

A. V. Gavrilov, G. V. Shevchenko [i dr.]. Ob infrastrukture informacionnoj podderzhki klinicheskoy medicinih Medicinskaya tekhnika. No. 4. 2003. 36–42. (rus). **3.** Vesnenko, A. I., Popov, A. A., Pronenko, M. I. Topo-tipologiya strukturih rozvernutoho klinicheskogo diagnoza v sovremennikh medicinskikh informacionnykh sistemakh i tekhnologiyakh. Kibernetika i sistemnyy analiz. No. 6. 2002. 143-154. (rus). **4.** Dmitrienko, V. D., Povoroznyuk, O. A.. Mnogokriterial'naya ocenka lekarstvennykh preparatov. Informatsionnyy tekhnologii ta komp'yuterna inzheneriya. No. 3. 2009. 144-148. (rus). **5.** Kompendium 2007 – lekarstvenniye preparaty /Pod red. V.N. Kovalenko, A.P. Viktorova. [Elektronnyy resurs] <http://www.compendium.com.ua>. (rus). **6.** Fillips D. A. Garsia-Dias Metodih analiza setey. Per. s angl. Moscow: Mir, 1984. – 648. (rus). **7.** Povorozniuk A.I. Syntez kombinovanoho vyryshalnogo pravyla (VP) u kompiuternykh sistemakh medychnoi diahnozyky Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii. No. 3. 2010. 72–83. (ukr). **8.** M. V. Burcev, A. I. Povoroznyuk. Arkhitektura sistemih podderzhki prinyatiya resheniy v medicine, osnovannoy na kombinirovannom reshayutem pravile. Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu "KhPI". Zbirka naukovykh pracj. Tem. vip.: Informatika i modelyuvannya. – Kharkiv: NTU"KhPI". No. 38. 2012. 26–31. (rus).

Надійшла (received) 16.05.2014

УДК 532.616.1:002.5

С. И. ВЛАДОВ, аспирант, КрНУ им. Михаила Остроградского, Кременчуг;
О. Г. АВРУНИН, д-р техн. наук, ХНУРЕ, Харьков;
В. А. МОСЬПАН, канд. техн. наук, КрНУ им. Михаила Остроградского, Кременчуг;
А. А. ЮРКО, канд. техн. наук, КрНУ им. Михаила Остроградского, Кременчуг;

РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОЙ АПРОБАЦИИ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ В ВИДЕ СОГЛАСОВАННОЙ ДЛИННОЙ ЛИНИИ

В работе представлены результаты тестирования процесса движения крови по сосудам в клинических условиях, которые свидетельствуют о высокой объективности показателей модели системы кровообращения человека в виде неоднородной согласованной длинной линии с распределенными параметрами для определения гемодинамических показателей при диагностировании функциональных нарушений системы кровообращения человека. По результатам клинической апробации доказано, что данная модель может использоваться для определения объективных показателей движения крови по сосудам при функциональных нарушениях системы кровообращения человека за критериями доказательной медицины.

Ключевые слова: модель, длинная линия, система кровообращения.

Введение. В настоящее время использование методов математического моделирования применительно к исследованию течения крови в системе кровообращения человека – гемодинамике – является исключительно важной и актуальной задачей, над которой работают большое количество авторов, научных коллективов и организаций. Эта задача является актуальной, поскольку болезни, связанные с нарушением функции системы кровообращения человека, уверенно лидируют среди главных причин смертности во всем мире.

