

В. В. СЕБКО, д-р. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ";

Ю. Л. ЛИТВИНОВА, магистр, НТУ "ХПИ";

К. И. ЛЯШЕНКО, магистр, НТУ "ХПИ"

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОБЫ ПИЩЕВОГО КРАСИТЕЛЯ ЗА СЧЁТ РЕАЛИЗАЦИИ МНОГОПАРАМЕТРОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Исследован бесконтактный двухпараметровый вихретоковый метод применительно к контролю электрических и температурных параметров пробы пищевого красителя. Получены численные значения контролируемых параметров.

Ключевые слова. Качество, совместный контроль, тепловой преобразователь, точность измерений, температура, удельная электропроводность, погрешности измерений, метод, сигнал, достоверность контроля.

Введение. В настоящее время пищевые красители широко используются во всех отраслях пищевой промышленности. Специальными государственными нормативными документами установлены допустимые уровни их содержания, как при производстве пищевых продуктов, так и кулинарных блюд. Одним из основных параметров характеризующих качество пищевых красителей как искусственных, так и натуральных является температура [1-3]. Как известно, при нагреве и охлаждении многие натуральные и искусственные красители теряют свои свойства, снижая тем самым показатели безопасности, эстетические и органолептические показатели качества пищевой продукции, а также показатели стандартизации и унификации [1-3].

Следует отметить, что изменение характеристик пищевых красителей, особенно искусственных, может нанести вред здоровью потребителей. Таким образом, измерительный контроль температуры, в данном случае, создает предпосылки для управления качеством в заданных диапазонах и в определенные установленные государственными нормативными документами сроки [1-3]. Устройства и первичные преобразователи, которые используются для измерительного контроля температуры в настоящее время, это, как правило, dilatометрические и контактные тепловые устройства. При этом, как известно, жидкая термометрия основана на тепловом расширении жидкости [4]. Вследствие различия теплового расширения жидкости и кварцевого резервуара (в который она заключена) при изменении температуры, изменяется длина столбика, находящегося в капилляре. Температуру определяют по положению мениска относительно шкалы [4].

Принцип действия тепловых контактных термометров сопротивления основан на зависимости электрического сопротивления R чувствительного элемента (тонкой металлической проволоки, чувствительного элемента, выполненного из полупроводникового материала) от температуры t . Передача измерительной информации от термометров сопротивления осуществляется с помощью автоматических электронных мостов (высокого класса точности), измеряющих изменение электрического сопротивления термометра R при изменении температуры t контролируемой среды [4].

Термоэлектрический метод измерения температуры t , основан на определенной зависимости между термо-ЭДС, устанавливающейся в цепи, состоящей из разнородных проводников, и температурами мест их соединений [4]. Для измерения

термо-ЭДС в комплекте с термоэлектрическими термометрами в качестве вторичных приборов применяются, как правило, автоматические потенциометры для непрерывного измерения, записи и регулирования температуры [4].

В данной статье предлагается повысить точность измерений температуры проб контролируемых жидких пищевых красителей, путем использования бесконтактных вихретоковых методов контроля температуры, и вихретокового преобразователя трансформаторного типа (ТВП), который на выходе позволяет получить измерительную информацию в виде электрических сигналов: ЭДС ТВП и угла сдвига фаз [5-8]. Полученную измерительную информацию можно передавать на расстояние, измерять с высокой точностью, подавать на вход ПК (в том числе и при автоматизации процесса измерений). Следует отметить, что измерительный контроль температуры пищевых красителей имеет очень важное самостоятельное значение, особенно при хранении, транспортировке и эксплуатации красителей, так как дает возможность судить об их свойствах в целом [1-3]. Современная промышленность позволяет выпускать натуральные и искусственные пищевые красители, которые придают продуктам питания определенный цвет, а также восстанавливают цвет продукта, утраченный после обработки [1-3]. Так, например, одним из самых распространенных антиоксидантов и пищевых красителей для мясных и колбасных изделий, мороженого, джемов, десертов, желе является пищевой краситель бетанин [1-3]. В настоящей статье предлагается совместное определение удельной электрической проводимости σ_t (или удельного электрического сопротивления ρ_t) и температуры t образца пищевого красителя с помощью бесконтактного вихретокового метода, который реализуется на базе теплового ТВП, использующего продольное поле.

