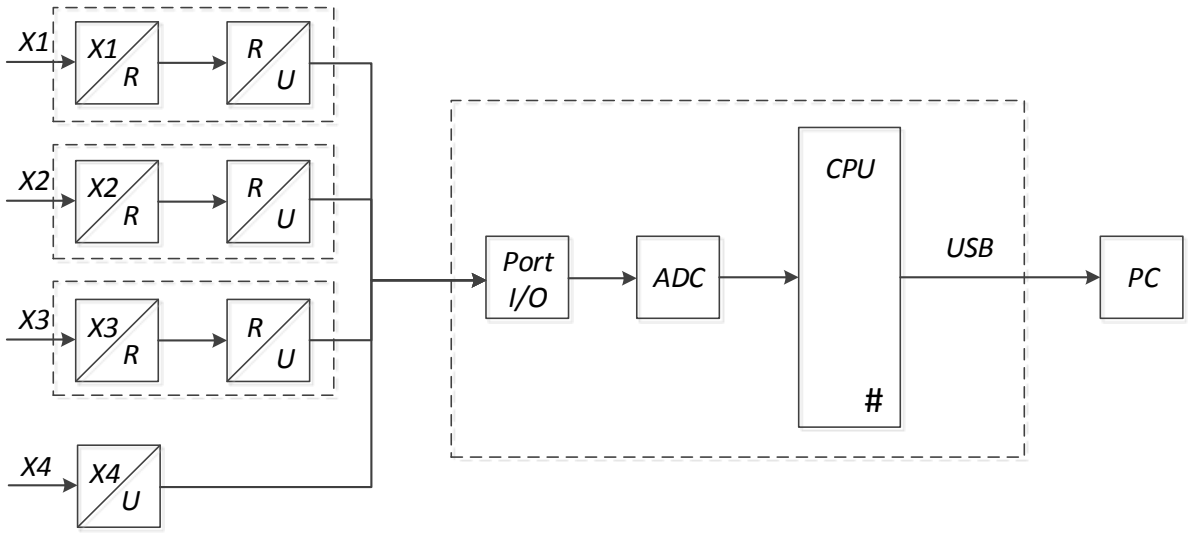

Рис.1. Функційна схема інформаційно-вимірювальної системи тиску газу в газопроводі

Розглянемо канал вимірювання тиску. Методи вимірювання тиску газу ґрунтуються на порівнянні сил тиску, що вимірюється, з наступними силами: тиску стовпця рідини (ртуті, води) відповідної висоти; такими, що утворюються при деформації пружних елементів (пружин, мембран, манометричних коробок, сильфонів та манометричних трубок); а також із пружними силами, що виникають при деформації деяких матеріалів, при яких виникають електричні ефекти [1]. Для вимірювання тиску в системі, що проектується, використовується тензорезистивний датчик, основою якого є тензочутливий елемент (сенсор). Він складається з чотирьох ідентичних тензорезисторів, імплантованих на поверхню тонкої кремнієвої діафрагми і включених за схемою моста Уїнстона.

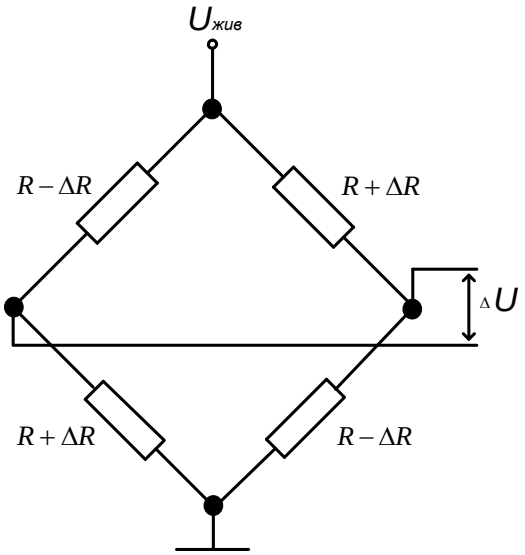

Рис. 2. Схема базового чутливого елемента

Тиск викликає деформацію тонкої кремнієвої діафрагми, що призводить до зміни геометрії тензорезисторів, що перебувають із нею в тісному механічному зв'язку. В результаті опір тензорезисторів змінюється в залежності від величини деформації діафрагми. Відбувається перетворення прикладеного тиску (механічний вхід) в зміну опору (електричний вихід). Вихідна напруга на виході вимірювального моста прямо пропорційна напрузі живлення і величині прикладеного тиску [2]. Для зчитування значення напруги використовується аналоговий вхід мікроконтролера. Далі аналоговий сигнал напруги перетворюється в цифровий за допомогою 10-ти розрядного АЦП, вбудованого в мікроконтролер ATmega163/L [3].

Канали вмірювання різниці тисків та розрідження є ідентичними до каналу вимірювання тиску.

Розглянемо канал вимірювання температури. Від каналів вимірювання тиску, різниці тисків та розрідження він відрізняється тим, що інформативним сигналом одразу є напруга, тому перед подачею на ATmega163/L сигнал треба лише підсилити.

Отже, створена система моніторінгу, яка на основі точної та швидко отримуваної інформації дозволяє вирішувати питання контролю, підвищення ефективності споживання та раціонального використання ресурсів.

Висновки. Новизна та особливість створеної інформаційно-вимірювальної системи тиску газу в газопроводі полягає у тому, що, по-перше, система є автоматизованою, а по-друге, дозволяє вимірювати декілька параметрів одночасно. Впровадження даної системи є особливо актуальним для організацій і підприємств енергетики, промисловості, метрологічних органів та національно-метрологічних інститутів.

Література

1. *Энергетическое топливо (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горющий природный газ): Справочник / В.С.Вдовиченко, М.И.Мартынова, Н.В.Новицкий, Г.Д.Юшина. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 184с.*
2. *Боднер В.А., Алферов А.В. Измерительные приборы (теория, расчет, проектирование): Учебник для вузов: В 2-х т. Т. 2: Методы измерений, устройство и проектирование приборов. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 224 с.*
3. *Datasheet Atmega163l // – Режим доступу: http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/56263/ATMEL/ATMEGA163L.html – Дата доступу: 25.06.17 – Datasheet Atmega163l.*
4. *ФЛОУТЕК-ТМ // – Режим доступу: http://www.dgt.com.ua/flo-tm_u.html – Дата доступу: 25.06.17 – ФЛОУТЕК-ТМ.*
5. *УНИВЕРСАЛ-М (МТ) // – Режим доступу: http://sovlad.com.ua/universal-m.html – Дата доступу: 25.06.17 – УНИВЕРСАЛ-М (МТ).*

УДК 533.6.013.1

ЛІКАРЕНКО І.О.

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ВИБОРУ ПРОФІЛЮ КРИЛА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, e-mail: lioigor22@gmail.com

Постановка задачі. Аеродинамічне проектування профілю залежить від безлічі обмежень і вимог, які, як правило, конфліктують між собою.

Задача оптимізації профілю може бути сформульована, як максимізація за деякими змінними проектних параметрів профілю крила. Рішенням даної задачі є певне поєднання геометричних параметрів, що забезпечують максимальні значення аеродинамічних характеристик, таких як, наприклад, аеродинамічна якість. При цьому до уваги береться ряд заданих аеродинамічних, технологічних та інших обмежень.

Запишемо математичне формулювання даної задачі:

Знайти $\min F(x),\ X \in R^n$ при наступних обмеженнях:

$$c_i(X) = 0,\ i = 1, 2, ..., n;$$

$$c_i(X) \geq 0,\ i = n+1, ..., m;$$

де $F(x)$ – цільова функція, а $c_i(X)$ – функція обмежень.

В якості цільових функцій виступають залежності аеродинамічних коефіцієнтів профілю від його геометричних параметрів.

Задача вибору профілю може бути сформульована, як оцінка параметра, що

характеризує мінімальну та максимальну швидкість літального апарату. В якості такого параметра зазвичай розглядають відношення максимального коефіцієнта підйомної сили при повністю відхиленій механізації до коефіцієнта профільного опору при значенні C_y, що відповідає польоту на максимальній швидкості: $C_y^{мех}{}_{\max} / C_{xp}$. Великі значення цього відношення відповідають більшій досяжній величині максимальної швидкості польоту при заданій швидкості посадки.

Мета статті. Розробка методики оптимізації та вибору аеродинамічних профілів для отримання оптимальних профілів, які можна використовувати на практиці для крил літальних апаратів.

Основна частина. Відомі прямі і зворотні методи оптимізації профілю крила. При використанні прямого методу проводять послідовну зміну геометричних параметрів контуру профілю і перераховують аеродинамічні характеристики профілю. Рішення вважається знайденим, коли досягаються необхідні задані аеродинамічні характеристики профілю. В зворотних методах з метою забезпечення необхідних аеродинамічних характеристик профілю, як правило, варіюються розподіли швидкості за профілем крила. Зворотні методи є традиційними в аеродинаміці. Прямий метод чисельної оптимізації крилових

профілів є більш пізнім. У даній роботі використаний прямий метод чисельної оптимізації профілю. Його узагальнена структурна схема наведена на рис. 1.

Рис. 1. Блок-схема прямого методу чисельної оптимізації

Аеродинамічна модель. Так як в прямому методі необхідно проводити розрахунок параметрів обтікання і аеродинамічних характеристик профілю, то при виборі методу їх розрахунку (аеродинамічної моделі) перевагу необхідно віддати тому методу, в якому враховуються всі особливості обтікання профілю крила при малих числах Рейнольдса (ефекти ламінарно-турбулентного переходу і відривні явища). Крім того, метод і алгоритм розрахунку повинні бути ефективними і економічними.

Однією з небагатьох таких аеродинамічних моделей є комплекс Xfoil, в якому при аналізі аеродинаміки профілів вирішується завдання в'язко-нев'язкої взаємодії. Спочатку розраховуються параметри обтікання профілю нев'язким потоком. Для цього використовується панельний метод. Облік впливу в'язкості проводиться за допомогою розрахунку параметрів граничного шару інтегральним методом. Для передбачення ламінарно-турбулентного переходу застосовується, отримавший широке визнання, напівемпіричний e^n - метод, розроблений на основі лінійної теорії стійкості та з використанням експериментальних даних. Даний метод дозволяє моделювати зростання просторових хвиль Толлміна-Шлихтинга, які викликають перехід. Ступінь зростання амплітуди хвилі визначається з рішення рівняння Орра-Зоммерфельда, пов'язаного з місцевими величинами форм – параметра і товщиною втрати імпульсу граничного шару.

Ефективність програмного комплексу Xfoil підтверджується результатами порівняння даних, отриманих з його допомогою, з експериментальними даними і з результатами розрахунків за допомогою інших аеродинамічних моделей,(в тому

числі з широко поширеною на сьогоднішній день SST-моделлю, доповненою моделлю ламінарно-турбулентного переходу Лантрі–Ментера. SST-модель турбулентності являє собою комбінацію моделей турбулентності типу «$k-\varepsilon$», яка краще описує властивості вільних зсувних течій, і типу «$k-\omega$» як найбільш підходяща для моделювання пристінкових течій. В моделі ламінарно-турбулентного переходу Лантрі-Ментера додано два рівняння переносу: рівняння переносу для переміжності і рівняння, що визначає число Рейнольдса початку ламінарно-турбулентного переходу.

Параметричний опис профілю крила. При використанні прямого методу оптимізації однією з найважливіших задач є вибір і побудова відповідної параметричної моделі профілю.

Для цього існує цілий ряд методів параметризації, таких як: дискретна параметризація, метод конформного відображення, аналітичне та поліноміальне представлення контуру профілю. Різні підходи до параметризації профілю детально розглянуті в роботі [6].

