

С.І. МЕЛЬНИЧУК

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

І.М. ЛАЗАРОВИЧ

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ

ЗАСТОСУВАННЯ ОЦІНОК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ ПІД ЧАС ОПРАЦЮВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ АКУСТИЧНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ ДІАГНОСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Реалізація сучасних комп'ютерних систем діагностування ґрунтується на положеннях теорії надійності та технічної діагностики. Традиційно, використання сигналів акустичного діапазону опирається на частотний та форматний аналіз, крім того застосовують аналіз часової структури, зокрема у випадку кореляційного підходу. Для опису множини станів сигналів використовують ймовірнісні характеристики, зокрема розподіли ймовірностей амплітудних значень, спектральну густину потужності тощо. Основними недоліками такого підходу є неможливість врахування послідовності формування елементів сигналу та його обмежена тривалість, зокрема у випадку діагностування артикуляційної системи.

Ключові слова: широкосмугові сигнали, статистичні оцінки, діагностування, ентропія.

S. I. MELNYCHUK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

I. M. LAZAROWYCH

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk

USE OF ESTIMATES INFORMATION ENTROPY WHEN PROCESSING IMPLEMENTATIONS OF BROADBAND ACOUSTIC DIAGNOSTIC SIGNALS

Modern computer systems diagnosis implementation based on the theory of reliability and technical diagnostics. Traditionally, the use of acoustic signals in the frequency band based and formatted analysis also used the analysis of temporal structures, in particular in the case of correlation approach. To describe the set of state signals using probabilistic characteristics, including the probability distribution of amplitude values, spectral power density and so on. The main disadvantages of this approach is the inability to take account of the elements forming the signal sequence and its limited duration, particularly in the case of diagnosing articulation system.

Keywords: broadband signals, statistical estimates, diagnosis, entropy.

Вступ

Одним із основних завдань діагностування, що реалізуються сучасними комп'ютерними системами, є побудова ефективної стратегії пошуку, за загальносистемним критерієм дерева рішень, при якому на кожному кроці опрацювання отриманих параметрів з апріорної множини варіантів вибирають підмножину ознак, що максимально зменшує на поточному етапі невизначеність про об'єкт (процес), який діагностується [1, 2].

Найпоширенішим джерелом інформації в системах медичного діагностування є сигнали біопотенціалів, які формуються природно чи під впливом зовнішніх факторів у різних ділянках та органах, що зумовлює використання електрографічних та електроміографічних методів формування та опрацювання таких сигналів.

Іншим джерелом інформації в системах медичного діагностування є періодичні та стохастичні коливання акустичного діапазону, які характерні лише для окремих частин організму, проте є більш інформативними з погляду функціональної ефективності, зокрема для діагностування органів дихання та характеристик артикуляційної системи. В ході діагностування зняття акустичних сигналів проводяться за допомогою первинних перетворювачів, які кріпляться на контрольованій поверхні або розташовують поблизу джерела акустичних коливань. У працях [2, 3] надано обґрунтування доцільності проведення опрацювання, в задачах медичної діагностики голосового апарату людини, класу вокалізованих фрикативних акустичних реалізацій як найбільш чутливих до змін у функціональному стані органів цього апарату.

Постановка завдання

Сучасні методи та засоби діагностування, які реалізуються в комп'ютерних системах, опираються на основні положення теорії надійності та технічної діагностики, при цьому методи опрацювання параметричних сигналів фактично є основою побудови векторів опису стану та інформаційно-діагностичної моделі досліджуваного об'єкту в умовах неповної діагностичної інформації. Традиційно, використання сигналів акустичного діапазону в комп'ютерних системах діагностування опирається на частотний та форматний аналіз, крім того застосовують аналіз часової структури, зокрема у випадку кореляційного підходу. Для опису множини станів згаданих сигналів використовують їх ймовірнісні характеристики такі як розподіли ймовірностей амплітудних значень, спектральна густина потужності тощо.