© С. И. ВЛАДОВ, О. Г. АВРУНИН, В. А. МОСЬПАН, А. А. ЮРКО, 2014

Проведение экспериментальных исследований. Модели течения крови также различаются по принципам и закономерностям, положенным в их основу. Широкого распространения получили модели прямой аналогии с электрическими схемами [1–5], в частности, представление участка сосуда в виде длинной линии [6], который характеризуется передаточной функцией:

$$\underline{H}(j\omega) = H \cdot e^{-l \cdot \sqrt{(R_0 + j\omega L_0) \cdot j\omega C_0}}; \quad (1)$$

где H – модуль коэффициента передачи (в норме $H = 1$); l – длина сосуда; R_0, L_0, C_0 – погонные параметры длинной линии, которые описываются выражениями [6, 7]:

$$R_0 = \frac{8 \cdot \pi \cdot \eta}{S^2}; \quad C_0 = \frac{2 \cdot r \cdot S}{E \cdot h}; \quad L_0 = \frac{\rho}{S}; \quad (2)$$

где η – вязкость крови, ρ – плотность крови; r – радиус поперечного сечения сосуда; $S = \pi \cdot r^2$ – площадь поперечного сечения сосуда; h – толщина стенки сосуда; E – модуль упругости стенки сосуда, который определяется как тензор упругости при симметричной нагрузке [9, 10]:

$$C = \frac{\partial^2 F}{\partial \varepsilon^2} = \frac{\partial^2 F(\varepsilon)}{\partial \varepsilon^2} \cdot \left(\frac{\partial^2 u(x)}{\partial x^2} \right)^2; \quad (3)$$

где u – вектор, который описывает сдвиг точки стенки сосуда.

В общем виде процесс прохождения пульсовой волны через участок сосуда описывается выражением [6–8]:

$$U_{\text{вых}}(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \left(H(j\omega) \cdot \int_0^T A_C \cdot \sin^2(\omega_1 \cdot t) \cdot e^{-j\omega t} dt \right) \cdot e^{j\omega t} d\omega; \quad (4)$$

где A_C – значение систолического давления в левом желудочке сердца; $\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{чсс}}$ – частота первой гармоники; $f_{\text{чсс}}$ – частота сердечных сокращений.

Разработанная модель системы кровообращения человека в виде неоднородной согласованной длинной линии с распределенными параметрами [6] в апреле 2014 года прошла клиническую апробацию в Кременчугском областном госпитале инвалидов войны. Исходными данными являлись результаты обследования (на базе кардиологического отделения Кременчугского областного госпиталя инвалидов войны) N пациентов, разделенных на две группы по $N / 2$ человек в норме (состояние N_1) и при патологиях (состояние N_2).

В процессе прохождения клинической апробации были исследованы следующие патологические состояния пациентов: артериальная гипертония в магистральных сосудах головного мозга, аортальный стеноз, ишемический инсульт во внутренних сонных артериях и ишемическая болезнь сердца.

Диагностика артериальной гипертонии в магистральных сосудах головного мозга основывается на результате прохождения пульсовой волны через ряд магистральных сосудов головного мозга при помощи выражения (4) согласно схеме Виллизиевого круга кровообращения [11].

Диагностика ишемического инсульта во внутренних сонных артериях проводится согласно выражениям:

– в левой внутренней сонной артерии:

$$U_2(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{Z(j\omega)} \cdot \frac{\underline{Y}_{T1}}{\frac{\underline{Z}_{T1}}{2} + \underline{Y}_{T1}} \cdot \frac{\frac{\underline{Y}_{\Pi2}}{2} \cdot \left(\underline{Z}_{\Pi2} + \frac{\underline{Y}_{\Pi2}}{2} \right)}{\frac{\underline{Z}_{\Pi2}}{2} + \underline{Y}_{\Pi2}} + \frac{\underline{Y}_{\Pi3}}{2} \cdot \left(\underline{Z}_{\Pi3} + \frac{\underline{Y}_{\Pi3}}{2} \right)}{\underline{Z}_{\Pi2} + \underline{Y}_{\Pi2} + \frac{\underline{Z}_{\Pi3}}{2} + \underline{Y}_{\Pi3}} \right) \times \frac{\underline{Z}_{\Pi3} + \frac{\underline{Y}_{\Pi3}}{2}}{\underline{Z}_{\Pi3} + \underline{Y}_{\Pi3}} \cdot \frac{3}{4} \cdot e^{-l_1 \cdot \sqrt{(R_{01} + j\omega L_{01}) \cdot j\omega C_{01}}} \cdot \int_0^T A_C \cdot \sin^2(\omega_1 \cdot t) \cdot e^{-j\omega t} dt \cdot e^{j\omega t} d\omega; \quad (5)$$

