

УДК 621.3

КУЛИК А.Я., КОВАЛЬ Б.Ф., РЕВІНА Т.Г., БОДНАР М.В.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ

Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова,
вул. Пирогова, 56, м. Вінниця, 21018, Україна,
E-mail: kulyk@vntmu.edu.ua

Анотація. Розроблений математичний апарат для оцінювання співвідношення *сигнал/шум*, виходячи з помилки II роду. Проведені необхідні розрахунки і дані рекомендації щодо використання в інформаційних системах телемедицини.

Ключові слова: співвідношення *сигнал/шум*, критерій Котельнікова, імовірність помилки ідентифікації, телемедицина.

Аннотация. Разработан математический аппарат для оценки соотношения *сигнал/шум*, исходя из ошибки II рода. Проведены необходимые расчеты и даны рекомендации относительно использования в информационных системах телемедицины.

Ключевые слова: соотношение *сигнал/шум*, критерий Котельникова, вероятность ошибки идентификации, телемедицина.

Abstract. A mathematical apparatus for estimating the signal-to-noise ratio was developed based on the error of the second kind. The necessary calculations and recommendations on the use of telemedicine in information systems were made.

Key words: signal-to-noise ratio, Kotelnikov criterion, probability of identification error, telemedicine.
DOI: 10.31649/1681-7893-2018-35-1-52-58

ВСТУП

Різноманітність умов, в яких знаходиться людина, не дозволяє в повній мірі реалізувати його право на отримання відповідної медичної допомоги в потрібному місці і у потрібний час. Виникає гостра необхідність в об'єднанні зусиль природних, технічних і суспільних наук для забезпечення у прийнятному вигляді цього права людини. Базою такого об'єднання виступає відносно новий напрямок – телемедицина. Цей термін був введений до медичної літератури в 1974 році [1].

В теперішній час ця галузь швидко розвивається. Разом з тим, існує цілий ряд проблем, пов'язаних з тим, телемедицина створена на стику різних наук. Так, увага приділяється суто соціальним аспектам [2], питанням захисту інформації [3] з точки зору законодавства або технічним аспектам [4]. Але вважається, що оскільки напрямок базується на використанні комп'ютерних мереж, то технічні питання можна не розглядати. В монографії, присвяченій розгляду різних питань телемедицини [5], з точки зору передавання інформації увага приділена лише радіоканалам, причому супутниковим. При цьому не враховується, що сучасні комп'ютерні мережі можуть будуватися на базі різноманітних каналів: дротових, оптичних, радіоканалів тощо. Крім цього передавання інформації для вирішення задач телемедицини має певні особливості. В першу чергу це пов'язано із високою вірогідністю передавання інформації.

Помилки II роду дозволяють визначити співвідношення *сигнал/шум* для уникнення ідентифікації хибного сигналу і забезпечення стійкого приймання інформативних в системах телемедицини.

Метою роботи є визначення енергетичних характеристик сигналів передавання в системах телемедицини при заданій імовірності помилок ідентифікації елементарного сигналу для різних умов передавання.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВІДСУТНОСТІ ІНФОРМАТИВНИХ СИГНАЛІВ

Сигнал можна вважати відсутнім, якщо виконується умова:

$$p(X_+/\hat{X}) + p(X_-/\hat{X}) < p(X_0/\hat{X}), \quad (1)$$

де $p(X_+/\hat{X})$ – апостеріорна імовірність ідентифікації імпульсу позитивного рівня за умови приймання сигналу \hat{X} ;

$p(X_-/\hat{X})$ – апостеріорна імовірність ідентифікації імпульсу негативного рівня за умови приймання сигналу \hat{X} ;
 $p(X_0/\hat{X})$ – апостеріорна імовірність ідентифікації імпульсу нульового рівня за умови приймання сигналу \hat{X} .