Основними недоліками такого підходу є те, що у випадку діагностування артикуляційної системи, не враховується послідовність формування елементів акустичних реалізацій та їх обмежена тривалість. Тобто при діагностуванні виникає необхідність досліджувати зміну спектральних характеристик за короткі

інтервали, що зумовлює втрату точності і збільшення кількості обчислень. Крім того, виникає необхідність врахування індивідуальних особливостей джерел формування сигналу, які практично характеризуються унікальними тривалістю та спектральними характеристиками, що зумовлює необхідність проведення додаткових налаштувань системи діагностування окремо для кожного випадку [3, 4]. Типові приклади реалізації акустичних послідовностей діагностичних сигналів, які отримано в ході попередніх експериментальних досліджень (проведених на базі кафедри стоматології, факультету післядипломної освіти, Івано-Франківського національного медичного університету ІФНМУ) з постановкою різних моделей знімних конструкцій та без них та надано на рис. 1.

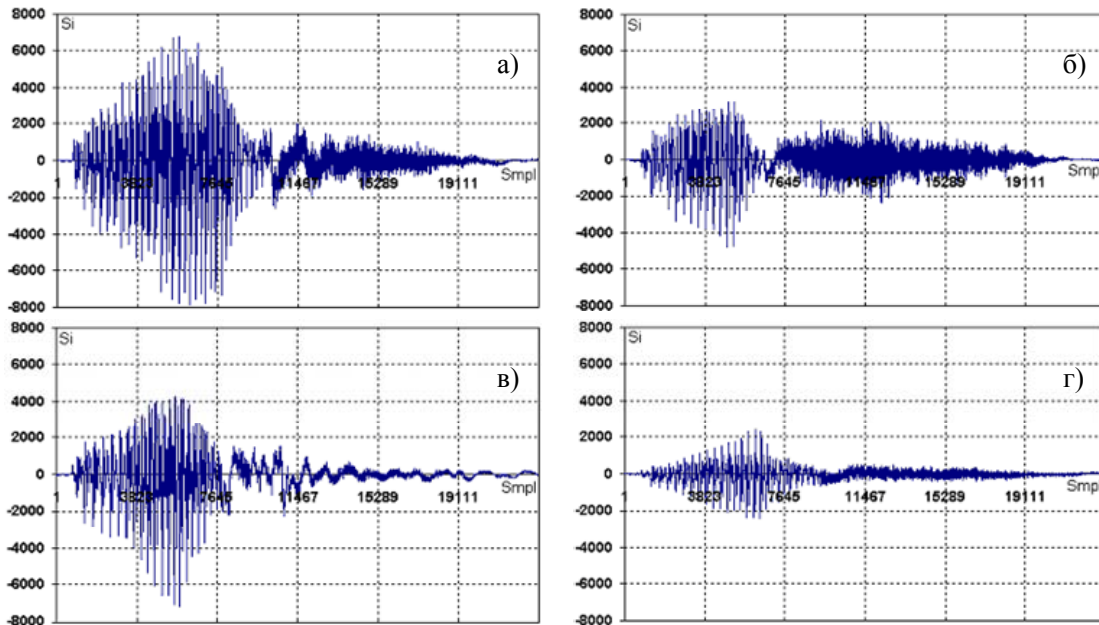


Рис. 1. Типові реалізації діагностичних сигналів для різних знімних конструкцій: а) відсутня; б) стандартна; в) фрагментарно потовщена; г) фрагментарно потовщена

Подані реалізації, як і усі наступні отримано при використанні 16-розрядного АЦП з апертурою відліків $[-32768; 32767]$ (smpl) і частотою дискретизації амплітуди 44.1 КГц, формат – моно. Як можна побачити, постановка змінної конструкції суттєво впливає на артикуляційну систему та потужність акустичного сигналу.

Результати дослідження

В ході дослідження відмінностей між сигналами, що формуються за наявності різних типів знімних конструкцій та без них проведено їх спектральний аналіз, рис. 2, за яким виявлено, що зміщення в області 5...8 КГц (крива 2) може свідчити про порушення властивостей резонансної порожнини, проте однозначно локалізувати фрагмент часу і характеристик сигналу за яких це відбулося практично неможливо в наслідок короткої тривалості сигналів. Криві 3 та 4 несуттєво відрізняються, що не дозволяє робити однозначних суджень при спотворення викликані наявністю змінної конструкції.