– в правой внутренней сонной артерии:

$$U_2(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{Z(j\omega)} \cdot \frac{\underline{Y}_{T1}}{\frac{\underline{Z}_{T1}}{2} + \underline{Y}_{T1}} \cdot \frac{\frac{\underline{Y}_{\Pi2}}{2} \cdot \left(\underline{Z}_{\Pi2} + \frac{\underline{Y}_{\Pi2}}{2} \right)}{\frac{\underline{Z}_{\Pi2}}{2} + \underline{Y}_{\Pi2}} + \frac{\underline{Y}_{\Pi3}}{2} \cdot \left(\underline{Z}_{\Pi3} + \frac{\underline{Y}_{\Pi3}}{2} \right)}{\underline{Z}_{\Pi2} + \underline{Y}_{\Pi2} + \frac{\underline{Z}_{\Pi3}}{2} + \underline{Y}_{\Pi3}} \right) \times \frac{\underline{Z}_{\Pi3} + \frac{\underline{Y}_{\Pi3}}{2}}{\underline{Z}_{\Pi3} + \underline{Y}_{\Pi3}} \cdot \frac{3}{4} \cdot e^{-l_1 \cdot \sqrt{(R_{01} + j\omega L_{01}) \cdot j\omega C_{01}}} \cdot e^{-l_2 \cdot \sqrt{(R_{02} + j\omega L_{02}) \cdot j\omega C_{02}}} \cdot \int_0^T A_C \cdot \sin^2(\omega_1 \cdot t) \cdot e^{-j\omega t} dt \cdot e^{j\omega t} d\omega. \quad (6)$$

где $R_{01}, L_{01}, C_{01}, R_{02}, L_{02}, C_{02}$ – погонные параметры моделей аорты и безымянной артерии соответственно, которые описываются выражениями (2); $\underline{Z}_{\Pi2}, \underline{Y}_{\Pi2}, \underline{Z}_{\Pi3}, \underline{Y}_{\Pi3}$ – параметры П-образных схем замещения моделей внешней сонной и внутренней сонной артерий соответственно; $\underline{Z}_{T1}, \underline{Y}_{T1}$ – параметры Т-образной схемы замещения модели общей сонной артерии (рис. 1), которые определяются согласно [12].

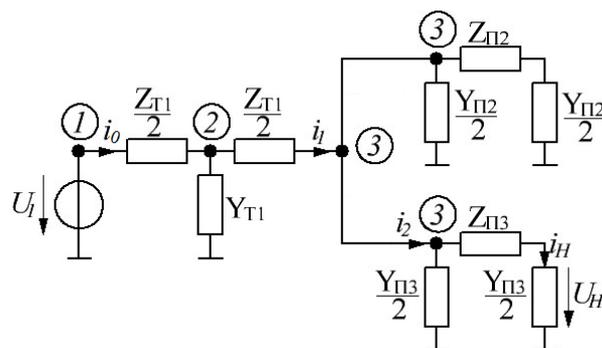


Рис. 1 – Схема замещения моделей общей, внешней и внутренней сонных артерий в виде Т- и П-образных четырехполюсников

Диагностика аортального стеноза производится путем нахождения значения градиента кровяного давления между аортальным клапаном и левым желудочком сердца, который в норме не превышает 20:

$$\Delta U = \frac{A_c - U_{cmax}}{l_1} \cdot \frac{1}{g \cdot \rho}; \quad (7)$$