При вирішенні задачі оптимізації профілів дискретний метод (використання 150-200 точок як змінних проектування) не зручний, тому що він вимагає великих обчислювальних витрат, і при цьому складно забезпечувати гладкість одержуваних контурів. Кращим для параметризації контуру профілю є застосування аналітичних і поліноміальних функцій.

Суть такої параметризації зводиться до опису верхньої і нижньої дуг профілю функцією виду:

$$y = y_{баз} - \sum_{j=1}^{N} \alpha_j f_j(x),$$

де α_j – змінна, N – кількість змінних, $f_j(x)$ – параметрична функція, $y_{баз}$ – ордината середньої лінії вихідного профілю.

В якості параметричної функції можна і рекомендовано використовувати функцію Хікса-Хіна:

$$f_j(x) = \sin^4(\pi x^{\beta i}), \text{ де } \beta_i = \frac{\ln(0.5)}{\ln(X_{m_i})} \quad i = 1,...,n,$$

де X_{m_i} – координата максимума.

Обмеження. Відомо, що отримання адекватного рішення задачі оптимізації неможливо без накладення обмежень. В першу чергу для задач оптимізації профілів при дозвуковому обтіканні необхідно забезпечити гладке зчленування параметричних кривих в голові профілю. Можливе накладення обмежень по коефіцієнту моменту тангажу. При рівних коефіцієнтах моменту, як правило, вдається фіксувати увігнутість профілю, що оптимізується. Також необхідно обмежувати товщину профілю та товщину його задньої кромки. Варто відмітити, що проблема обмежень до кінця не вирішена. Справа в тому, що часто важливі обмеження неможливо кількісно описати належним чином.

Алгоритм оптимізації. У даній роботі в якості алгоритму оптимізації використовувався, так званий, генетичний алгоритм. Цей алгоритм відноситься до стохастичних методів чисельної оптимізації. Для створення нової геометрії профілю в ньому використовуються випадкові зміни проектних параметрів, відбір контурів з найкращими значеннями цільових функцій, а також утворення нових змінних на основі лінійних комбінацій існуючих.

Результати оптимізації. Нижче наведено приклад оптимізації профілів, отриманий з допомогою описаного вище методу. В якості вихідних профілів використовувалися відомі профілі S1223, DAI1335 та інші, спроектовані за допомогою традиційних зворотних методів оптимізації. Оптимізація профілів можлива при виборі різних критеріїв оптимізації, одного або декількох.

Приклад однокритеріальної оптимізації профілів. Однією з класичних оптимізаційних задач аеродинаміки є знаходження профілю крила з максимальним значенням підйомної сили. Величина коефіцієнта максимальної підйомної сили визначає найменшу допустиму швидкість польоту і, відповідно, злітно – посадочні характеристики апарату. Розглянемо її рішення на наступному прикладі (рис. 2).

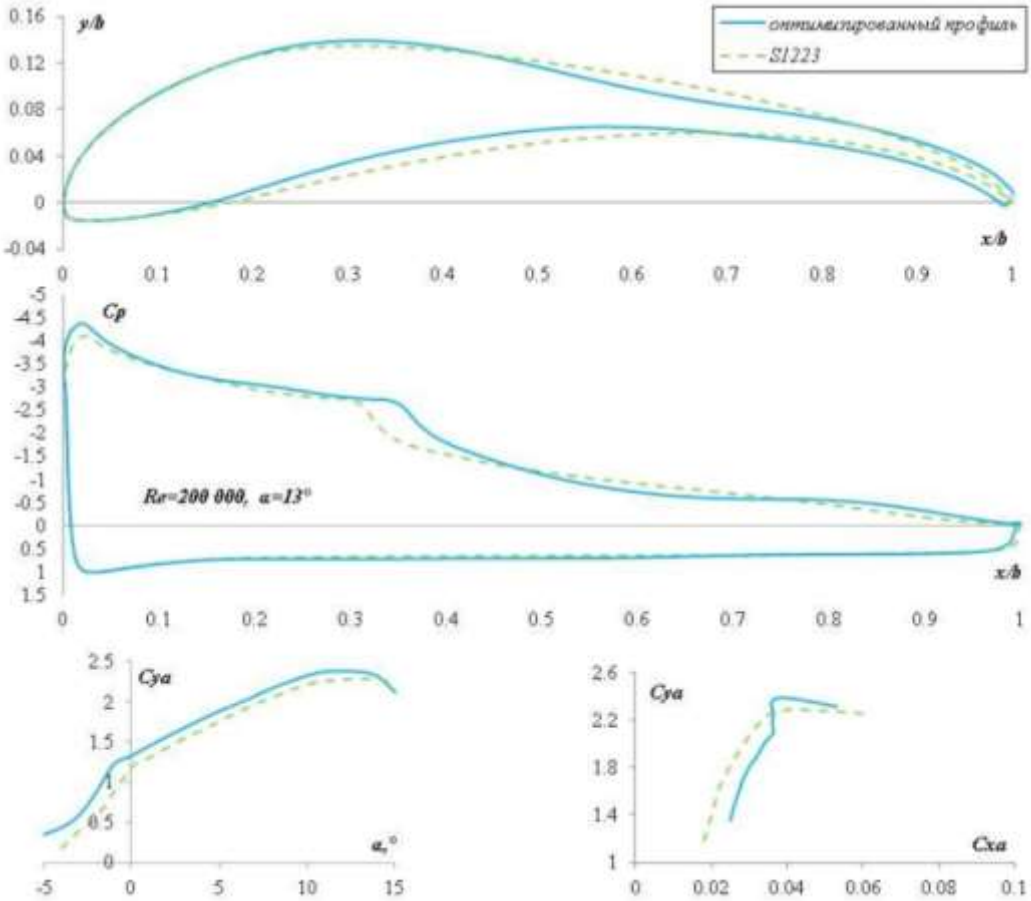

Рис. 2. Порівняння контурів і аеродинамічних характеристик вихідного та оптимізованого профілів при оптимізації по критерію максимальної підйомної сили

Знайти $\max F(x) \equiv Cya_{|\alpha=12^o}, при\ \mathrm{Re} = 200000.$

Обмеження: $11\% \le \bar{c} \le 13\%, \bar{t}_{зк} = 1\%,$

де $\bar{c} = \frac{c}{b}$ – відносна товщина профілю, $\bar{t}_{зк} = \frac{t_{зк}}{b}$ – відносна товщина задньої кромки профілю, $Cya_{|\alpha=12^o}$ – коефіцієнт підйомної сили профілю при куті атаки 12 градусів.

На (рис. 2) представлені контури вихідного і оптимізованого профілів, а також наведені залежності $C_{ya} = f(\alpha)$, поляри $C_{xa} = f(C_{ya})$ і залежності коефіцієнтів тиску C_p від відносної координати точки контуру профілю $x/b, C_p = f(x/b)$.Видно, що основні зміни контуру профілю мають місце при $x/b \succ 0.28$, а коефіцієнт підйомної сили оптимізованого профілю на 5 % більше аналогічного коефіцієнта вихідного профілю у всьому діапазоні зміни його кутів атаки. Порівняння коефіцієнтів тиску в точках контуру оптимізованого і вихідного профілів дозволяє сказати, що зростання коефіцієнтів підйомної сили здебільшого викликаний зміною верхньої гілки контура профілю. При цьому збільшується ламінарна ділянка течії і при $0.28 \prec x/b \prec 0.32$ зростає перепад тиску між нижньою і верхньою гілками контура профілю.

Вибір профілю несучої поверхні. Для оцінки якості профілю за рекомендованим відношенням $C_y{}^{мех}{}_{\max} / C_{xp}$, необхідно брати значення $C_y{}^{мех}{}_{\max}$ при числі Re, відповідному посадковій швидкості.

Вибираючи профіль за критерієм $C_y{}^{мех}{}_{\max} / C_{xp}$ необхідно пам'ятати, що для окремих класів літальних апаратів (високоманеврені літаки) важливо додаткове дотримання певного відношення $|C_{y\ \max}| / |C_{y\min}|$, що вимагає застосування профілів близьких до симетричних (наприклад NACA 230). Для більшості літаків самодіяльної споруди (неманевренних або обмежено маневрених літаків) цей критерій не відіграє суттєвої ролі. В цьому випадку можна підвищити співвідношення $C_y{}^{мех}{}_{\max} / C_{xp}$ застосовуючи несиметричні профілі, які мають великі значення $C_{y\ \max}$ і більш плавну залежність $C_y(a)$ в області критичних кутів атаки, що підвищить безпеку при польоті на близько критичних кутах атаки (посадка, крутий віраж).

Серед обраних класів профілів, так само задовольняючим розглянутим вище оцінкам, слід віддати перевагу профілям, які мають мінімальне значення коефіцієнта поздовжнього моменту при нульовій підйомній силі C_{m0}. Подальше звуження класів профілів для розгляду проводиться на основі задоволення додаткових вимог, яким повинен відповідати проектований літальний апарат.

Висновки. З аналізу наведених вище результатів однокритерійної оптимізації випливає, що при використанні для неї різних аеродинамічних критеріїв при малих числах Рейнольдса виходять профілі працездатні тільки у вузькому діапазоні зміни їх кутів атаки. Але, насправді, діапазон зміни кутів атаки ЛА досить широкий. Тому для отримання оптимальних профілів, які можна використовувати на практиці для крил ЛА, необхідно вирішувати задачу оптимізації профілів з урахуванням даного чинника. Крім того, ЛА – багатофункціональний об'єкт, при проектуванні якого необхідно враховувати також багато інших обмежень: проектні, конструктивні міцності і т.д. Це означає, що необхідно проводити багатокритеріальну оптимізацію.

За результатами проведених досліджень вдалося розробити автоматизовану систему обробки експериментальних даних в аеродинамічних трубах. Основним призначенням створеної системи є прискорення обробки та аналізу аеродинамічних випробувань. Тепер авіаконструктор чи інженер-розробник, скориставшись сервісом запропонованим інтернет-ресурсом, мають змогу попередньо оцінити якість профілю та його придатність до застосування в конкретній розробці. Також розроблений ресурс (автоматизована система) дає можливість публікувати результати власних вимірювань, що безперечно, приносить велику користь іншим спеціалістам в даній галузі.

Отже, вирішено актуальну задачу дослідження аеродинамічних характеристик авіаційних профілів – оцінку аеродинамічної якості профілю.

Література

1. *Аэродинамические профили крыла. – Режим доступу: http://stroimsamolet.ru/042.php - Дата доступу: 20.05.17 - Аэродинамические профили крыла.*
2. *Hicks R.M., Henne P.A. Wing design by numerical optimization, Journal of Aircraft, No7, Vol.15, 1978, pp. 407-412.*
3. *Некоторые вопросы оптимизации профиля крыла малоразмерного беспилотного летательного аппарата / Пархаев Е.С.,Семенчиков Н.В. – Режим доступу: https://www.mai.ru/upload/iblock/28b/28be68ba32e345e34724b569488456b1.pdf - Дата доступу: 20.05.17 - Некоторые вопросы оптимизации профиля крыла малоразмерного беспилотного летательного аппарата.*
4. *Ильинский Н.Б., Абзалилов Д.Ф. Математические проблемы проектирования крыловых профилей. – Казань, Казанский унтверситет, 2011, -284 с.*
5. *Лікаренко І.О. Автоматизована система обробки результатів вимірювань в аеродинамічних трубах / Лікаренко І.О. // XX науково-технічна конференція студентів та молодих учених, Київ, НТУУ «КПІ» ФАКС, 2017.*
6. *Samareh J. A. A Survey of Shape Parameterization Techniques, CEAS/AIAA/ICASE/NASA Langley International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics, 1999. – Режим доступу: http://www.cs.odu.edu - Дата доступу: 20.05.17..*

УДК 621.317

МИКИТИН І.В., ШУМКОВ Ю.С.