Тоді можна розкрити:

$$p(X_+) \cdot \exp\left(-\frac{E_n}{G_\xi}\right) + p(X_+) \cdot \exp\left(\frac{2}{G_\xi} \int_0^\tau \mathcal{K}(t) \cdot X_+(t) dt\right) + p(X_+) \cdot \exp\left(-\frac{E_+}{G_\xi}\right) + p(X_-) \cdot \exp\left(-\frac{E_n}{G_\xi}\right) + p(X_-) \cdot \exp\left(\frac{2}{G_\xi} \int_0^\tau \mathcal{K}(t) \cdot X_-(t) dt\right) + p(X_-) \cdot \exp\left(-\frac{E_-}{G_\xi}\right) < p(X_0) \cdot \exp\left(-\frac{E_n}{G_\xi}\right). \quad (2)$$

Для підсилення ефекту нерівності доцільно виключити з лівої частини позитивні значення

$$p(X_+) \cdot \exp\left(-\frac{E_n}{G_\xi}\right), p(X_-) \cdot \exp\left(-\frac{E_n}{G_\xi}\right), p(X_+) \cdot \exp\left(-\frac{E_+}{G_\xi}\right), p(X_-) \cdot \exp\left(-\frac{E_-}{G_\xi}\right);$$

$$p(X_+) \cdot \exp\left(\frac{2}{G_\xi} \int_0^\tau \hat{X}(t) \cdot X_+(t) dt\right) + p(X_-) \cdot \exp\left(\frac{2}{G_\xi} \int_0^\tau \hat{X}(t) \cdot X_-(t) dt\right) < p(X_0) \cdot \exp\left(-\frac{E_n}{G_\xi}\right). \quad (3)$$

З урахуванням полярності інформативних імпульсів ($X_c(t) = X_+(t) = X_-(t)$), вираз (3) можна представити у вигляді

$$p(X_+) \cdot \exp\left(\frac{2}{G_\xi} \int_0^\tau \hat{X}(t) \cdot X_c(t) dt\right) + p(X_-) \cdot \exp\left(-\frac{2}{G_\xi} \int_0^\tau \hat{X}(t) \cdot X_c(t) dt\right) < p(X_0) \cdot \exp\left(-\frac{E_n}{G_\xi}\right). \quad (4)$$

Останній вираз має загальний вигляд

$$\frac{p(X_+)}{p(X_0)} e^\gamma + \frac{p(X_-)}{p(X_0)} e^{-\gamma} < e^{-\frac{E_n}{G_\xi}}, \quad (5)$$

де $\gamma = \frac{2}{G_\xi} \int_0^\tau \hat{X}(t) \cdot X_c(t) dt$.

З урахуванням правила перетворення

$$a \cdot e^\gamma + b \cdot e^{-\gamma} = 2\sqrt{ab} \cdot ch(\gamma + \alpha), \quad (6)$$

де $ch\alpha = \frac{a+b}{2\sqrt{ab}}$, $sh\alpha = \frac{a-b}{2\sqrt{ab}}$.

$$ch(\gamma + \alpha) \cdot \frac{2\sqrt{p(X_+)p(X_-)}}{p(X_0)} < e^{-\frac{E_n}{G_\xi}}, \quad (7)$$

$$ch(\gamma + \alpha) < \frac{p(X_0)}{2\sqrt{p(X_+)p(X_-)}} e^{-\frac{E_n}{G_\xi}} = \beta, \quad (8)$$

де $ch\alpha = \frac{p(X_+) + p(X_-)}{2\sqrt{p(X_+)p(X_-)}}$, $sh\alpha = \frac{p(X_+) - p(X_-)}{2\sqrt{p(X_+)p(X_-)}}$.

З урахуванням того, що $arch(x) = \left| \ln\left(x + \sqrt{x^2 - 1}\right) \right|$, після нескладних перетворень можна отримати

$$\alpha = \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| \quad (9)$$

і нерівність (8) можна привести до вигляду

$$\gamma < \left| \ln \left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \right) \right| - \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right|, \quad (10)$$

граничною умовою якого є $\beta \geq 1$. Якщо на вхід приймача поступає позитивний імпульс $\hat{X}(t) = X_c(t) + \xi(t)$, то

$$\gamma = \frac{2E_c}{G_\xi} + \kappa, \quad (11)$$

де $\kappa = \frac{2}{G_\xi} \int_0^\tau \xi(t) \cdot X_c(t) dt$.