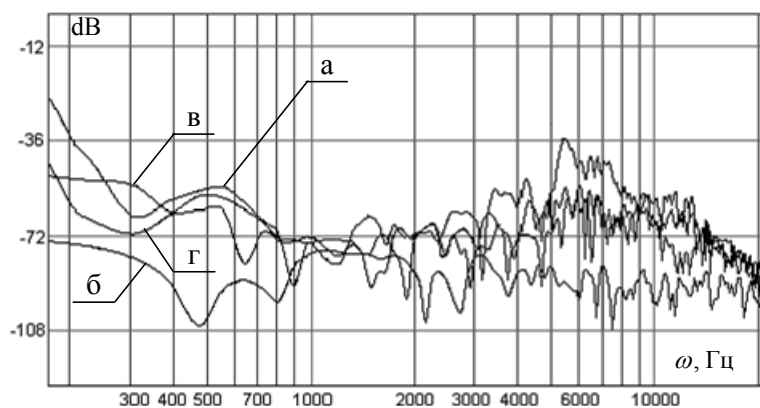


Рис. 2. Амплітудно-частотні характеристики діагностичних сигналів для різних знімних конструкцій: а) відсутня; б) стандартна; в) фрагментарно потовщена; г) фрагментарно потовщена

Доцільно зазначити, що в межах фізіологічних особливостей, надзвичайно складно відтворити одну і ту ж акустичну реалізацію з однаковою потужністю та спектральним складом, що підтверджують результати спектрального аналізу (рис. 2) та оцінювання зміни потужності сигналів для різного типу знімних конструкцій, результати розрахунку засобами MathCAD-системи комп'ютерної алгебри класу

систем автоматизованого проектування, подано в табл. 1.

Таблиця 1

Потужність сигналу для різних знімних конструкцій А – відсутня, Б – стандартна, В – фрагментарно потоншена, Г – фрагментарно потовщена

Середнє значення потужності, дБ	А	Б	В	Г
	-29.65	-34.3	-32.69	-41.58

Однією з особливостей діагностування артикуляційної системи є те, що знімна конструкція, під час відтворення сигналів, задіяна лише в моменти артикуляції, тобто для формування негармонійних широкосмугових складових. В такій ситуації, спектральні характеристики послідовності акустичних реалізацій є малоінформативні, що не дозволяє їх використати в задачах діагностування згаданого типу.

Отже, розв’язання задачі опрацювання широкосмугових сигналів з малоінформативними спектральними характеристиками є особливо актуальним в області медичного діагностування артикуляційної системи, функціонування якої є основним джерелом стохастичних коливань.

В ході ряду експериментальних досліджень (проведених на базі кафедри стоматології, факультету післядипломної освіти, ІФНМУ) встановлено, що при формуванні акустичних реалізацій голосних звуків, які характеризуються наявністю гармонійних складових (рис. 3а), використовуються голосові зв’язки, тому звуковий сигнал практично не зустрічає перепон і, як наслідок, не містить інформації про стан системи артикуляції. Формування акустичних реалізацій приголосних звуків, у яких практично відсутні гармонійні складові (рис. 3б) а також відносно коротка (від 0.1 до 0.4 с) тривалість, характеризується точними контактними точками дотику язика у відповідних артикуляційних зонах.

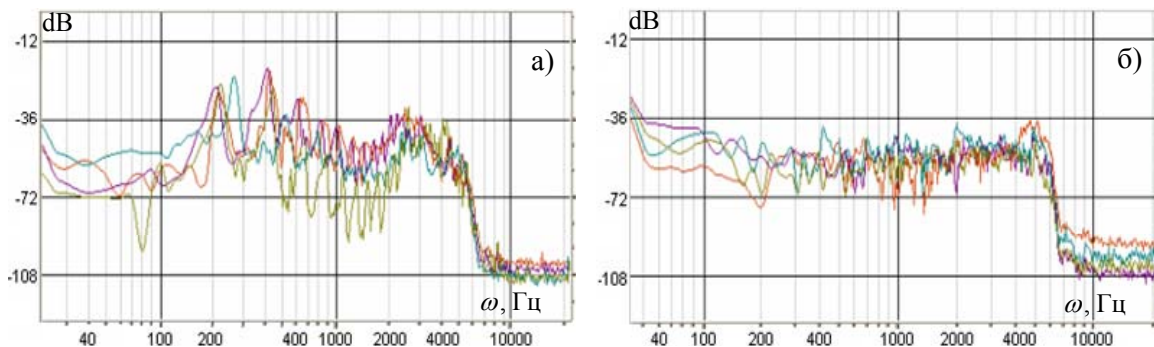


Рис. 3. Спектри сигналів діагностування а) голосних фрагментів; б) приголосних фрагментів різних акустичних реалізацій