АНАЛІЗ СПОТВОРЕНЬ ФОРМИ СТУПІНЧАСТИХ ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ В ТРАКТЕ ПЕРЕДАЧІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна, e-mail: pulsedriver84@mail.ru

Вступ. У вимірювальних системах дуже часто виникає необхідність передачі випробувальних сигналів (ВС) на відстань від джерела сигналу на вхід об'єктів, що досліджуються [1]. Але при передачі імпульсних ВС з фронтами нано- і субнаносекундного діапазону тривалості задача має специфіку - кола передачі сигналів вже варто розглядати як кола з розподіленими параметрами [2,3]. При цьому виникає проблема передачі ВС без спотворень форми, яка зазвичай розв'язується шляхом застосування однорідних узгоджених за хвильовим опором широкосмугових високочастотних трактів. Наприклад, лінії передачі ВС виконуються у вигляді відрізків коаксіального кабелю [4]. При цьому потрібно виконати умови узгодження опорів на обох кінцях кабелю.

Однак, в автоматизованих системах не завжди вдається забезпечити умови узгодження навантаження на кінцях кабелю з його хвильовим опором. Це відбувається при під’єднанні об'єктів із різним вхідним активним опором [5,6,7].

З іншого боку, узгодження опору на виході джерела ВС з опором кабелю призводить до втрати половини рівня сигналу на навантаженні [2].

Тому для забезпечення максимальної амплітуди сигналу, що передається, джерела ВС навантажуються безпосередньо на хвильовий опір кабелю. При використанні ж джерела ВС з неузгодженим виходом та при відмінності опору навантаження від хвильового опору кабелю виникають перевідбиття між джерелом і навантаженням, які призводять до істотних спотворень форми сигналу.

Таким чином, для забезпечення умов передачі ВС при максимальному рівні сигналу на відстань по коаксіальному кабелю без спотворень, коли на іншому кінці кабелю відбувається під'єднання об'єктів із різним вхідним активним опором, особливо важливим є розв'язання задачі автоматичного узгодження опору навантаження з хвильовим опором кабелю.

Постановка задачі. Метою статті є аналіз спотворень форми ступінчастих випробувальних сигналів з фронтами нано- і субнаносекундного діапазону тривалості та визначення умов для автоматичного узгодження опору навантаження з хвильовим опором кабелю.

Теоретичні положення. Розглянемо характер спотворень форми ступінчастих ВС і визначимо умови, при яких може бути розв'язана задача автоматичного узгодження. Оцінка спотворень ВС за формою через перевідбиття (для сигналів із фронтами $0{,}2 \div 0{,}5$ нс і при довжині кабелю до 1 м) може бути отримана на основі

аналізу перехідних процесів в однорідних лініях, що не мають втрат, із розподіленими параметрами з під'єднаними на кінцях зосередженими дискретними неоднорідностями [2,3]. Спотвореннями форми ВС, що обумовлені неоднорідностями і втратами в самому кабелі, для сигналів із фронтами вже більшими 0,5 нс і при довжині кабелю до $0{,}5 \div 1$ м – можна знехтувати [5,6]. Так для ряду серійних коаксіальних кабелів, верхня гранична частота смуги пропускання яких для погоджених відрізків довжиною до 1 м складає не менше 6÷10 ГГц, час встановлення власної перехідної характеристики не перевищує 0,1 нс [5].

Як відомо, процес поширення сигналу в однорідних лініях без втрат описується системою “телеграфних рівнянь” у частинних похідних [2]. Розв'язуючи таку систему операторним методом з урахуванням граничних умов, можна отримати загальний вираз, що описує процес установлення сигналу на навантаженні

$$\begin{aligned} U_{\text{í}}(p) &= \beta(p) U_{\text{c}}(p)[1 + K_2(p)] \cdot e^{-pT} \times \\ &\times \{1 + K_1(p) K_2(p) e^{-2pT} + K_1^2(p) K_2^2(p) e^{-4pT} + \ldots\}, \end{aligned} \tag{1}$$

де $U_{\text{í}}(p)$ – напруга на навантаженні; $U_{\text{c}}(p)$ – сигнал, що передається; $\beta(p) = Z_0 / \left[Z_0 + Z_1(p)\right]$ – коефіцієнт передачі лінії з хвильовим опором Z_0; $K_1(p) = [Z_1(p) - Z_0]/[Z_0 + Z_1(p)]$, $K_2(p) = [Z_2(p) - Z_0]/[Z_0 + Z_2(p)]$ – коефіцієнти відбиття на початку і на кінці кабелю; $Z_1(p)$ – вихідний імпеданс джерела ВС; $Z_2(p)$ – імпеданс навантаження; $T = T_0 l$ – повна затримка сигналу у кабелі; T_0 – затримка, що зведена до одиниці довжини (погонна затримка); l – довжина кабелю. Так для радіочастотного коаксіального кабелю марки РК-50 із хвильовим опором $Z_0 = 50$ Ом погонна затримка складає $T_0 = 5$нс/м [4].

Для оцінки характеру спотворень при малих реактивних складових імпеданс джерела ВС і навантаження зручно представити активним опором $Z_1(p) = R_1$, $Z_2(p) = R_2$. Відповідно, коефіцієнти відбиття будуть $K_1 = [R_1 - Z_0] / [Z_0 + R_1]$, $K_2 = [R_2 - Z_0] / [Z_0 + R_2]$. Схема кола передачі ВС, що відповідає зазначеному випадку, наведена на рис. 1, де джерело ВС – генератор напруги $U_{\text{c}}(p)$ з внутрішнім опором R_1.

Розглянемо два суттєво відмінні режими передачі сигналу в лінії. Перший випадок, коли тривалість фронту ступінчастого ВС більше $2T_0 l$. Перевідбиття від зовнішніх неоднорідностей накладаються на фронт сигналу, що передається. При цьому форма встановлення напруги на навантаженні визначається багаторазовим накладенням на фронт сигналу фронтів перевідбитих хвиль, які щоразу приходять з затримкою $2T_0 l$.

Аналітично це можна описати таким чином. Уявімо, що фронт ВС є лінійним з тривалістю $t_{\text{ф}}$. Тоді його модель в операторній формі [2] буде мати вигляд

$U_{\text{с}}(p) = U_0[1/p^2 t_{\text{ф}}] \cdot (1 - e^{-t_{\text{ф}} p})$, де U_0 – номінальне значення напруги на вершині ВС. Для випадку, коли кількість перевідбитків, що накладається на фронт (відношення $t_{\text{ф}}/2T_0 l = n_0$) – ціле число, розв'язок (1) значно спроститься.

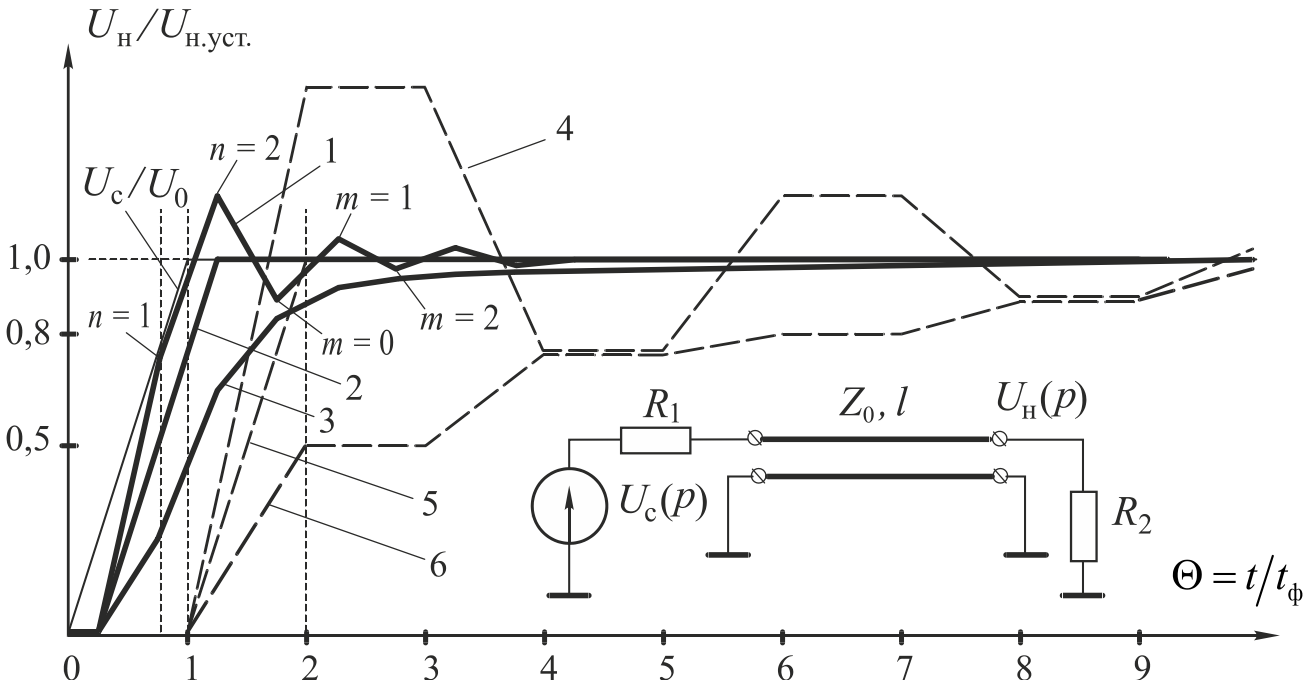

Рис. 1. Характер спотворень форми ступінчастого ВС у випадку, коли навантаження і вихідний імпеданс джерела сигналу активні

Перехідна напруга на навантаженні без урахування множника e^{-Tp}, який характеризує затримку в кабелі, для дискретних моментів часу $\Theta'_n = qn$, $n = 0,1,2,....$, де $q = 2T_0\, l/t_{\text{ф}}$; $\Theta' = t'/t_{\text{ф}}$ – відносний час на кінці кабелю без урахування затримки ($\Theta'_n = t'_n/t_{\text{ф}} = (2T_0\, l/t_{\text{ф}})n = qn$), яке зв'язано з часом на початку кабелю $\Theta = t/t_{\text{ф}}$ співвідношенням $\Theta = \Theta' + T_0 l/t_{\text{ф}}$, матиме вигляд:

$$U_{\text{í}}(\Theta'_n) = \begin{cases} \dfrac{U_0 \beta(1+K_2)}{(1-S)n_0} \cdot [n - \dfrac{S(1-S^n)}{1-S}],\ n = 0,1,\ ...,\ n_0; \\ \dfrac{U_0 \beta(1+K_2)}{(1-S)n_0} \cdot [n_0 - \dfrac{S^{m+2}(1-S^{n_0})}{1-S}],\ n = n_0 + m + 1;\ m = 0,1,2,... \end{cases} \quad (2)$$

де $S = K_1 \cdot K_2$; $\beta = Z_0/[Z_0 + R_1]$. Параметр S враховує відбиття на обох кінцях кабелю.