$g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; l_1 – толщина стенки аортального клапана; U_{cmax} – максимальное (систолическое) значение кровяного давления при открытии аортального клапана, которое определяется результатом анализа переходного процесса движения крови в аорте [13] согласно выражению:

$$\begin{aligned}
 U_c(t) = & -e^{\left(\frac{R}{2L} + j \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{L} \right)^2 - 4 \frac{1}{LC}} \right) t} \cdot A_c \cdot \sin^2(\omega_1 \cdot t) \cdot \left(\frac{-\frac{R}{2 \cdot L}}{j \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{L} \right)^2 - 4 \cdot \frac{1}{L \cdot C}}} - \frac{1}{2} \right) + \\
 & + e^{\left(\frac{R}{2L} - j \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{L} \right)^2 - 4 \frac{1}{LC}} \right) t} \cdot A_c \cdot \sin^2(\omega_1 \cdot t) \cdot \left(\frac{-\frac{R}{2 \cdot L}}{j \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{L} \right)^2 - 4 \cdot \frac{1}{L \cdot C}}} + \frac{1}{2} \right) + \\
 & + \frac{A_c \cdot \sin^2(\omega_1 \cdot t)}{j \cdot L \cdot C \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{L} \right)^2 - 4 \cdot \frac{1}{L \cdot C}}} \cdot \left(\frac{e^{\left(\frac{R}{2L} + j \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{L} \right)^2 - 4 \frac{1}{LC}} \right) t} - 1}{-\frac{R}{2 \cdot L} + j \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{L} \right)^2 - 4 \cdot \frac{1}{L \cdot C}}} - \right. \\
 & \left. - \frac{e^{\left(\frac{R}{2L} - j \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{L} \right)^2 - 4 \frac{1}{LC}} \right) t} - 1}{-\frac{R}{2 \cdot L} - j \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{L} \right)^2 - 4 \cdot \frac{1}{L \cdot C}}} \right); \quad (8)
 \end{aligned}$$

Диагностика ишемического инсульта определяется результатом прохождения пульсовой волны через левую коронарную артерию при помощи выражения (4).

Для назначения диагностических исследований должны быть известны специфические показания. Чтобы соответствовать этим показаниям,

исследования должны быть достаточно точными. Кроме того, они должны быть как можно менее дорогостоящими и (или) наименее опасными из всех возможных в данном случае тестов. Нет абсолютно точных диагностических методов, и врачам часто бывает трудно интерпретировать их результаты. В связи с этим чрезвычайно важно знать несколько наиболее часто используемых при анализе результатов исследований и в эпидемиологии терминов, включая распространенность, чувствительность, специфичность, положительную предсказательную ценность и отрицательную предсказательную ценность. В табл. 1–4 приведены результаты клинической апробации, результатом которой являлось определение прогностической ценности диагностического теста [14].

Таблица 1 – Результаты вычислений основных статистических показателей (исследование пациентов с симптомами артериальной гипертонии, Кременчугский областной госпиталь для инвалидов войны)

Результаты теста	Патологическое состояние ($N = 40$)	
	Присутствует ($N_1 = 20$)	Отсутствует ($N_2 = 20$)
Положительные	$A = 17$ – истинно положительные	$B = 2$ – ложноположительные
Негативные	$B = 3$ – ложноотрицательные	$\Gamma = 18$ – истинно отрицательные
Основные показатели		
Название показателя	Формула / значение	Терминологическое описание
Распространение (априорная вероятность)	$\frac{A+B}{A+B+B+\Gamma} = 0,5$	число больных / общее число обследуемых
Чувствительность	$\frac{A}{A+B} = 0,85$	число истинно положительных результатов / общее число больных
Специфичность	$\frac{\Gamma}{B+\Gamma} = 0,9$	число истинно отрицательных результатов / число пациентов без данного заболевания
Частота ложноотрицательных результатов	$\frac{B}{A+B} = 0,15$	число ложноотрицательных результатов / число пациентов без данного заболевания
Частота ложноположительных результатов	$\frac{B}{B+\Gamma} = 0,1$	число ложноположительных результатов / число пациентов без данного заболевания
Положительная предсказательная ценность	$\frac{A}{A+B} = 0,895$	число истинно положительных результатов / число всех положительных результатов