При этом, получение первичной информации в виде электрических сигналов, отсутствие контакта с объектом контроля (ОК) и высокая производительность, определяют широкие возможности контроля температурных параметров немагнитных жидкостей бесконтактными вихретоковыми преобразователями и методами на базе которых они реализуются [5-8]. Следует отметить, что по типу преобразования параметров ОК, в выходной сигнал вихретоковые преобразователи классифицируют как параметрические (ПВП) (имеющие одну обмотку, осуществляющую одновременно и намагничивающую и измерительные функции) и трансформаторные (ТВП) (имеющие две обмотки, при этом первичная обмотка служит для создания электромагнитного поля, а следовательно, вихревых токов в ОК, а другая – измерительная для измерения ЭДС, наводимой в ней результирующим магнитным потоком, проходящим внутри этой катушки [5]. Амплитуда и фаза ЭДС во вторичной измерительной катушке будут зависеть от параметров ОК [5]. При этом катушки вихретоковых преобразователей помещают в предохранительный корпус, они устойчивы к механическим и атмосферным воздействиям и представляют собой весьма надежные первичные преобразователи [5-8]. Следует отметить, что использование ПВП при измерительном контроле температуры проб жидкостей [9, 10], затруднено из-за сложности универсальных функций преобразования, температурной погрешности, вызванной изменением сопротивления обмотки ПВП и влиянием на результаты измерений параметров ОК [10]. Поэтому в дальнейшем для измерения температуры проб контролируемых пищевых красителей целесообразно использовать ТВП.

В данном случае контролируемый образец пищевого красителя (бетанина),

используемый в схеме включения теплового ТВП, представлен в виде пробы натурального свекольного сока, помещенного в стеклянную кварцевую трубку. Во время такого измерительного контроля рекомендуется имитировать нагрев пробы непосредственно в первичном ТВП, а затем оценить уровень качества пробы пищевого красителя, сравнив коррелирующие параметры образца до и после нагрева. До настоящего времени практически не известно использование теории работы теплового ТВП и вихретоковых методов на базе, которого они реализуются применительно к контролю пищевой продукции и пищевых добавок. При этом трудности, как правило, возникали из-за отсутствия необходимого математического аппарата, универсальных функций преобразования, сложности контроля проб пищевых продуктов, алгоритмов вычислительных и расчетных процедур, а также сложности определения температурного коэффициента сопротивления (ТКС) α . В то же время дилатометрические и контактные методы и устройства обладают низкой точностью измерений и достоверностью контроля температуры [7, 8].

Одним из распространенных методов контроля пищевых красителей является "Метод определения удельной электрической проводимости водной вытяжки" [1]. При этом для определения удельной электрической проводимости σ используют кондуктометрические датчики погружного типа, т.е. сначала определяют электрическое сопротивление R , а затем на основании известного соотношения (косвенные измерения) находят σ [1–4]. Следует отметить, что данный метод обладает весьма не высокой точностью.

С точки зрения авторов, при оценке уровня качества пищевых продуктов и пищевых красителей возникает важная проблема разработки многопараметровых методов и реализующих их устройств для повышения точности определения показателей качества пищевой продукции, а также разработки новых методик оценки уровня качества на основе совместного многопараметрового измерительного контроля коррелирующих параметров, которые являются важными характеристиками ОК и указаны в нормативных документах.

Таким образом, **целью работы** является исследование бесконтактного вихретокового метода контроля электрических и температурных параметров пробы пищевого красителя на базе теплового вихретокового преобразователя (ТВП). Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать алгоритм совместного определения электрических и температурных параметров пробы пищевого красителя с помощью теплового ТВП.
2. Привести основные соотношения, описывающие данный метод.

Исследование возможности применения теории работы теплового ТВП для измерительного контроля электрических и температурных параметров проб пищевых красителей.

Как отмечено выше, «полезный» сигнал трансформаторных вихретоковых датчиков, это, как правило, сигнал переменного тока, который является трехпараметровым и включает в себя следующие информативные составляющие: амплитуду, фазу и частоту. На этом основана вся методика многопараметровых измерений электромагнитных и неэлектрических величин при реализации многопараметровых вихретоковых методов. В научных работах [5–7] был введен параметр N , который представляет собой удельную нормированную ЭДС ТВП с контролируемым немагнитным объектом, также был введен фазовый угол сдвига $\varphi_{\text{вн}}$ между ЭДС E_0 и $E_{\text{вн}}$.