Стале значення напруги на навантаженні (при $m \to \infty$) дорівнює:

$$U_{\text{н, уст.}} = U_0\, \beta(1+K_2) \cdot \frac{1}{1-S} = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2}; \quad (3)$$

На рис. 1 суцільною тонкою лінією представлений нормований за рівнем сигнал джерела ВС $\bar{U}_{\text{с}}(\Theta)=U_{\text{с}}(\Theta)/U_0$, що передається. Суцільними жирними лініями 1÷3 показана нормована за рівнем відносно сталого значення перехідна напруга на навантаженні $\bar{U}_{\text{н}}(\Theta)=U_{\text{н}}(\Theta)/\,U_{\text{н, уст.}}$, яка має зсув відносно сигналу $U_{\text{с}}(\Theta)$, при різному $S=K_1{\cdot}K_2$ (відповідно для ліній 1, 2 і 3 значення S дорівнюють $-0{,}5;\,0;\,0{,}5$) та при співвідношенні $t_{\text{ф}}=4T_0\,l$ ($n_0=2$). Так для відрізка кабелю марки РК-50 довжиною $l=10$ см повна затримка $T=0{,}5$ нс і при тривалості фронту ВС $t_{\text{ф}}$ = 2 нс отримуємо, що $n_0=2$. Таким чином, відбувається суттєве затягування (на час, що набагато перевищує $t_{\text{ф}}$) процесу встановлення напруги на навантаженні (лінія 1), а при $S>0$ подовження наростаючої частини сигналу (лінія 3). Характер установлення (лінії 1 і 3) залежить від знака $S=K_1{\cdot}K_2$. Відносне відхилення напруги $\bar{U}_{\text{н}}(\Theta')$ за формою від моделі початкового ВС $\bar{U}_{\text{с}}(\Theta)$ (без урахування зсуву $\Theta=q/2$) має вигляд:

$$\delta\bar{U}_{\text{н}}(\Theta'_n)=\begin{cases} S\cdot\dfrac{1-S^n}{n_0(1-S)},\ n=0,1,...,n_0; \\ S^{m+2}\cdot\dfrac{1-S^{n_0}}{n_0(1-S)},\ n=n_0+m+1;\ m=0,1,2,\ldots. \end{cases} \tag{4}$$

Максимальне значення оцінка (4) приймає при $\Theta'_n=1$ і складе величину $\delta\bar{U}_{\text{í},\max}=S\cdot(1-S^{n_0})/n_0(1-S)$. Таким чином, при $2T_0\,l<t_{\text{ф}}$ за формою перехідного процесу важко виділити інформацію про неузгодженість навантаження з хвильовим опором кабелю.

Другий випадок, коли $2T_0\,l>t_{\text{ф}}$. Тоді фронти сигналу і відбитих хвиль рознесені в часі відносно один одного. Відбиті хвилі своїм фронтом накладаються на вершину ВС. При цьому встановлення напруги відбувається у вигляді окремих сходинок. Тому при аналізі процесу встановлення щодо рівня сходинок можна не враховувати фронт сигналу, що передається, і представити ВС більш простою моделлю $U_{\text{с}}(p)=U_0\cdot[1/p]$. Розв'язок (1) щодо рівня окремих сходинок без врахування зсуву буде мати вигляд:

$$U_{\text{н}}(\Theta'_n)=U_0\,\beta(1+K_2)\cdot\frac{1-S^n}{1-S}=U_{\text{н,уст.}}(1-S^n); \tag{5}$$

де $\Theta'_n=n2T_0l/t_{\text{ф}}$, $n=0,1,2,\ldots$. На рис. 1 пунктирними лініями 4÷6 показана нормована відносно $U_{\text{н.,уст.}}$ перехідна напруга на навантаженні $\bar{U}_{\text{н}}(\Theta)$, де $\Theta_n=\Theta'_n+T_0l/t_{\text{ф}}$, при $t_{\text{ф}}=T_0\,l$ (відрізок кабелю довжиною $l=40$ см, при цьому $T=2$ нс, фронт ВС $t_{\text{ф}}$ = 2 нс) і при різному $S=K_1K_2$ ((відповідно для ліній 4, 5 і 6

значення S дорівнюють $-0,5; 0; 0,5$). Спотворення ступінчастого ВС за формою оцінюється виразом:

$$\delta\bar{U}_{\text{í}}(\Theta'_n) = S^n; \qquad (6)$$

Максимальне значення оцінка (6) приймає при $n=1$ і складає величину $\delta\bar{U}_{\text{í},\max} = S$. Час установлення сигналу на навантаженні визначається переважно багаторазовими затримками відбитих хвиль в кабелі і при цьому практично не залежить від параметрів форми ВС. Так при довжині кабелю $l = 1$м (затримка $T =$ 5 нс) і при $S = 0,5$ (наприклад $K_1 = K_2 = 0,707$) час установлення постійного рівня вершини ступінчатого ВС з похибкою 10% дорівнює 33,2 нс.

Висновки. Основним фактором, що обумовлює спотворення форми ступінчастих випробувальних сигналів з фронтами нано- і субнаносекундного діапазону, є відбиття від зовнішніх дискретних неоднорідностей, що мають місце при неузгодженості навантаження за резистивною складовою і виникають при під'єднанні об'єктів з різним вхідним опором. При $2T_0\, l < t_{\text{ф}}$ форма перехідного процесу визначається багаторазовим накладенням на фронт сигналу, що передається, фронтів перевідбитих хвиль. При цьому важко виділити інформацію про неузгодженість навантаження з хвильовим опором кабелю. Кусково ступінчастий характер спотворень, який виникає при $2T_0\, l > t_{\text{ф}}$, дозволяє по відбиттям відносно легко виділити сигнал, що несе інформацію про неузгодженість. Тим самим дозволяє автоматично по відбитому сигналу настроювати опір на кінці кабелю за резистивною складовою.

Література

1. *Системы автоматизированного контроля радиоэлектронной аппаратуры / Володарский Е.Т., Губарь В.И., Никифоров Л.Л., Туз Ю.М. – К.: Техніка, 1983. – 151 с.*
2. *Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. – М.: "Энергия", 1972. – 816 с.*
3. *Чурин Ю.А. Переходные процессы в линиях связи быстродействующих схем ЭВМ. – М.: Сов радио, 1975. – 362 с.*
4. *Справочник по элементам радиоэлектронных устройств / Под ред. В.Н. Дулина, М.С. Жука. – М., «Энергия», 1977. – 576 с.*
5. *Глебович Г.В. Искажения наносекундных импульсов при прохождении по коаксиальному кабелю. – "Радиотехника", 1963, т. 18, № 10. – С. 54-62.*
6. *Глебович Г.В., Ковалев И.П. Широкополосные линии передачи импульсных сигналов. – М.: Сов радио, 1973. – 223 с.*
7. *Андриянов А.В, Захтаренко В.С., Чепурнов А.В. Методы автоматизированных измерений параметров цепей и трактов во временной области //Техника средств связи. Серия РИТ. – 1983. – Вып. 1. – С. 1-13 //Вып. 2. – С. 1-32.*
8. *Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов / Глебович Г.И., Андриянов А.В., Введенский Ю.В. и др. – М.; Радио и связь, 1984. – 256 с.*
9. *Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 816 с.*

УДК 621.3.087.4

НЕРОЗНА І.О., ДОБРОЛЮБОВА М.В.

ПІДСИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ БДЖОЛИНИХ ВУЛИКІВ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, e-mail: m.dobroliubova@kpi.ua

Постановка задачі. На сьогодні розвиток бджолиного промислу має стрімкий характер. Це зумовлено не тільки зростанням попиту на продукти бджільництва, а перш за все гострою потребою у якісному опиленні культурних рослин. Природне опилення рослин, тобто бджолою, збільшує врожайність сільськогосподарських культур на 50 - 60 % та усуває необхідність застосування пестицидів і створення гібридних рослин здатних до самозапилення [1].

Україна займає перше місце у світі за кількістю бджолярів (біля 700 тис. людей), і лише восьме місце за продуктивністю виготовлення меду (21,5 кг/рік на одну бджолину сім'ю) [2, 3]. На цей показник впливає багато біологічних особливостей бджолиної сім'ї, а саме границі температури, вологості, рівень вуглекислого газу в середині вулика, фон звуків, власне харчування, наявність води навколо вулика тощо [4]. На теперішній час усі фактори впливу контролюються самими бджолами та частково людиною. Це зменшує медпродуктивність бджолиної сім'ї та самовідтворення. У результаті отримуємо нерентабельність продукції. Отже, доволі актуальним фактором підвищення продуктивності виготовлення меду є автоматизація дистанційного контролю мікроклімату в середині вулика.

Мета статті. Розгляд матеріалів щодо створення підсистеми оперативного дистанційного моніторингу мікроклімату бджолиних вуликів.

Основна частина. Нормальна життєдіяльність бджоли перш за все залежить від мікроклімату вулика. Взимку температура в середині гнізда повинна становити не менше 25-28 °С. Затрати енергії бджоли на регулювання оптимального мікроклімату впливають на її зношення, майбутню малопродуктивність, швидкодію та якість розплоду. Важливим є і регулювання мікроклімату в спекотні дні літа – 90 % робочих бджіл займаються вентиляцією вулика та перетворюються у бджіл водоносів, це зменшує працездатність бджоли і, як наслідок, продуктивність сім'ї по медозбору. Бджоляр допомагає створити потрібні умови мікроклімату для комах, при цьому докладає багато своїх зусиль. Після втручання людини до бджолиного гнізда, сім'я отримує стрес та виходить з нього три доби [5].

На сьогоднішній день отримання кліматичних показників здійснюється цифровими термометрами та гігрометрами, на великих пасіках вимірювання йде

вибірково [6]. У результаті бджоляр володіє не точними даними загального стану бджіл усієї пасіки.

Для покращення умов життєдіяльності бджоли, її працездатності та підвищення виробництва меду пропонується автоматизація дистанційного контролю мікроклімату в середині вулика.

Розроблювана підсистема моніторингу мікроклімату вулика складається з двох частин: автономного пристрою, що вимірює потрібні показники та пристрою-ретранслятора, який отримує усі данні та відправляє їх на сервер через GSM модуль. Пристрої будуть зв'язуватись по бездротовому каналу зв'язку на частоті 433 МГц. Автономна частина матиме живлення від акумуляторів. Данні з сервера можуть бути отримані користувачем зручним йому запитом.

У сезон медозбору вулики розміщуються по периметру поля або саду на відстані 3-5 м один від одного. Доцільно збирати інформацію з кожного вулику на один головний (рис.1, вулик №3), який в свою чергу одночасно передає загальний стан усіх на сервер через радіосигнал.