Крім того встановлено, що амплітудно-частотні характеристики приголосних фрагментів мають розподіл близький до рівномірного, охоплюють частотний діапазон до 12КГц і різняться між собою несуттєво, див.рис.3б. В такому випадку згадані сигнали малоприсади для спектрального аналізу а дикторозалежність суттєво ускладнює кореляційний аналіз їх часових форм (структур). Крім того, використання лише амплітудних характеристики сигналу, не дає повної інформації про об’єкт та зменшує ефективність діагностування.

Для подолання основних недоліків, що притаманні традиційним реалізаціям методів опрацювання широкосмугових сигналів в системах медичного діагностування а також спрощення апаратного та програмного забезпечення автором запропоновано використання однієї, зокрема ентропійної, чи кількох сумісно імовірнісних характеристик для формування векторів опису станів об’єкту діагностування з подальшим їх кореляційним чи статистичним аналізом. Основна ідея запропонованого методу [5] полягає у опрацюванні випадкових широкосмугових сигналів, таким чином, що значення фрагментів їх інформаційної ентропії використовуються для побудови параметричних векторів за якими реалізується оцінювання можливих станів об’єкту діагностування [5, 6].

Отже, деяку оцифровану акустичну реалізацію представимо вектором амплітуд інформаційного сигналу $S = (r_1, r_2, \dots, r_n) \in [-32768; 32767]^n$, що в даному випадку зумовлено використанням 16-розрядного АЦП, частота дискретизації 44100 Гц. Означимо тепер відображення оцінок ентропії

$$\hat{h}_s : [-32768; 32767]^n \rightarrow [0; 16]^{\lfloor \frac{n}{w} \rfloor},$$

де $\lfloor \frac{n}{w} \rfloor$ – округлення результату до меншого цілого, наступним чином:

$$\hat{h}_s(S) = (\hat{H}(r_1, r_2, \dots, r_w), \hat{H}(r_{w+1}, r_{w+2}, \dots, r_{w+w}), \dots, \hat{H}(r_{w+\dots+w+1}, \dots, r_n))$$

де \hat{H} – функція розрахунку оцінки інформаційної ентропії за інформаційною мірою К.Шеннона

$$H = -k \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i ;$$

r_i – елемент вектора S ;

w – розмір фрагменту вектора S , за яким розраховується оцінка ентропії.

Таким чином кожній акустичній реалізації ставиться у відповідність вектор оцінок інформаційної ентропії, який отримують через застосування функції розрахунку ентропії \hat{H} за мірою К.Шеннона до наборів відповідних елементів (координат) вектора амплітуд діагностичного сигналу S , рис.4.

Структурну схему реалізації запропонованого методу опрацювання широкосмугових фрагментів діагностичних сигналів подано на рис. 5.

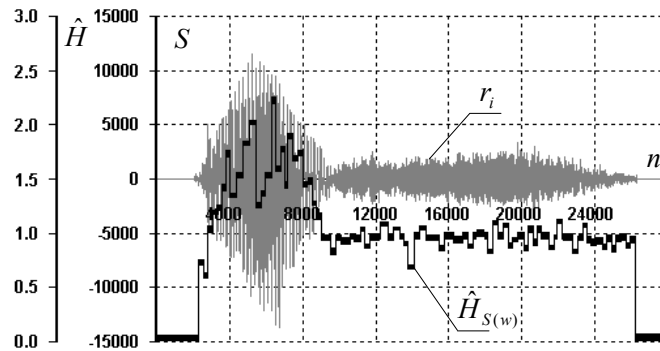


Рис. 4. Акустична реалізація S діагностичного сигналу та представлення оцінок інформаційної ентропії \hat{H} його послідовних фрагментів

З огляду на особливості будови артикуляційної системи та процесу формування випадкових широкосмугових сигналів однією із актуальних задач є діагностування відновлення голосової функції при використанні знімних конструкцій [7]. Встановлення знімних конструкцій приводить до зменшення відстаней в артикуляційних зонах, що зумовлює спотворення широкосмугових акустичних реалізацій і, як наслідок, порушення голосової функції. В такій ситуації доцільно розглянути використання таких способів формування випадкових сигналів при діагностуванні, які характеризуються максимальним залученням артикуляційних зон.