Продолжение таблицы 1

Негативная предсказательная ценность	$\frac{\Gamma}{B + \Gamma} = 0,857$	число истинно положительных результатов / число всех отрицательных результатов
Общая точность	$\frac{A + \Gamma}{A + B + B + \Gamma} = 0,875$	число истинно положительных результатов и число истинно отрицательных результатов / число всех результатов

Таблица 2 – Результаты вычислений основных статистических показателей (исследование пациентов с симптомами аортального стеноза, Кременчугский областной госпиталь для инвалидов войны)

Результаты теста	Патологическое состояние ($N = 46$)	
	Присутствует ($N_1 = 23$)	Отсутствует ($N_2 = 23$)
Положительные	$A = 19$ – истинно положительные	$B = 5$ – ложноположительные
Негативные	$B = 4$ – ложноотрицательные	$\Gamma = 18$ – истинно отрицательные
Основные показатели		
Название показателя	Формула / значение	Терминологическое описание
Распространение (априорная вероятность)	$\frac{A + B}{A + B + B + \Gamma} = 0,5$	число больных / общее число обследуемых
Чувствительность	$\frac{A}{A + B} = 0,826$	число истинно положительных результатов / общее число больных
Специфичность	$\frac{\Gamma}{B + \Gamma} = 0,783$	число истинно отрицательных результатов / число пациентов без данного заболевания
Частота ложноотрицательных результатов	$\frac{B}{A + B} = 0,174$	число ложноотрицательных результатов / число пациентов без данного заболевания
Частота ложноположительных результатов	$\frac{B}{B + \Gamma} = 0,217$	число ложноположительных результатов / число пациентов без данного заболевания
Положительная предсказательная ценность	$\frac{A}{A + B} = 0,792$	число истинно положительных результатов / число всех положительных результатов

Продолжение таблицы 2

Негативная предсказательная ценность	$\frac{\Gamma}{B + \Gamma} = 0,818$	число истинно положительных результатов / число всех отрицательных результатов
Общая точность	$\frac{A + \Gamma}{A + B + B + \Gamma} = 0,804$	число истинно положительных результатов и число истинно отрицательных результатов / число всех результатов

Таблица 3 – Результаты вычислений основных статистических показателей (исследование пациентов с симптомами ишемического инсульта во внутренних сонных артериях, Кременчугский областной госпиталь для инвалидов войны)

Результаты теста	Патологическое состояние ($N = 70$)	
	Присутствует ($N_1 = 35$)	Отсутствует ($N_2 = 35$)
Положительные	$A = 33$ – истинно положительные	$B = 4$ – ложноположительные
Негативные	$B = 2$ – ложноотрицательные	$\Gamma = 31$ – истинно отрицательные
Основные показатели		
Название показателя	Формула / значение	Терминологическое описание
Распространение (априорная вероятность)	$\frac{A + B}{A + B + B + \Gamma} = 0,5$	число больных / общее число обследуемых
Чувствительность	$\frac{A}{A + B} = 0,943$	число истинно положительных результатов / общее число больных
Специфичность	$\frac{\Gamma}{B + \Gamma} = 0,886$	число истинно отрицательных результатов / число пациентов без данного заболевания
Частота ложноотрицательных результатов	$\frac{B}{A + B} = 0,057$	число ложноотрицательных результатов / число пациентов без данного заболевания
Частота ложноположительных результатов	$\frac{B}{B + \Gamma} = 0,114$	число ложноположительных результатов / число пациентов без данного заболевания
Положительная предсказательная ценность	$\frac{A}{A + B} = 0,892$	число истинно положительных результатов / число всех положительных результатов
Негативная предсказательная ценность	$\frac{\Gamma}{B + \Gamma} = 0,939$	число истинно отрицательных результатов / число всех отрицательных результатов

Продолжение таблицы 3

Общая точность	$\frac{A + \Gamma}{A + B + B + \Gamma} = 0,914$	число истинно положительных результатов и число истинно отрицательных результатов / число всех результатов
----------------	---	--