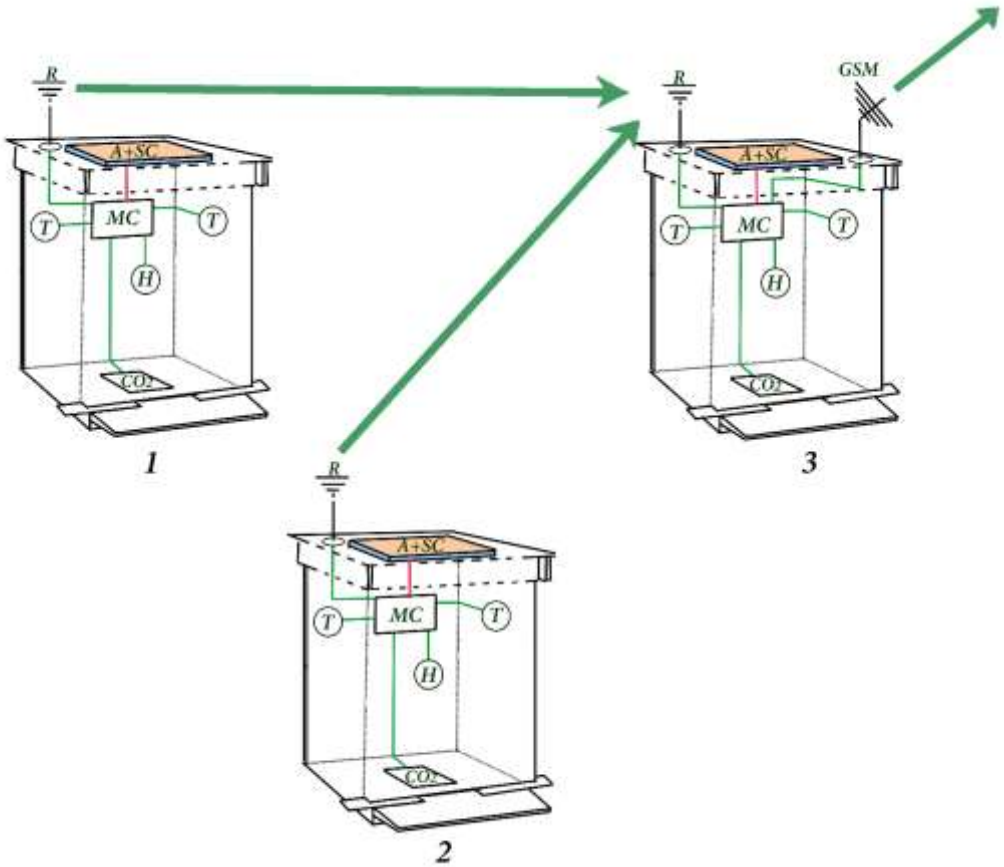

Рис.1. Структурна схема локальної мережі вуликів
(МС – мікроконтролер, Т – датчик температури, Н – датчик вологи, CO_2 – датчик вуглекислого газу, A+SC – аккумулятор та сонячна панель, R – радіо-передавач, GSM – GSM модуль)

На базі розроблюваної підсистеми оперативного дистанційного моніторингу мікроклімату бджолиних вуликів в подальшому буде створена система прийняття

рішень щодо регулювання мікроклімату (автоматизованого або мануального), яка контролюватиметься користувачем. Це дозволить бджолам уникнути стресу, тим самим не припиняти процес збору нектару та виготовлення меду.

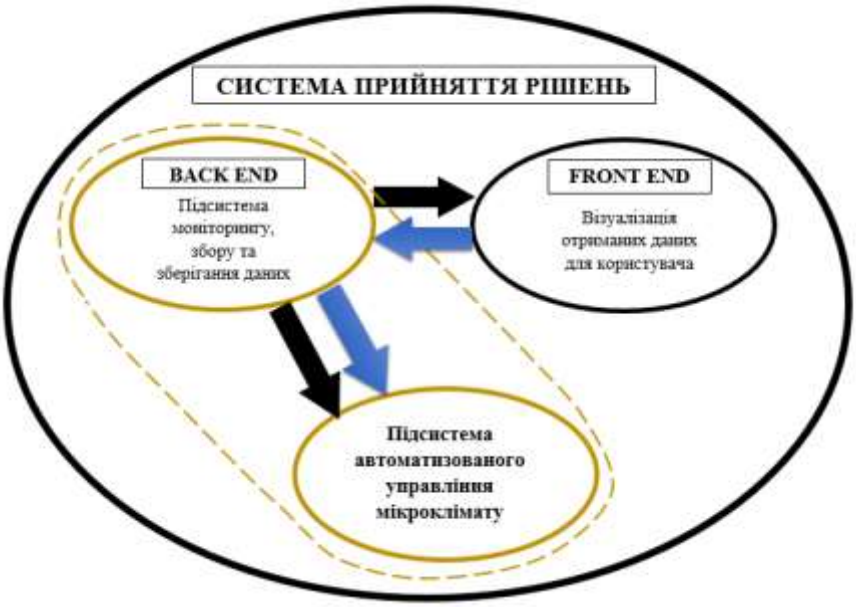

Рис. 2. Структурна схема системи прийняття рішень

Висновки. Розроблювана підсистема оперативного дистанційного моніторингу мікроклімату бджолиних вуликів та створення на її базі системи прийняття рішень щодо регулювання мікроклімату дозволить покращити умови життєдіяльності бджоли, її працездатність та підвищити виробництво меду. пропонується автоматизація дистанційного контролю мікроклімату в середині вулика.

Література

1. *Використання бджолиних сімей для запилення ентомофільних сільськогосподарських культур [Електронний ресурс] // StudFiles – Режим доступу: http://www.studfiles.ru/preview/5853221/ – Дата доступу: 15.05.17 – Використання бджолиних сімей для запилення ентомофільних сільськогосподарських культур.*

2. *Бджільництво_в_Україні [Електронний ресурс] // wikipedia – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki – Дата доступу: 15.05.17 – Бджільництво_в_Україні.*

3. *М.В. Кравченко Розвиток економічної ефективності бджільництва в ринкових умовах // Економіка. Управління. Інновації. – 2014. – Випуск № 2 (12). – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2014_2_34.*

4. *Іванова В.Д. Технологія виробництва продуктів бджільництва: курс лекцій / В.Д.Іванова. – Миколаїв: МДАУ, 2009. – 245 с.*

5. *Мирось В.В. Практикум з бджільництва / В.В. Мирось, С.Б. Ковтун. – Х. : ХНАУ,2014. – 192 с.*

Види і типи вуликів для бджіл: опис, фото і відео [Електронний ресурс] // Корисні поради на кожен день – Режим доступу: http://www.studfiles.ru/preview/585322 http://poradum.com/poradi-dlya-domu/gospodarstvo/vidi-i-tipi-vulikiv-dlya-bdzhil-opis-foto-i-video.html – Дата доступу: 14.05.17 – Види і типи вуликів для бджіл: опис, фото і відео.

УДК 681.3

ПАВЛЕНКО В.Р.

ОБМІН ДАНИМИ МІЖ КОМП'ЮТЕРОМ ТА ВИМІРЮВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ТА ІНТЕРФЕЙСУ RS232

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, e-mail: vladpv_096@ukr.net

Вступ. В процесі покриття порошковою фарбою металевих конструкцій важливо підтримувати температурний режим та час в камері полімеризації порошкової фарби. Наприклад, при об’ємі камери полімеризації більше 10 м3 виникає неоднорідність температурного поля всередині камери. Ця неоднорідність тим більша, чим більш неоднотипні вироби розміщено в камері як за конструкцією так і за вагою.

Вивчення температурного поля камери полімеризації порошкової фарби потребує розробки системи вимірювання температури в різних зонах камери полімеризації, де результати замірів в реальному часі повинні відображатися на рідкокристалічному дисплеї та з частотою 1/60 с передаватися на комп’ютер з синхронізацією виміряного значення кожного термодатчика до часу та дати проведених замірів. Отримана інформація дозволить прийняти технічне рішення щодо приведення температурного поля в камері до максимально рівномірного.

Постановка задачі. Розробити апаратно-програмне забезпечення обміну даними між персональним комп'ютером (ПК) та вимірювальним пристроєм на базі мікроконтролера (МК) та послідовного інтерфейсу RS-232.

На прилад покладається виконання таких функцій:

- заміри температури та передача виміряного значення в числовому вигляді для обробки;
- приведення формату отриманної інформації, необхідного для відображення на інформаційному дисплеї;
- порівняння виміряних значень зі значенням верхньої допустимої межі та інформування обслуговуючого персоналу в разі перевищення межі;
- передача значень вимірів та службової інформації на ПК;
- ведення ліку часу та дати.

Аналіз інтерфейсів. Набір сигналів, які передаються кабелем, технічне виконання, а також правила обміну інформацією між периферійним пристроєм та адаптером утворюють систему названу інтерфейсом периферійного пристрою. Інтерфейс буває логічним та фізичним.

Логічний інтерфейс – сукупність уніфікованих правил для організації зв'язків реалізованих між периферійним пристроєм та ПК для управління передачі даних.

Фізичний інтерфейс – це система зв'язків сигналів та алгоритмів обміну інформацією.

За способом передачі інформації інтерфейси підрозділяються на:

1. Паралельні – інтерфейс дозволяє передавати частину інформації по багатоканальній лінії. Це дозволяє підвищити швидкодію, але викликає апаратні витрати та виникає розгрупування інформації.
2. Послідовні – інформація передається тільки в одному напрямку, використовують одну сигнальну лінію, при цьому інформація передається послідовно (RS-232).
3. Синхронні – передавальний пристрій видає сигнали на свої лінії і підтримує їх протягом заздалегідь встановленого постійного інтервалу (інтервал синхронізації).
4. Асинхронні – синхронізація передавача і приймача здійснюється тільки на один цикл прийому чи передачі.

Для інтерфейсу, що з'єднує два пристрої, розрізняють три можливих режими обміну: дуплексний, напівдуплексний і симплексний.

Дуплексний режим дозволяє по одному каналу зв'язку одночасно передавати інформацію в обох напрямках.

Напівдуплексний режим дозволяє передавати інформацію "туди" і "назад" по черзі.

Симплексний (односторонній) режим передбачає тільки один напрямок передачі.

Поширеним застосуванням паралельного інтерфейсу – LPT-порт. Використовується для підключення принтера чи плотера.

На фізичному рівні послідовний інтерфейс має різні реалізації, що розрізняються способом передачі електричних сигналів. Існує ряд споріднених міжнародних стандартів: RS-232C, RS-423a, RS-422A і RS-485.

У перерахованих стандартах сигнал представляється як напруга. Існують послідовні інтерфейси, де інформативним сигналом є струм, що протікає по загальному ланцюжку передавач-приймач, це "струмова петля" та MIDI.

Найбільшого поширення отримав найпростіший з перерахованих – RS-232C, реалізований в COM-портах. У промисловій автоматиці широко застосовується RS-485 та RS-422A.

Цифровий інтерфейс музичних інструментів MIDI (Musical Instrument Digital Interface) є двонаправленим послідовним асинхронним інтерфейсом з частотою передачі 31,25 Кбіт / с.

В інтерфейсі застосовується струмова петля 10 мА (5 мА можливо) з гальванічною розв'язкою вхідного ланцюга.

Рекомендація V.24 містить опис ліній і набору сигналів обміну між пристороями. В RS-232 використовуються інші позначення ліній, однак лінії інтерфейсу RS-232 і рекомендації V.24 виконують абсолютно однакові функції. V.24 визначає більшу кількість ліній, ніж RS-232, оскільки стандарт V.24 використовується і в інших інтерфейсах.

Рекомендація V.28 визначає тільки електричні характеристики інтерфейсу V.24.

Рекомендація V.35 визначає синхронний інтерфейс для роботи з аналоговим широкосмуговим каналом з пропускною здатністю 60-108 кГц і швидкістю передачі до 48 Кбіт/с.

Рекомендація ITU-T X.21 визначає формат переданих символів, які представляються в коді МТК-5 (Міжнародний телеграфний код № 5).

COM-порти широко застосовуються для підключення різних периферійних і комунікаційних пристроїв, згідно з технологічним обладнанням, об'єктами управління і спостереження, програматорами і іншими пристроями по протоколу RS-232C.

В розробленому пристрої для передачі інформації від МК на ПК через інтерфейс RS-232 застосовано перетворювач ТТЛ – RS-232 рівнів на базі мікросхеми MAX232 компанії Maxim Integrated Products.

Відповідно до енциклопедії «Вікіпедія» МК (англ. microcontroller), або однокристальна мікроЕОМ – виконана у вигляді мікросхеми спеціалізована мікропроцесорна система, що включає МК, блоки пам'яті для збереження коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші).

Окрім цього МК - це пристрій, що слугує для автоматизації різних пристроїв та керування їх роботою. Логіка роботи МК будується у відповідності до програми, що записується в ньому та яку створив програміст. За задумкою, МК – це невеликий комп'ютер, який призначений для виконання нескладних задач.

Типова архітектура МК має систему синхронізації і керування, арифметично – логічний пристрій, регістри загального, пам’ять даних та пам’ять програми, порти, функціональні пристрої (таймери, аналого-числові перетворювачі, аналоговий компаратор, різні інтерфейси) і регістри для їх налаштування.