Работу тепловых ТВП можно описать следующим уравнением, связывающим сигналы ТВП с электрическими и температурными параметрами контролируемого объекта [5–8].

$$\begin{cases} N_t = f(\sigma_t(\rho_t), t) \\ \phi_t = f(\sigma_t(\rho_t), t) \\ \sigma_t = \frac{\sigma_1}{\left[1 + \frac{\alpha}{1 + \alpha t_1}(t - t_1)\right]} \end{cases} \quad (1)$$

При этом в системе (1) третье уравнение связывает удельную электрическую проводимость σ_t (или ρ_t) и температуру t ОК.

Следует отметить, что сигналы теплового ТВП являются в данном случае температурозависимыми, так как такой измерительный контроль предусматривает нагрев образца в процессе контроля (для имитации нагрева в условиях изготовления, хранения и производственного использования). Схема включения теплового ТВП должна обеспечивать частоту магнитного поля 50 МГц. В этом случае наиболее достоверным результатом измерений является среднее значение термозависимого параметра N_t и среднее значение фазового угла $\phi_{\text{внтр}}$. Следует отметить, что при частоте $f = 50$ МГц, показания измерительных приборов не зависят от геометрических параметров стеклянной кварцевой трубки (в которую помещается проба).

На рис. 1 с учетом результатов работ [5–8] приведена схема включения теплового ТВП для контроля электрических и температурных параметров пробы пищевого красителя. В схему входит ТВП, генератор – Г, частотомер – Ч, осциллограф – ОС, вольтметры V_1 и V_2 , образцовое сопротивление – R_0 , фазометр – Φ , опорный ВП. В схему также входит компенсационный вихретоковый преобразователь – КП, при этом ТВП, ВП и КП имеют одинаковое число витков, а также геометрические параметры первичных и вторичных обмоток (первичные обмотки ТВП, КП и ОП включены последовательно – согласно, а вторичные ТВП и КП последовательно – встречно). КП предназначен для полной компенсации паразитной ЭДС E_1 при отсутствии в ТВП ОК [5–8]. Схема предусматривает нагреватель Н для имитации процесса нагрева в диапазоне от 20 до 80 °С [8].

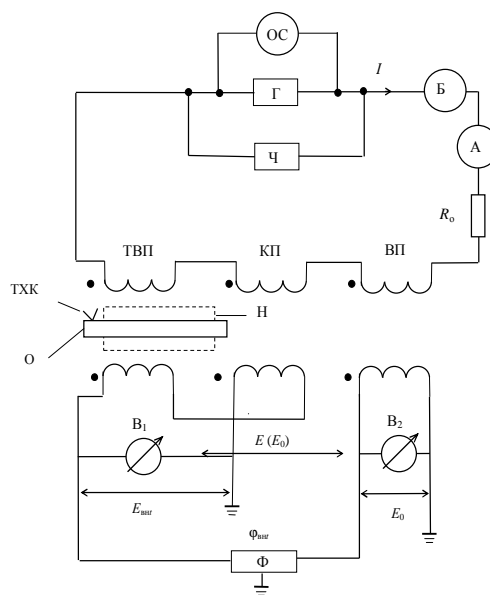


Рис. 1 - Схема включения теплового ТВП с контролируемой пробой пищевого красителя (при имитации нагрева пробы)

Тепловой ТВП выполняет одновременно следующие функции: создает полезный магнитный поток Φ_{2t} в контролируемом образце, обеспечивает регистрацию ЭДС $E_{\text{внт}}$, а также обеспечивает нагрев образца в процессе контроля с помощью нагревателя – Н, расположенного в ТВП [5-8]. Во время работы схемы измеряют зависимую от температуры разностную ЭДС $E_{\text{внт}}$ с помощью вольтметра V_1 , после

чего регистрируют с помощью Φ фазовый угол $\Phi_{\text{внт}}$ между ЭДС E_0 и $E_{\text{внт}}$. Как известно [5, 6]

$$E_{\text{внт}} = E_{\Sigma t} - E_0. \quad (2)$$

В схеме на рис. 1 также предусмотрен стабилизатор тока Б, использование этого устройства обусловлено устранением источника погрешности измерения термозависимых параметров ТВП $E_{\text{внт}}$, $\Phi_{\text{внт}}$ вследствие влияния температуры внешней среды и нагрева пробы самим ТВП [7, 8]. Что в свою очередь, приводит к повышению достоверности контроля $D_{\text{общ}}$, вследствие увеличения инструментальной составляющей $D_{\text{и}}$ [11].

$$D_{\text{общ}} = D_{\text{м}} \cdot D_{\text{и}}. \quad (3)$$

Как уже отмечалось выше в работах [5, 6] рассмотрены электромагнитные методы контроля физико-механических параметров немагнитных изделий: введены параметры N и $\Phi_{\text{вн}}$ и получены функции преобразования $N = f(x)$ и $\Phi_{\text{вн}} = f(x)$ - без учёта влияния температуры на сигналы ТВП [7].