Тоді з (10) можна отримати

$$\kappa < \left| \ln \left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \right) \right| - \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| - \frac{2E_c}{G_\xi} = \kappa_+. \quad (12)$$

Якщо на вхід приймача поступає негативний імпульс $\hat{X}(t) = X_c(t) - \xi(t)$, то

$$\gamma = -\frac{2E_c}{G_\xi} + \kappa \quad (13)$$

і з (10) можна отримати

$$\kappa < \left| \ln \left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \right) \right| - \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| + \frac{2E_c}{G_\xi} = \kappa_-. \quad (14)$$

Якщо сигнал відсутній $\hat{X}(t) = \xi(t)$, $\gamma = \kappa$, то

$$\kappa < \left| \ln \left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \right) \right| - \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| = \kappa_0. \quad (15)$$

Вирази (12), (13) та (14) характеризують межі імовірностей помилок ідентифікації сигналів. Виходячи з цього, їх можна визначити як:

$$P_{ном}(X_+) = \int_{\kappa_{1min}}^{\kappa_{1max}} f(\kappa) d\kappa = \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln \left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \right) - \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| - h_{nep}^2 \right) + \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln \left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \right) + \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| + h_{nep}^2 \right) - 1, \quad (16)$$

$$P_{ном}(X_-) = \int_{\kappa_{2min}}^{\kappa_{2max}} f(\kappa) d\kappa = \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln \left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \right) - \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| + h_{nep}^2 \right) + \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln \left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1} \right) + \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| - h_{nep}^2 \right) - 1, \quad (17)$$

$$P_{ном}(X_0) = \int_{-\infty}^{\kappa_{3min}} f(\kappa) d\kappa + \int_{\kappa_{3max}}^{\infty} f(\kappa) d\kappa =$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 - \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) - \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| \right) + \\
 &+ \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) - \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| \right). \tag{18}
 \end{aligned}$$

Повна імовірність помилок дорівнює сумі складових (16), (17) та (18)

$$\begin{aligned}
 P_{ном} &= p(X_+) \left(\Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) - \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| - h_{nep}^2 \right) + \right. \\
 &+ \left. \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) + \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| + h_{nep}^2 \right) - 1 \right) + \\
 &+ p(X_-) \left(\Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) - \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| + h_{nep}^2 \right) + \right. \\
 &+ \left. \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) + \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| - h_{nep}^2 \right) - 1 \right) + \\
 &+ p(X_0) \left(2 - \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) - \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| \right) + \right. \\
 &+ \left. \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) - \frac{1}{h_{nep}^2} \left| \ln \sqrt{\frac{p(X_+)}{p(X_-)}} \right| \right) \right). \tag{19}
 \end{aligned}$$

З урахуванням принципів формування каналних сигналів, наведених вище ($p(X_c) = p(X_+) = p(X_-)$, $p(X_0) = 1 - p(X_c)$), відповідно до (8):

$$\beta = \frac{1 - p(X_c)}{2p(X_c)} e^{-\frac{E_n}{G_0}} = \frac{1 - p(X_c)}{2p(X_c)} \exp(-h_{nep}^2 - 2\ln(2p(X_c)) + 2\ln(4p(X_c) - 2)), \tag{20}$$

$$\begin{aligned}
 P_{ном} &= 2p(X_c) \cdot \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) - h_{nep}^2 \right) + \\
 &+ 2p(X_c) \cdot \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) + h_{nep}^2 \right) + \\
 &+ 2(1 - 2p(X_c)) \cdot \left(1 - \Phi \left(\frac{1}{h_{nep}^2} \ln(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) \right) \right). \tag{21}
 \end{aligned}$$

Параметр $|\beta|$ визначає пороги ідентифікації сигналів

$$|\beta| = \frac{p(X_0)}{2p(X_c)} e^{-\frac{E_n}{G_\xi}} = \frac{1-p(X_c)}{2p(X_c)} e^{-\frac{h_{np}^2}{2}}. \quad (22)$$

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На рис. 1 показана залежність рівня ідентифікації сигналу при рівнях інформативних сигналів 5 В та 12 В і співвідношенні *сигнал/шум* $h_{np}^2 = 1$. На рис. 2. наведена залежність рівня ідентифікації сигналу від співвідношення *сигнал/шум* при амплітудах інформативних імпульсів 5 В та 12 В при $p_c = 0,5$.

ВИСНОВКИ

Отримані результати з урахуванням вказаних припущень та обмежень відповідають результатам, отриманим незалежно при імітаційному математичному моделюванні широкосмугової системи стандарту IEEE 802.11.b [7], які визначені для елементарних сигналів із заданими ознаками за умови їх підпорядкування релеєвському закону.

Таким чином, виходячи із заданої імовірності помилки другого роду, можна визначити співвідношення сигнал/шум і побудувати адаптивну систему передавання медичної інформації.