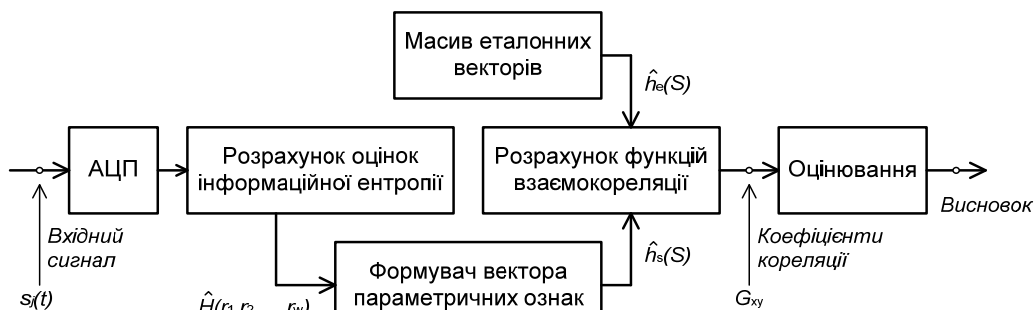


Рис. 5. Опрацювання акустичних реалізацій широкосмугових діагностичних сигналів зі змінною ентропією

Оскільки приголосні звуки окремо відтворити практично неможливо, особливо у випадках коли знімні конструкції задіяно вперше, то їх необхідно поєднувати їх з гармонійними, зокрема “и”, “е”, “у” тощо. При залученні гармонійних сигналів, контур формування при їх відтворенні розташовується на рівні оклюзійних площин фронтальних зубів нижньої щелепи, яка фактично перебуває в стані фізіологічного спокою [8], тобто таке поєднання дозволяє спростити процес відтворення діагностичних сигналів без внесення додаткових спотворень в широкосмугові їх фрагменти, які характеризуються точними точками дотику язика у ротовій порожнині, причому точки утворення таких приголосних звуків розрізняються з механізмом залучення артикуляційних зон, зокрема губна, зубна, коміркова, піднебінна і дорсальна. В ході ортопедичного втручання повними знімними конструкціями найбільш проблемними, з позиції отримання та опрацювання діагностичних сигналів, є палатинальна та лінгвокоміркова зони [8], що відповідно відповідають за чітке відтворення акустичних сигналів звуку “ш” та “с”, які формують стохастичні коливання. Таким чином, для діагностування відновлення артикуляційної функції при використанні знімних конструкцій доцільно обрати тестові акустичні реалізації особливою відтворення яких є залучення зон лінгвокоміркової – це звук “с” та палатинальною – “ш” відповідно. З метою обґрунтування вибору діагностичних реалізацій акустичних сигналів проведено ряд експериментальних досліджень, в ході яких розглянуто різні поєднання звукових фрагментів з погляду зручності відтворення та повторюваності результатів спостережень [9], характерні реалізації ентропійних представлень яких подано на рис. 6.