На сьогоднішній день існує багато фірм /корпорацій, що виробляють МК, ось основні з них: «Intel»; «Microchip Technology»; «Exas Instruments»; «Motorolla»; «Atmel»; «STMicroelectronics».

МК застосовують в побутовій техніці, медичних приборах, системах керування ліфтами, телефонах, раціях та інших засобах зв’язку, електронних музичних інструментах та автомагнітолах, комп’ютерній периферії (клавіатурі, джойстиках, принтерах і т.п.), світлофорах, автоматичних воротах і шлагбаумах, інтерактивних дитячих іграшках, автомобілях, локомотивах та літаках, роботах й промислових станках, а також в автомобільній електроніці.

Підбір МК виконувався за наступними критеріями: розрядність ядра, наявний склад периферійних пристроїв, доступність, наявність достатньої технічної документації, вартість, чисельність портів, характер передачі, можливість внутрішньо схемного програмування та налагодження, напруга живлення; частота тактування визначає скільки обчислень може бути виконано за одиницю часу.

Програмування МК здійснювалось в середовищі розробки CodeVisionAVR. CodeVisionAVR – це крос-компілятор Сі, інтегроване середовище розробки та автоматичний генератор коду програм (CodeWizardAVR), розроблені для сімейства AVR-мікроконтролерів фірми «Atmel».

МК застосовано фірми «Atmel» ATMega16. Він має всі необхідні для виконання поставленої задачі ресурси.

В якості температурних датчиків застосовано числові датчики температури ds18b20 компанії «Dallas Semiconductor». Діапазон вимірювання температури та точність в 0,5 С° достатня для проведення необхідного аналізу.

Лік часу та дати забезпечує мікросхема годинника реального часу ds1307 компанії «Dallas Semiconductor».

Оперативна інформація про значення виміряної температури всіх приєднаних до приладу датчиків циклічно відображається на дисплеї WH2002 компанії «WINSTAR».

Розробка компонентів системи. Структурна схема пристрою має наступний вигляд (рис. 1):

Рис. 1. Структурна схема пристрою

Виходячи з призначення пристрою та для правильного функціонування, алгоритм програми передбачає налаштування МК, рідкокристалічного дисплею, годинника реального часу, датчиків температури. Після завершення цих дій отримується неохідна інформація з енергонезалежної памяті. В нескінченному циклі виконується опитування датчиків температури, годинника реального часу та відображається отримана інформація на дисплеї. Один раз на хвилину ці дані передаються через COM-порт, використовуючи інтерфейс RS-232 в ПК. Окрім цього значення температури порівнюються зі значенням верхньої допустимої межі та при перевищенні її видається звуковий сигнал і також передається на ПК для фіксування аварійної ситуації з прив’язкою до часу та дати.

Розробка програми для МК. Розробка програми та прошивка для МК, зокрема: структура програми на мові С; Налаштування: інтерфейсу UART, рідкокристалічного дисплею WH2002, інтерфейсу TWI, годинника реального часу ds1307, програми збору даних з вимірювального пристрою за допомогою послідовного інтерфейсу RS-232.

Прилад має можливість налаштовувати час, дату, граничну межу допустимої температури.

Передана інформація на ПК зберігається в вигляді log-файла, що дозволяє проводити різноманітний аналіз.

Робоча програма МК написана на мові С в середовищі розробки CodeVisionAVR фірми «ATMEL».

Програмувався МК програматором USB ISP ASP. Для взаємодії програматора з МК при послідовному низьковольтному програмуванні використовується апаратний модуль SPI.

Макет системи. Макет системи обміну даними між ПК та вимірювальним пристроєм складається з наступних модулів: МК ATMega16 з блоком стабілізації живлення, кнопки RESET та джерело звукового сигналу (рис. 2), годинника реального часу на мікросхемі ds1307 та модуль для підключення датчиків температури ds18b20 (рис. 3), відображення інформації на базі рідкокристалічного дисплею WH2002 (рис. 4), перетворення рівнів сигналів від RS-232 (+-12В) до рівня транзисторно-транзисторної логіки (0В, +5В) на базі мікросхеми MAX232 (рис. 5), кнопок для зв'язку користувача з МК. Загальний вигляд пристрою наведено на рисунку 6.

Рис. 2. Модуль мікроконтролера

Рис. 3. Модуль годинника реального часу та модулі для датчиків температури

Рис. 4. Модуль перетворення рівнів сигналів

Рис. 5. Рідкокристалічний дисплей WH2002

Рис. 6. Загальний вигляд пристрою

Висновки. В роботі представлено: огляд існуючих інтерфейсів ПК та МК, конструкція, функціональна та принципова схеми, тип МК розробленої інформаційно-вимірювальної системи, розроблена прикладна програма взаємодії ПК та МК на основі послідовного інтерфейсу RS-232, механізм накопичення та зберігання отриманої інформації на ПК, діючий макет вимірювального пристрою, результати перевірки роботи макету та аналіз одержаних результатів.

В результаті виконано попереднє проектування системи вимірювання температури в різних зонах камери полімеризації, де результати замірів в реальному часі відображаються на рідкокристалічному дисплеї та з частотою 1/60 с передаються на комп'ютер з синхронізацією виміряного значення кожного термодатчика до часу та дати проведених замірів. Отримана інформація дозволить прийняти технічне рішення щодо приведення температурного поля в камері до максимально рівномірного.

Література

1. *Белов А. В. Микроконтроллеры АУК в радиолюбительской практике. - СПб.: Наука и Техника, 2007. - 352 с.*
2. *Мортон Дж. Микроконтроллеры АУЯ. Вводный курс. /Пер. с англ. - М.: Издат. дом «Додэка-XX1», 2006. - 272 с.: (Серия «Мировая электроника»).*
3. *Кузьминов А. Ю. Интерфейс (35232: Связь между компьютером и микроконтроллером: От DOS к WINDOWS98/XP. - М.: Издат. дом «ДМК-пресс», 2006. - 320 с.*
4. *Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров./ Сост. Ю.А. Шпак. - К.: "МК-Пресс", 2006. - 400 с.*
5. *Агуров П.В. Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования. - СПб.: БХВ-Петербург, 2004. - 496 с.*
6. *6.Кормен Т.,Рональд Р.,Клиффорд Ш. Алгоритмы:построение и анализ-М.: ООО "И.Д.Вильямс" ,2013.-1328 с.*
7. *7.Малюх В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. — М.: ДМК Пресс, 2010. — 192 с.*

УДК 681.3

ПРИТУЛА К.В.

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ USB ТА RS-485/ RS-232 ІНТЕРФЕЙСІВ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, e-mail jessyj985@gmail.com

Вступ. Актуальною проблемою в області інтегрованих комп'ютерних систем та технологій на сьогодні є проблема взаємодії різних пристроїв, що відрізняються: видом, призначенням, технологією виробництва, стандартами. Вирішується проблема шляхом застосуванням перетворювачів інтерфейсів, які дозволяють підключити пристрої (систем збору даних, реєстратори, контролери та ін.) з інтерфейсом RS-232/485 до послідовного COM-порту персонального комп'ютера (ПК) та забезпечити гальванічну розв’язку при передачі даних в умовах електромагнітних перешкод та на великі відстані.

Різні стандарти пристроїв передбачають передачу даних за різними технологіями. Уніфікувати протоколи та привести передані дані до єдиного вигляду за допомогою перетворювача інтерфейсів неможливо. Перетворювач повинен адаптувати дані різних протоколів так, щоб вони були прийняті і розшифровані з сторони пристрою та ПК. Підтримується така взаємодія прикладними програмами (ПП) та драйверами операційної системи (ОС).

Відомо, що сучасні ПК мають USB інтерфейс, який у багатьох випадках є єдиним комунікаційним інтерфейсом для підключення зовнішніх пристроїв. Зазначимо, що у більшості сучасних ПК відсутні COM (паралельний)/ LPT(послідовний) інтерфейс /порт. Така ситуація не дозволяє підключати до ПК прилади/ системи, які не мають USB, а мають COM/ LPT порт. В роботі розглядається питання адаптації USB та COM/ LPT інтерфейсів для коректного обміну даними між приладами та ПК.

Постановка задачі. Розробити універсальний перетворювач USB та RS-485/ RS-232 інтерфейсів (далі “УП_USB–RS”) для коректного обміну даними між приладами та ПК. УП_USB–RS повинен дозволяти збільшення кількісті портів ПК; при його підключенні та установки відповідних драйверів на ПК повинен з'являтися віртуальний COM-порт.

Аналіз інтерфейсів. Інтерфейс стандарту EIA RS_232C призначений для послідовного зв'язку двох пристроїв, в тому числі використовується для підключенням зовнішніх пристрої до ПК. В RS232C використовуються «несиметричні» передавачі та приймачі, при цьому передача даних здійснюється за допомогою «несиметричного» сигналу по двох лініях – лінії даних, які передані ПК в послідовному коді (TxD) та лінії прийому (RxD). Амплітуда сигналу вимірюється відносно лінії GND («нуля/землі»).

RS-232 – це інтерфейс передачі даних між двома пристроями на відстані до 20 м. Інформація передається по кабелю з рівнями сигналів, що відрізняються від стандартних 5 В, для забезпечення більшої стійкості до перешкод. Асинхронна передача даних здійснюється з встановленою швидкістю при синхронізації рівнем сигналу стартового імпульсу. Інтерфейс RS-232-C ("Інтерфейс між термінальним і зв'язковим обладнанням з обміном через послідовний двійковий код") – це інтерфейс простого застосування між терміналом (DTE) і модемом (DCE) з передачею послідовних даних.

Протокол зв'язку RS-485 широко використовується як промисловий стандарт з двонаправленою збалансованою лінією передачі. Протокол підтримує багатоточкові сполуки, забезпечуючи створення мереж з кількістю вузлів до 32 і передачу на відстань до 1200 м. Є можливість збільшення відстані передачі ще на 1200 м або додати ще 32 вузла. Стандарт RS-485 підтримує напівдуплексний зв'язок.

Інтерфейс RS485 - це один з найбільш поширених стандартів фізичного рівня зв'язку. Фізичний рівень – це канал зв'язку та спосіб передачі сигналу.

Версія першого USB (Universal Serial Bus - універсальна послідовна шина) з'явилася 15.01.1996 року. Розробка була ініційована фірмами Intel, DEC, IBM, NEC, Northen Telecom і Compaq.

Стандарт було створення для реалізації режиму Plug&Play для зовнішніх пристроїв ПК, який передбачає їх підключення до працюючого ПК, автоматичне розпізнавання та установка драйверів. Також дозволяє подавати живлення до малопотужних пристроїв. Швидкість шини достатня для переважної більшості периферійних пристроїв. Попутно вирішена проблема обмеженості ресурсів на внутрішніх шинах ПК - контролер USB займає тільки одне переривання незалежно від кількості підключених до шини пристроїв.

Розробка УП_USB–RS. Перетворювач працює як адаптер, що узгоджує сигнали інтерфейсів RS-232 /485, USB та може використовуватися як перехідник: USB-RS232, USB-RS485, RS232-RS485. Дозволяє підключати до 256 пристроїв з інтерфейсом RS485 до інтерфейсу RS232 /USB. Перетворювач підтримує напівдуплексний режим обміну в 8-ми бітовому форматі передачі даних. Напрямок передачі визначається автоматично й не вимагає додаткових сигналів управління. Передані дані транслюються одночасно в два інтерфейси: USB -> (RS-232, RS485), RS-485 -> (USB, RS-232), RS-232 -> (RS-485, USB). Порт RS485 має гальванічну ізоляцію від RS232 і USB. Порти USB і RS232 не ізольовані між собою. На роз'єм RS485 виведена напруга живлення інтерфейсу +5 (0.1 А, ізоляція 1000 В). Цю напругу можна використати для живлення інтерфейсу зовнішнього пристрою. Адаптери оснащені повним інтерфейсом RS-232 зі стандартним розташуванням сигналів.