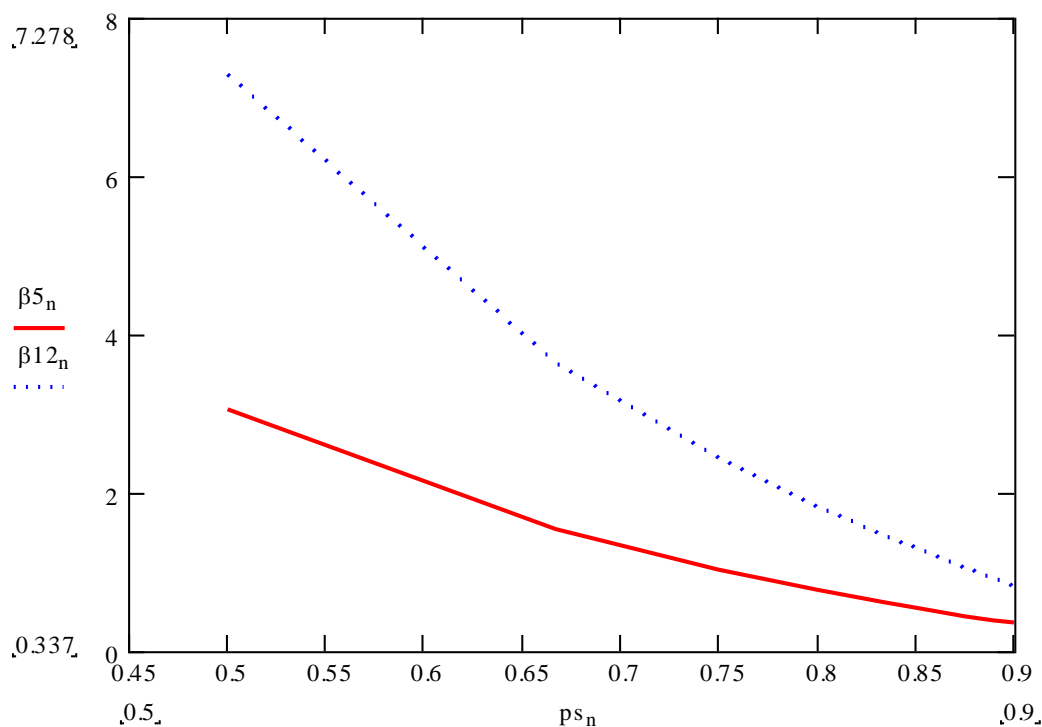


Рис. 1. Залежність рівня сигналів ідентифікації від апіорної імовірності інформативного сигналу