На рис. 2 - 3 приведены фрагменты функций преобразования $N_t = f(x_t)$ и $\Phi_{\text{внт}} = f(x_t)$ с учетом влияния температуры на информативные параметры теплового ТВП, т.е. в данном случае ЭДС и фазу – N_t и $\Phi_{\text{внт}}$, а также обобщенный магнитный параметр x_t (который также является термозависимым).

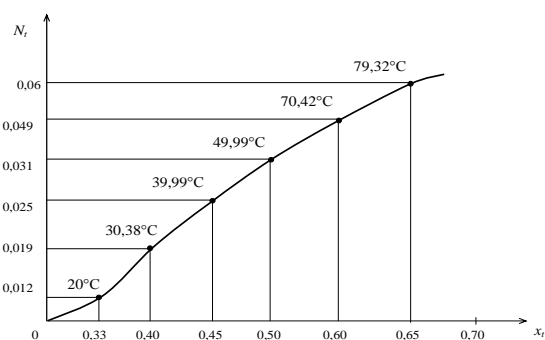


Рис. 2 - Фрагменты зависимости ЭДС теплового ТВП от обобщенного параметра x_t при исследовании нагреваемой пробы пищевого красителя

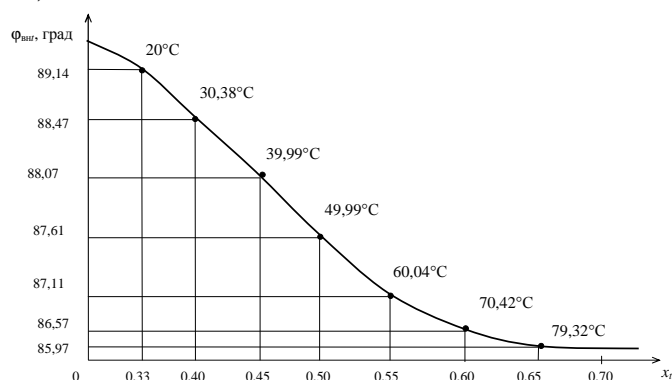


Рис. 3 - Фрагменты зависимости угла сдвига фаз теплового ТВП от x_t при исследовании нагреваемой пробы пищевого красителя

В таблице 1 приведены численные значения параметров теплового ТВП с контролируемой пробой, при имитации процесса нагрева.

Таблица 1 – Значения параметров теплового ТВП с контролируемой пробой пищевого красителя от температуры t

t	N_t	x_t	$\Phi_{\text{внт}}$
20	0,012	0,33	89,14
30,38	0,019	0,40	88,47
39,99	0,025	0,45	88,07
49,9	0,031	0,50	87,61
60,04	0,0378	0,55	87,11
70,42	0,044	0,6	86,57
79,32	0,049	0,65	85,97

Анализируя эти зависимости можно сказать, что зависимость на рис. 2а имеет возрастающий характер, и температурные точки на ней соответствуют $t - 20; 30,38; 39,99; 49,99; 70,42; 79,32$ °С. Точки начинаются от начала кривой и заканчиваются в

ее конце. Зависимость на рис. 3 является спадающей.

Аналитические выражения для параметра N_t и его фазы $\varphi_{\text{внт}}$, с учетом влияния температуры имеют следующий вид [5-8]

$$N_t = \frac{E_{\text{внт}} \eta}{E_0} \sqrt{(1 - k_t \cos \phi_t)^2 + (k_t \sin \phi_t)^2}, \quad (4)$$

$$\text{tg } \varphi_{\text{внт}} = \frac{k_t \sin \phi_t}{1 - k_t \cos \phi_t}, \quad (5)$$