Функціональна схема УП_USB–RS представлена на рис. 1.

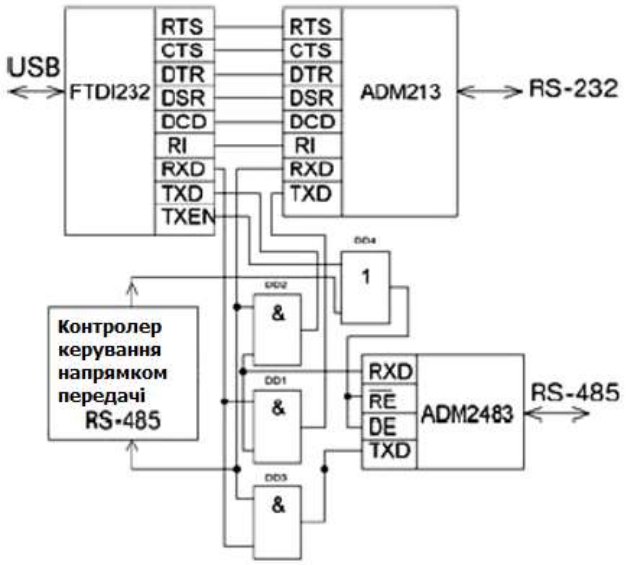

Рис. 1. Функціональна схема УП_USB–RS

Драйвери інтерфейсів включені так, що прийняті дані RXD (дані, що приймаються ПК в послідовному коді) від будь-якого входу надходять на два інших виходи за рахунок логічних елементів «2І». Це дозволяє використовувати перетворювач для обміну даними в будь-якому напрямку без застосування комутаторів. Крім того, можна одночасно працювати від USB з пристроями RS-232 і RS-485, якщо вони підтримують протокол з адресою пристрою.

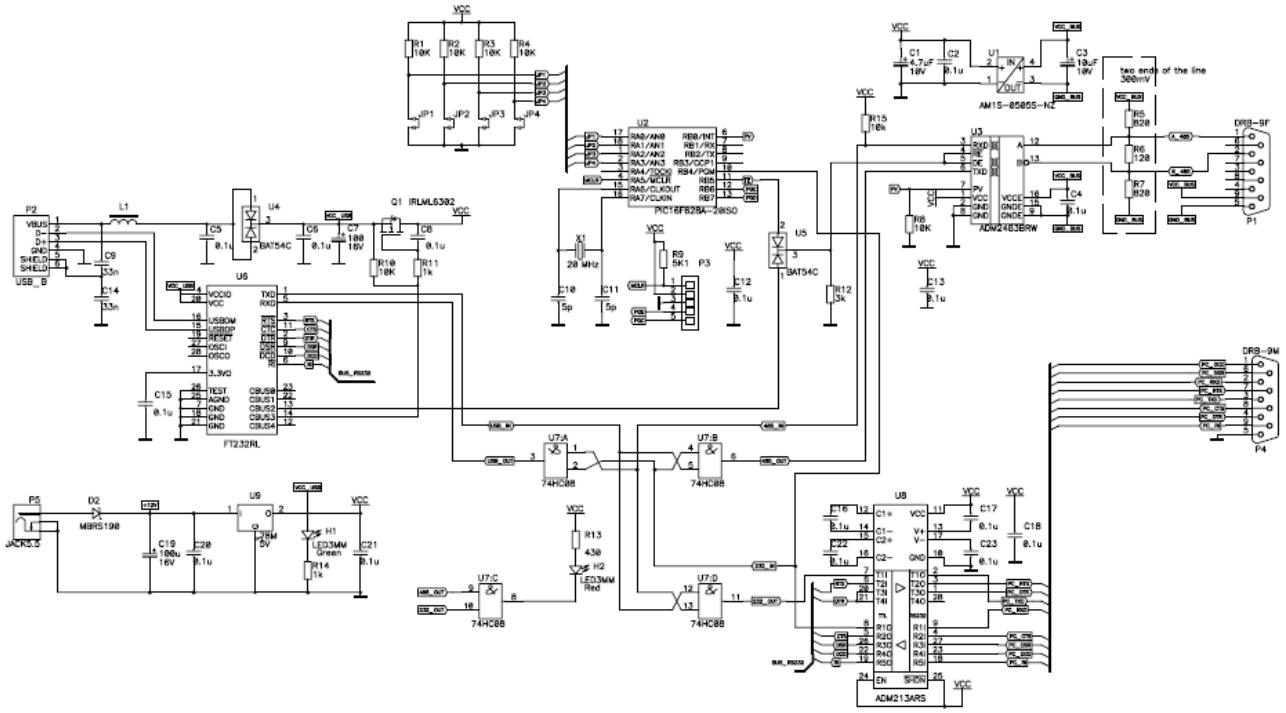

Рис. 2. Електрична схема УП_USB–RS

Електрична схема УП_USB–RS приведена на рис. 2. Як USB-контролер застосований FT232RL, який має мінімум обв'язки і дозволяє програмно реалізувати віртуальний COM-порт (при установці драйвера). Ця мікросхема є високо інтегрованим перехідником USB - COM, яка дозволяє, використовуючи мінімум зовнішніх компонентів (роз'єм і пасивні компоненти), організувати послідовний обмін даними між зовнішнім пристроєм на мікроконтролері (МК) та ПК через шину USB. Порівняно з попередніми версіями мікросхеми у FT232R на кристал інтегровані: тактовий генератор, незалежна пам'ять EEPROM, частина зовнішніх пасивних компонентів. Мікросхема може працювати в режимі послідовного обміну та в режимі bit-bang.

Інтерфейс RS-232 реалізований на мікросхемі ADM213. Мікросхема ADM213 має режим відключення з низьким енергоспоживанням, в якому потужність, яка розсіюється, скорочується до рівня менш 5 мкВ. ADM213 має активний низький сигнал відключення та активний низький сигнал дозволу приймача. В режимі відключення два з приймачів ADM213 залишаються активними. Ця особливість корисна для контролю індикатора виклику.

В інтерфейсі RS-485 застосована мікросхема ADM2483, що реалізує надійну трансформаторну гальванічну розв'язку з електричною міцністю ізоляції 2,5 кВ та дозволяє передати дані зі швидкістю RS485 /232 та USB до 500 Кбод.

Частина функцій адаптера реалізована програмно на МК PIC16F628A. Багато чим хороший цей невеликий та дешевий МК, з нескладними математичними обчисленнями, здатний здійснювати введення-виведення сигналів з великою швидкістю, що володіють низьким споживанням та розвиненою периферією. PIC-контролер обладнаний внутрішніми схемами скидання по живленню і сторожовими таймерами, має можливість програмування в середині схеми. PIC-контролер випускаються як у великих, так і малих корпусах та має невелику вартість. Більшість корисних якостей PIC-контролеру зосереджено в 3-х словах: CMOS, RISC, Harvard. Сучасна CMOS технологія дозволяє випускати МК, що працюють на частотах до 40 МГц. Струм, який залежить від частоти, складає одиниці мА для частот 1-10 МГц, і десяток мкА для більш низьких частот, а перехід в режим SLEEP доводить споживання до одиниць мкА. При цьому завдяки RISC системі команд та Гарвардській архітектурі швидкодія навіть на низьких частотах залишається досить великою – потрібно всього 4 такти на одну команду (8 для команд переходів).

Алгоритм роботи УП_USB–RS (див. блок-схему на рис. 3).

УП_USB–RS дозволяє працювати в двох режимах обміну даними: автоматичне визначення швидкості та робота з фіксованими швидкостями. У режимі роботи з фіксованими швидкостями необхідно встановити перемички адаптера у відповідності зі швидкістю обміну від 50 до 115200 бод/с (кількість біт, переданих в секунду).

Під час відсутності передачі даних з боку RS232 перетворювач працює на прийом з лінії RS485. Перетворювач займає лінію RS485 тільки на час передачі

від RS232. Зазначимо про те, що перетворювач звільняє лінію не відразу після закінчення передачі посилки даних.

Автоматичний режим встановлений за замовчуванням і дозволяє працювати в діапазоні від 50 до 115200 бод/с. У цьому режимі всі перемички повинні бути переведені в неактивний стан (розімкнуті /видалені).

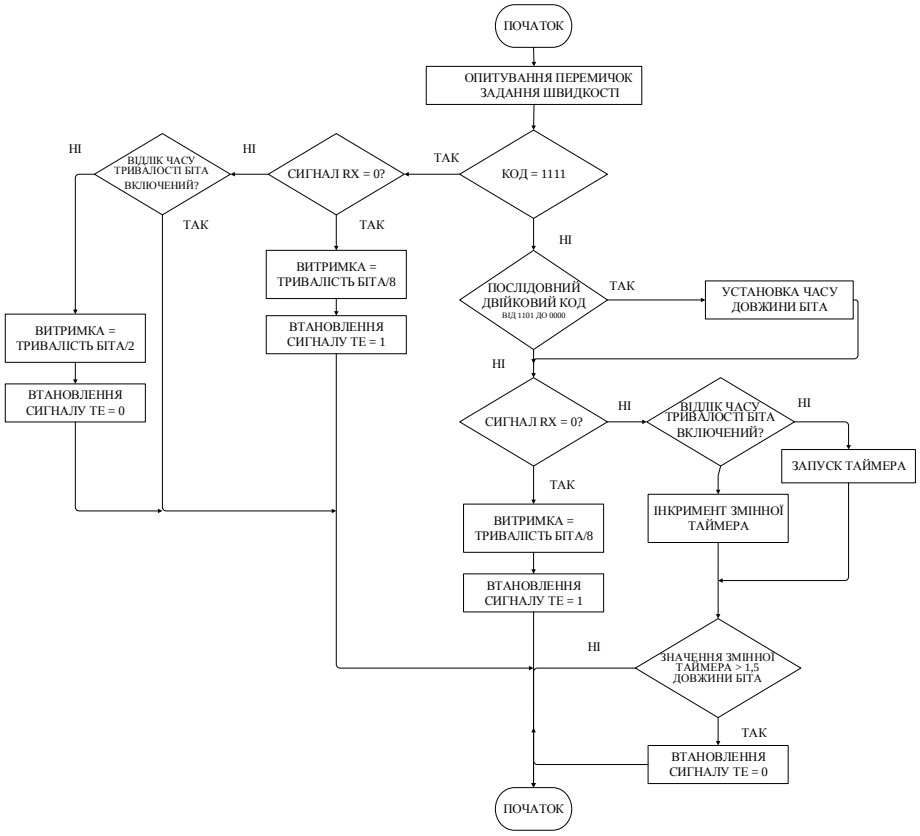

Рис. 3. Блок-схема алгоритму роботи пристрою

Під час обміну даними між RS232 і USB швидкість обміну даними визначається настроюванням зовнішніх пристроїв, підключених до RS232 та USB. Розташування перемичок адаптера не впливає на швидкість обміну даними. А максимальна швидкість обміну приблизно 120 кб/с.

Під час обміну даними між RS485 і USB швидкість обміну даними визначається настроюванням зовнішніх пристроїв, підключених до RS485 і USB. Розташування перемичок адаптера не впливає на швидкість обміну даними. Максимальна швидкість обміну - до 500 кб/с.

Розрахунок параметрів. Параметри розраховані для максимальної швидкості передачі 115200 бод/с.