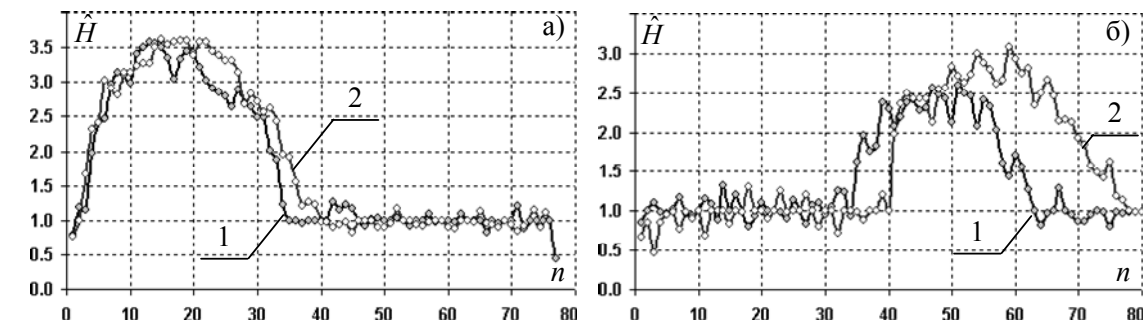


Рис. 6. Ентропійні представлення акустичних реалізацій а) 1-“ис”, 2-“иш”; в) 1-“со”, 2-“шо” поєднання гармонійних та широкосмугових сигналів

З огляду на отримані результати, можна стверджувати, що відтворення акустичних реалізацій для діагностування доцільно починати з гармонійних фрагментів, див.рис.6а та б, оскільки зворотній підхід не забезпечує прийнятної повторюваності спостережень і характеризується зростанням $\sigma_{\hat{H}}$ ентропійного представлення. Тому для діагностування відновлення голосової функції в ході постановки та використання знімних конструкцій доцільно обрати гармонійну реалізацію, звук “и” в поєднанні з широкосмуговими сигналами S_C та S_{III} .

Висновки

Отже, запропонований в [5, 6] метод опрацювання широкосмугових акустичних реалізацій, які зумовлені функціонуванням артикуляційної системи дозволяє використати імовірнісні, зокрема ентропійні, характеристики сигналів як джерело інформаційних ознак при діагностуванні та забезпечити можливість їх кореляційного аналізу для сигналів з малоінформативними спектральними характеристиками. Фактично вперше, такий підхід дозволяє опрацьовувати широкосмугові фрагменти біоакустичних сигналів в сучасних комп'ютерних системах діагностування.

Література

1. Сторчун С.В. Біофізичні та математичні основи інструментальних методів медичної діагностики : навч. посібник / С.В. Сторчун, Я.М. Матвійчик. – Львів : Вид-во «Растр-7», 2009. – 216 с.
2. Itakura F. Minimum Prediction Residual Principle Applied to Speech Recognition : праці наук. конф. IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Proc / Itakura F. – 1975. – Т. 23, № 1. – С. 67–72.
3. Абакумов В. Г. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів: навчальний посібник / В. Г. Абакумов, З. Ю. Готра, С. М. Злепка та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 352 с.
4. Бачинський М. В. Комп'ютерна імітаційна модель вокалізованих фрикативних звуків / М. В. Бачинський, Л. Є. Дедів, В. Г. Дозорський // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». – 2012. – № 1. – С. 149–156.
5. Пат. 88641 Україна, МПК(2009) G06K 9/00 G06F 19/00. Спосіб розпізнавання дискретних сигналів / Мельничук С. І., Федоришин М.Г. (Україна). – заявка № а 2007 01326 ; заявл. 08.02.2007 ; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.
6. Пат. 53463А Україна, МПК(7) А61С19/00. Спосіб обробки даних електроміографічного (ЕМГ) дослідження жувальних м'язів / Пелехан Л.І., Рожко М.М., Мельничук С.І., Андрійців С.С., Ожоган С.Р., Пітик М.І. (Україна). – заявка № 2002064667 ; заявл. 07.06.2002 ; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1.
7. Дозорський В. Модель акустичного сигналу для виявлення порушень стану дихальної системи та голосового апарату як частковий випадок стохастичної коливної системи / Н. Джичка, І. Дедів, В. Дозорський, Я. Драган // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2011. – № 710. – С. 155–159.
8. Kostrica R. Vzťah protetika k fonetice / R. Kostrica // Cs. Stomatol. – 1961. – № 2. – S. 113–126.
9. Мельничук Н.В. Анализ и перспективы использования энтропийных характеристик в восстановлении речевой артикуляции при полном съёмном протезировании / Н.В. Мельничук, Н.М. Рожко, С.И. Мельничук // The scientific and practical journal valeology health - illness - recovery. – Kazakhstan Republic, 2013. – № 3. – С. 35–39.

Рецензія/Peer review : 12.1.2017 р.

Надрукована/Printed :5.2.2017 р.

Рецензент : д.т.н., професор Заміховський Л.М.