Следует отметить, что при сравнительно высоких частотах ($f_t = 50$ Гц) мы, как уже отмечалось выше, ориентируемся на средние значения параметра $N_{\text{ср}t}$ и средние значения фазового угла сдвига $\varphi_{\text{внт}}$, при этом $N_{\text{ср}t}$ и $\varphi_{\text{внт}}$ зависят от температур контролируемых проб

$$N_{\text{ср}t} = \frac{N_{1t} + N_{2t} + N_{3t} + N_{4t}}{4}, \quad (6)$$

$$\varphi_{\text{ср}t} = \frac{\varphi_{\text{внт}1t} + \varphi_{\text{внт}2t} + \varphi_{\text{внт}3t} + \varphi_{\text{внт}4t}}{4}. \quad (7)$$

При частоте $f_t = 50$ Гц аналитические выражения для определения удельной электрической проводимости σ_t и температуры t контролируемой пробы имеют следующий вид

$$\sigma = \frac{2E_0 \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{x_t} + \frac{1}{x_t^2} \right) x_t^2}{(E_{\Sigma t} - E_0) \pi f_t \mu_0 d_i^2}. \quad (8)$$

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) \left[\frac{2\sigma_t E_0 \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{x_t} + \frac{1}{x_t^2} \right) x_t^2 - 1}{(E_{\Sigma t} - E_0) \pi f_t \mu_0 d_n^2} \right] + t_1. \quad (9)$$

Результаты определения температуры t пробы пищевого красителя и коррелирующего параметра удельного электрического сопротивления ρ_t (величина которого обратна σ_t [4]), а также численные значения погрешностей измерений - приведены в табл. 2.

Таким образом, исследован бесконтактный двухпараметровый вихретоковый метод контроля удельного электрического сопротивления ρ_t (удельной электрической проводимости σ_t) и температуры t пробы пищевого красителя на базе теплового вихретокового преобразователя (ТВП), который предусматривает дополнительную нагревательную обмотку для достижения имитации воздействия температуры на контролируемый образец.

Таблица 2 – Результаты определения контролируемых параметров пробы

$t', \text{ }^\circ\text{C}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\rho_t \cdot 10^{-1}, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$\gamma_t, \%$	$\gamma_{\rho}, \%$
20	20,02	2,80	0,1	0
30	30,38	2,87	1,27	2,5
40	39,99	2,935	-0,025	2,26
50	49,9	3,0	-0,2	2,21
60	60,04	3,07	0,07	2,33
70	70,42	3,14	0,6	2,28
80	79,32	3,20	-0,85	1,91

Выводы. В связи с исследованием и диагностикой пищевых добавок и продовольственных товаров необходимо изучать вопросы разработки, применения и усовершенствования методов, алгоритмов и приемов измерительного контроля физико-химических параметров контролируемых образцов. Так как пищевые продукты, добавки и красители характеризуются не только органолептическими свойствами, например, цветом, запахом, вкусом, а и физико-химическими показателями: температурой, влажностью, концентрацией, сопротивлением и т.д. Каждая из этих характеристик имеет влияние на качество продукции в целом.

Таким образом, в рамках исследования важной проблемы, которая заключается в разработке многопараметровых методов и реализующих их устройств, для повышения точности определения показателей качества пищевой продукции, а также разработки новых методик оценки уровня качества на основе совместного многопараметрового измерительного контроля коррелирующих параметров, которые являются важными характеристиками ОК и указаны в нормативных документах, исследован бесконтактный вихретоковый двухпараметровый метод контроля удельного электрического сопротивления ρ_t (или удельной электрической проводимости σ_t) и температуры t жидкой пробы пищевого красителя на базе теплового ТВП. Разработан алгоритм совместного определения электрических и температурных параметров пробы пищевого красителя с помощью теплового ТВП. Приведены основные соотношения, описывающие двухпараметровый вихретоковый метод совместного измерительного контроля электрических и температурных параметров контролируемой пробы. Научной новизной работы является использование теории работы теплового ТВП применительно к бесконтактному измерительному двухпараметровому контролю ρ_t (σ_t) и t пробы пищевого красителя. Практическим значением работы является то, что данная методика измерений температуры t , позволяет увеличить точность измерений и может быть косвенно использована при оценке уровня качества пищевых красителей.