Визначаємо тривалість передачі одного біта: $t_{1b} = \frac{1}{V_{baud}}$, де V_{baud} – це швидкість передачі даних. Тоді, $t_{1b} = \frac{1}{115200} = 0{,}0000086$ с. Час затримки (T1) між зрізом старт-біта і фронтом сигналу включення драйвера RS485 на

передачу: $T1 = \frac{t_{1b}}{6}$, де затримку формуємо як 1/6 від тривалості передачі одного біта $T1 = \frac{0{,}0000086}{6} \cong 1{,}5$ мкс

Час, що дорівнює половині тривалості біта на обраній швидкості (T2, T3) (вимірюється з моменту закінчення стоп-біта останнього переданого байта в пакеті): $T2 = T3 = \frac{t_{1b}}{2}$. Тоді $T2 = \frac{0{,}0000086}{2} \cong 5$ мкс.

Час t1 вибрано як найменший можливий час передачі одного біта, що дозволяє швидко перезарядити всі ємності на лінії RS-485 і забезпечити однакову крутизну фронтів при переході лінії в «0» та «1». $t1 = \frac{t_{1b}}{8}$; $t1 = \frac{0.0000086}{8} = 0.00000104$ с.

Для відліку часових інтервалів скористаємося таймером лічильником (TMR0). Спочатку треба налаштувати переддільник TMR0, що б отримати час відліку кожного імпульсу в TMR0. $\frac{\text{Кп}}{fck} = T_{0i}$, де: T_{0i} - час відліку кожного імпульсу в TMR0 (сек), Кп - коефіцієнт ділення попереднього дільника частоти (переддільника), f_{ck} – частота системної синхронізації, Гц. $\frac{8}{20000000} = 0{,}0000004$ с.

Розрахунок кількості імпульсів відліку TMR0 необхідний для формування тимчасових інтервалів: $k_{iT1} = \frac{T1}{T_{0i}}$, $\frac{0.0000015}{0.0000004} = 3.75 \cong 4$; $k_{iT2} = \frac{T2}{T_{0i}}$, $\frac{0.000005}{0.0000004} = 80$; $k_{it1} = \frac{t1}{T_{0i}}$, $\frac{0.00000104}{0.0000004} = 2.6 \cong 3$; так як TMR0 є 16-и розрядним, то він переповнюється коли рахунок досягає 65025. Зробимо перевірку таймера на предмет переповнення при підрахунку найтривалішого інтервалу за часом (при швидкості 50 бод/с): $t_{1b} = \frac{1}{50} = 0.02$ с, $T2 = \frac{0.02}{2} = 0.01$ с; $K_{iT2} = \frac{0.01}{0.0000004} = 25000$.

В результаті одержуємо, що переповнення таймера лічильника не настане навіть при відліку найдовшого інтервалу по часу (при швидкості 50 бод/ с).

Висновок. Показано, що у більшості сучасних ПК відсутні COM/ LPT інтерфейс /порт. Така ситуація не дозволяє підключати до ПК прилади/ системи, які не мають USB, а мають COM/ LPT порт. Розглядається питання адаптації USB та COM/ LPT інтерфейсів для коректного обміну даними між приладами та ПК. Розроблений універсальний перетворювач інтерфейсів USB та RS-485/ RS-232. Виділена ключова проблема – розробка логічного та фізичного рівнів універсальний перетворювача.

Література

1. *Перетворювачі інтерфейсу USB на мікросхемах FT8U232AM, FT8U245AM // А. Лисенко, Р. Назмутдинов, І. Малигін - М .: Журнал «Радіо» №№ 6, 7, 2002 р.*
2. *Сполучення ПК із зовнішніми пристроями// Пий Ан. пер.з англ. - М.:, ДМК Пресс, 2001. - 320 с.*
3. *Мистецтво схемотехніки. Том III, видання 4е // П.Хоровіц, У.Хілл, пер.з англ. - М.: "СВІТ", 367с. - 1993.*

УДК 621.3

ШЕВКУН М.С.

ПОВІРОЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СИСТЕМ ОБЛІКУ КІЛЬКОСТІ ІНФОРМІЦІЇ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, e-mail: 19macks@ukr.net

Постановка задачі. Одними із найважливіших та пріоритетних напрямків соціально-економічного розвитку держави є інноваційний розвиток галузі зв’язку і впровадження провідних сучасних технологій у створення і вдосконалення засобів телекомунікацій. Сталий розвиток інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури є основною передумовою для підвищення конкурентоспроможності економіки та інтеграції України у глобальне інформаційне суспільство, дає можливість поліпшити умови і якість життя людини за рахунок доступу до національних та світових інформаційних ресурсів. На сучасному ринку телекомунікаційних послуг, де попит досяг певного насичення, основна увага операторів зв’язку спрямована на розширення переліку послуг та підвищення їх якості. Однією з найбільш вагомих послуг останнього часу є доступ до ресурсів мережі Інтернет, а саме: операції з цінними паперами, купівля товарів, платежі за рахунками різного типу, навігація і пошук об'єктів на місцевості тощо. При наданні послуг операторами зв’язку здійснюється облік обсягу послуг з метою їх тарифікації (за тривалістю зв’язку, за обсягом прийнятої та/або переданої інформації; без обмеження обсягу даних з обмеженням за швидкістю передачі) і визначення абонентської системи оплати. Так, відповідно до постанов Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці» та «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки», системи вімірювання тривалості телефонних розмов (СВТТР) та системи обліку кількості інформації (СОКІ) входять до законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки і підлягають оцінці відповідності та періодичній повірці, тому розробка повірочних комплексів для СОКІ та СВТТР є актуальним завданням [1, 2].

Мета статті. Розробка основних положень щодо створення повірочного комплексу для систем обліку кількості інформації.

Основна частина. На теперішній час повірочні комплекси для систем обліку кількості інформації в більшості працюють в ручному або напівавтоматичному режимах. Автоматизовані ж комплекси розробляються тільки за кордоном, мають надлишковий функціонал та достатньо високу вартість.

Тому в ході досліджень було прийнято рішення створити автоматизований повірочний комплекс для систем обліку кількості інформації на базі модуля Arduino UNO [3], персонального комп'ютера (ПК) та GSM GPRS модуля.

Розроблений комплекс дозволяє, по-перше, знизити вартість та підвищити продуктивність повірки, а по-друге, знизити імовірність помилок персоналу, який здійснює повірку.

Заощадження коштів відбувається через те, що аналоги, які вже є на ринку, мають велику кількість надлишкових функцій, якими рідко або взагалі не користуються. Заощадження часу досягається можливістю запуску одразу всієї автоматизованої програми повірки: за допомогою ПК через розроблений інтерфейс повірник вказує дані повірки і через визначений час отримує кінцевий результат. Ця технологія сприяє також зниженню ймовірності помилок повірника, оскільки в аналогічних системах необхідно кожного разу вручну підключати модем, завантажувати файл та відключати модем.

Повірочний комплекс побудований на базі модуля Arduino UNO [4, 5]. До складу комплексу входять два GSM GPRS модуля A6 [6], які є аналогами мобільних телефонів/модемів. Один GSM GPRS модуль задіяний у процедурі повірки систем обліку кількості інформації, іншій – систем вімірювання тривалості телефонних розмов.

Особливістю повірочного комплексу є можливість одночасного дослідження процесу пакетної передачі даних та вимірювання часу передачі даних з метою моніторингу і контролю обліку кількості інформації під час надання телекомунікаційних послуг. При цьому досліджуються величини різної природи: тривалість (години, хвилини, секунди) та об'єм інформації (біт).

Структурна схема повірочного комплексу для систем обліку кількості інформації приведена на рисунку 1.

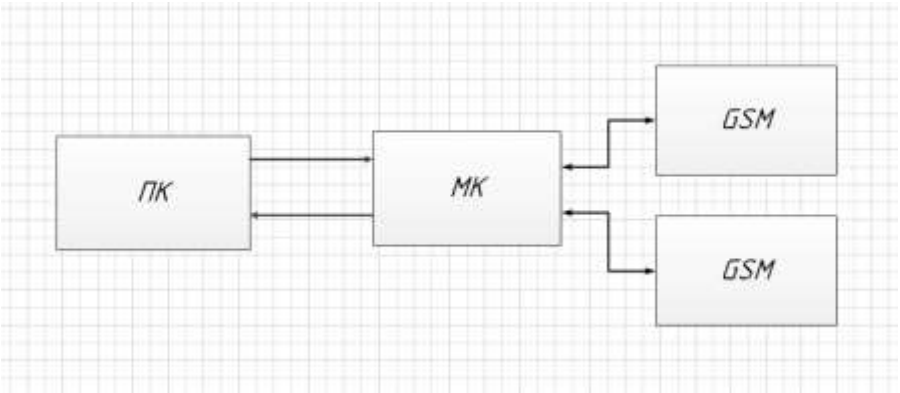

Рис. 1. Структурна схема повірочного комплексу для систем обліку кількості інформації

Розглянемо принцип роботи розробленого комплексу. При повірці системи обліку кількості інформації, згідно методики повірки [7], оператор, через інтерфейс користувача задає посилання, за яким знаходиться файл заданого розміру в байтах і кількість його завантажень. При цьому файлів може бути

декілька. Ці дані передаються через канал зв'язку в мікроконтролер, який використовується в якості GSM модему та за допомогою АТ-команд управління GSM модулем підключається до Інтернету. Після встановлення Інтернет-з'єднання за посиланням завантажується файл і передається на комп'ютер, оскільки об'єм пам'яті мікроконтролера на платі Arduino не дозволяє зберігати великі масиви даних. Як тільки файл завантажено, мікроконтролер повинен відключити Інтернет з'єднання, при наступному завантаженні він знову підключається, завантажує і відключається. Це потрібно для того, щоб розділити сесії, за якими мобільний оператор надає дані, оскільки підключений до Інтернету модем забезпечує єдину сесію і дані кількості байт підсумуються. Задача ж полягає у повірці за відповідними розмірами еталонних файлів, тобто для кожного файлу буде створюватися окрема сесія. У протоколі фіксується час початку та кінця сесії і розмір файлу, який завантажується. Після закінчення повірки, повірник робить запит даних про сесію у мобільного оператора і розраховує похибку часу та обсягу даних.

Сполучення повірочного комплексу з комп'ютером надає можливість швидко отримувати, обробляти та зберігати для подальшого використання великі потоки інформації.

Висновки. Новизна та особливість створеного повірочного комплексу для систем обліку кількості інформації полягає у наданні можливості заощаджувати кошти, час та знизити ймовірність помилок, яких може припуститися повірник під час роботи. Впровадження даного комплексу є особливо актуальним для метрологічних органів та метрологічних центрів.

Література

1. *Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці». – від 04.05.2015. – № 374. – 7 стор.*
2. *Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки». – від 13.01.2016. – № 94. – 56 стор.*
3. *Dipti B. Fuzzy control based solar tracker using Arduino Uno / B. Dipti, C. Y. Patil. // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). – 2013. – №12. – С. 179–187.*
4. *What is Arduino? [Електронний ресурс] // Arduino Documentation. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: web.csulb.edu/~hill/.../02%20Intro%20to%20Arduino.pdf.*
5. *Datasheet Arduino UNO // – Режим доступу: http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=ARDUINO%20UNO.html – Дата доступу: 28.06.17 – Datasheet GSM GPRS A6.*
6. *Datasheet GSM GPRS A6 // – Режим доступу: http://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=GSM/GPRS%20%20A6.html – Дата доступу: 28.06.17 – Datasheet GSM GPRS A6.*
7. *Інструкція. Метрологія. Системи Обліку кількості інформації. Методика повірки // Державне підприємство «Всеукраїнський Державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» ДП «Укрметртестстандарт». – 2015. - МПУ 455/09-2015.*