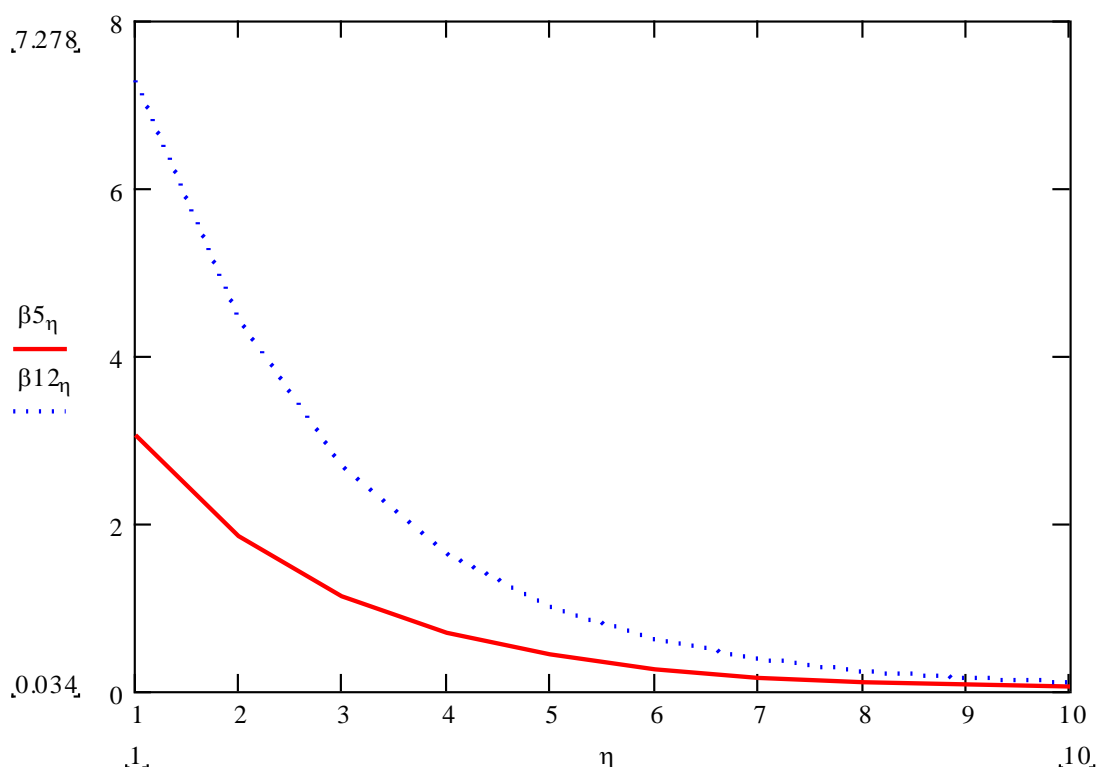


Рис. 2. Залежність рівня сигналів ідентифікації від співвідношення *сигнал/шум*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Mark R.G. (1974). Telemedicine system: the missing link between homes and hospital? Mod. Ners. Home, 32(2), 39 – 42.
2. Ермошкин Н.Н. (2004). Перспективы реформы системы здравоохранения – эволюция или революция? Клиническая информатика и телемедицина, 2, 227 – 236.
3. Домарев В.В. (2004). Защита информации в медицинских информационных системах: врачебная тайна и современные информационные технологии. Клиническая информатика и телемедицина, 2, 147 – 154.
4. Ю.М. Пенкин, В.Г. Кучеренко, А.Г. Литвинов, Г.И. Хаара (2017). Применение программно-аппаратных средств защиты информации в телемедицине. Клиническая информатика и телемедицина, 13, 113 – 118.
5. Р.М. Юсупова, Р.И. Полонникова. (1998). Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге XXI века. С.-Пб: Анатолия.
6. Р.Н. Кветний, А.Я. Кулик (2010). Методи та засоби передавання інформації у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах. Вінниця: ВНТУ.
7. С.П. Ливенцев, А.В. Кувшинов. (2004). Результаты имитационного математического моделирования широкополосной системы стандарта IEEE 802.11.b. Зв'язок, 8, 30-31.

REFERENCES

1. Mark R.G. (1974). Telemedicine system: the missing link between homes and hospital? Mod. Ners. Home, 32(2), 39 – 42.
2. Ermoshkin N.N. (2004). The role of integrated technology solution in healthcare reform. Klinical Informatics and Telemedicine, 2, 227 – 236.
3. Domarev V.V. (2004). Protection of the information in medical information system: medical secret and modern information technologist Klinical Informatics and Telemedicine, 2, 147 – 154.
4. Yu. M. Penkin, V. G. Kucherenko, A. G. Litvinov, G. I. Khara (2017). Hardware and software tools application for information protection in telemedicine. Klinical Informatics and Telemedicine, 13, 113 – 118.
5. R.M. Yusupov, R.I. Polonnikov. (1998). Telemedicine. New information technology on a threshold of XXI century. Saint Petersburg: Anatoliya.
6. R.N. Kvetnyy, A.Ya. Kulyk. (2010). Methods and means of information transfer in problem-oriented distributed computer systems. Vinnitsia: VNTU.

7. S.P. Liventsev, Kuvshinov A.V. (2004). Results of simulation simulation of the broadband standard system IEEE 802.11.b. Communication, 8, 30-31.

Надійшла до редакції 11.04.2018

АНАТОЛІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ КУЛИК – д.т.н., професор, зав. кафедри біофізики, інформатики та медапаратури, Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, Вінниця, Україна.

БОРИС ФЕДОРОВИЧ КОВАЛЬ – ст. викладач кафедри біофізики, інформатики та медапаратури, Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, Вінниця, Україна.

ТЕТЯНА ГРИГОРІВНА РЕВІНА – асистент кафедри біофізики, інформатики та медапаратури, Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, Вінниця, Україна.

МАРІЯ ВІКТОРІВНА БОДНАР – асистент кафедри біофізики, інформатики та медапаратури, Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, Вінниця, Україна.