Список литературы: 1. Димань Т. М., Мазур Т. Г. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів. – Підручник. – Київ: ВЦ "Академія". – 2011. – 517 с. 2. Клименко М. О., Скрипчук П. М. Метрологія, стандартизація і сертифікація в екології. – Підручник. – Київ: ВЦ "Академія". – 2006. – 366 с. 3. Черевко О. І., Крайнюк Л. М. та ін.. Методи контролю продукції. – Навчальний посібник. – Суми: ВЦ "Університетська книга". – 2009. – 299 с. 4. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с. 5. Герасимов В. Г., Клюев В. В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с. 6. Горкунов Б. М., Сомхиева О. С., Ду Хуан Янг. Дифференциальный электромагнитный преобразователь с цилиндрическим проводящим изделием // Збірник наукових праць II-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія 99)". – Харків: ХДНДІМ. – 1999. – Т1. – С. 220-223. 7. Себко В. П., Себко В. В. Вихретоковые методы и преобразователи для определения температуры изделий и сред // Вестник ХГПУ. – Харьков: ХГПУ. – Вып. 24. – 1999. – С. 10-16. 8. Себко В. В., Здоренко В. Г., Нзиока А. М. Вихорострумний контроль температури в технологічному процесі обжигу клінкера // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – Київ: КНУТД, 2012. – №5 (т.2). – С. 64-71. 9. Себко В. В., Сиренко Н. Н., Гора С. А. и др. Параметрический преобразователь для определения потерь мощности. – Техническая электродинамика, 1993. - №4. – С. 75-78. 10. Москаленко И. И. Электромагнитный параметрический преобразователь. – Український метрологічний журнал. – Харків. – 1997.- Вип. 1. – С. 7-10. 11. Дунаев Б. Б. Точность измерений при контроле качества. – К.: Техніка, 1981. – 150 с.

Надійшла до редакції 19.12.2012

Повышение точности измерений температурных параметров контролируемой пробы пищевого красителя за счёт реализации многопараметрового метода измерительного контроля / Себко В.В., Литвинова Ю.Л., Ляшенко К. И. // // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 4 (978). – С. 43-50. – Бібліогр.: 11 назв.

Досліджено безконтактний двохпараметровий вихорострумний метод стосовно до контролю електричних та температурних параметрів проби харчового барвника. Отримано чисельні значення параметрів, що контролюються. Л.: 3, Бібліогр.: 11

Ключевые слова: Качество, совместный контроль, тепловой преобразователь, точность измерений, температура, удельная электропроводность, погрешности измерений, метод, сигнал, достоверность контроля.

The contactless two-parameter eddy-current method with reference to control of electric and temperature parameters of test of food dye is investigated. Numerical values of controllable parameters are received.

Key words: Quality, consistent control, converter heat, accuracy of measurement, temperature, specific conductance, measurement error, method, signals, reliability of control.

УДК 536.521.2

Є. М. КІСЕЛЬОВ, канд. техн. наук, доц., ЗДІА, Запоріжжя

ПОБУДОВА СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ПЕРЕДІНФАРКТНИХ СТАНІВ

У цій статті розглядаються особливості побудови системи віддаленого моніторингу передінфарктних станів на базі мобільних телефонів. Досліджено методи визначення і виділення критеріїв розпізнавання передінфарктних станів на ЕКГ.

Ключові слова: передінфарктні стани, фільтрація, електрокардіограма, моделювання, моніторинг, спектр.

Вступ

Медичні установи в світі витрачають на мобільні технології більше, ніж в середньому на інші галузі: більше 10% ІТ - бюджету інвестується в мобільні технології в 70% досліджених медичних установ. Медичним установам світу сьогодні значно бракує середнього і молодшого медичного персоналу, з чим пов'язано до 25% всіх лікарських помилок. Досягнення науки збільшують середню тривалість життя, внаслідок чого зростає доля старіючого населення, що вимагає постійної уваги з боку працівників охорони здоров'я. Мобільні технології допомагають надати якісне обслуговування більшості пацієнтам. Зважаючи на те, що в сучасному світі, згідно даних медичної статистики, смертність внаслідок інфаркту займає одне з перших місць серед медичних патологій, актуальним додатком до мобільних технологій є створення системи ранньої діагностики передінфарктних станів.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Як показано у [1], електрокардіосигнал (ЕКС) змінюється залежно від часу, що минув від початку розвитку інфаркту міокарда. Однак, під час початкового періоду інфаркту ЕКГ реєструється досить рідко і лікар, зазвичай, має справу з пізнішими електрокардіографічними ознаками гострої стадії інфаркту міокарда. Аналіз різновидів інфаркту міокарда і відповідних патологічних змін ЕКГ свідчить про необхідність принципового вирішення завдання з діагностики передінфарктних станів. Узагальнені характеристики зміни ЕКГ при інфаркті міокарда, залежно від