Таблица 4 – Результаты вычислений основных статистических показателей (исследование пациентов с симптомами ишемической болезни сердца, Кременчугский областной госпиталь для инвалидов войны)

Результаты теста	Патологическое состояние ($N = 52$)	
	Присутствует ($N_1 = 26$)	Отсутствует ($N_2 = 26$)
Положительные	$A = 22$ – истинно положительные	$B = 5$ – ложноположительные
Негативные	$B = 4$ – ложноотрицательные	$\Gamma = 21$ – истинно отрицательные
Основные показатели		
Название показателя	Формула / значение	Терминологическое описание
Распространение (априорная вероятность)	$\frac{A + B}{A + B + B + \Gamma} = 0,5$	число больных / общее число обследуемых
Чувствительность	$\frac{A}{A + B} = 0,846$	число истинно положительных результатов / общее число больных
Специфичность	$\frac{\Gamma}{B + \Gamma} = 0,808$	число истинно отрицательных результатов / число пациентов без данного заболевания
Частота ложноотрицательных результатов	$\frac{B}{A + B} = 0,154$	число ложноотрицательных результатов / число пациентов без данного заболевания
Частота ложноположительных результатов	$\frac{B}{B + \Gamma} = 0,192$	число ложноположительных результатов / число пациентов без данного заболевания
Положительная предсказательная ценность	$\frac{A}{A + B} = 0,815$	число истинно положительных результатов / число всех положительных результатов
Негативная предсказательная ценность	$\frac{\Gamma}{B + \Gamma} = 0,84$	число истинно отрицательных результатов / число всех отрицательных результатов
Общая точность	$\frac{A + \Gamma}{A + B + B + \Gamma} = 0,827$	число истинно положительных результатов и число истинно отрицательных результатов / число всех результатов

Выводы. В ходе проведения клинической апробации модели системы кровообращения человека в виде согласованной длинной линии были рассчитаны основные статистические показатели, к которым относятся чувствительность, специфичность, предсказательная ценность, точность, что позволило определить адекватность модели, как метода диагностики ряда распространенных заболеваний, связанных с движением крови по сосудам. В ходе работы была установлена общая точность модели, которая для диагностики того или иного заболевания находится в пределах от 0,8 до 0,9, что дает возможность утверждать об адекватности модели системы кровообращения человека в виде согласованной длинной линии как метода диагностики ряда заболеваний системы кровообращения человека.

Список литературы: 1. Carlo Di A. A heterogeneous approach for modelling blood flow in an arterial segment [Текст] / Carlo Di A., Nardinocchi P., Pontrelli G., Teresi L. // Simulation in Biomedicine. – 2003. – V.5. – Pp. 69–78. 2. Parlikar T. A. Cycle-Averaged Models of Cardiovascular Dynamics [Текст] / T. A. Parlikar, T. S. Heldt, G. C. Verghese // IEEE Transactions On Circuits And Systems. – I: Regular Papers, 2006. – V. 53(11). – Pp. 2459–2468. 3. Formaggia L. Multiscale modelling of the circulatory system: a preliminary analysis [Текст] / Formaggia L., Nobile F., Quarteroni A., Veneziani A. // Computing and Visualization in Science. – 1999. – V.2. – Pp. 75–83. 4. Tsung-Chieh Lee. Electrical lumped model for arterial vessel beds [Текст] / Tsung-Chieh Lee, Ke-Feng Huang, Ming-Liang Hsiao, Shih-Tsang Tang, Sheunn Tsong Young // Journal of computer methods and Programs in biomedicine. – 2004. – V.73. – Pp. 209–219. 5. Olufsen M. S. Deriving lumped models for blood flow and pressure in the systemic arteries [Текст] / M. S. Olufsen, A. Nadim // Journal of mathematical biosciences and engineering. – 2004. – V.1. – P. 61–88. 6. Владов С. І. Модель системи кровообігу людини у вигляді неоднорідної узгодженої довгої лінії з розподіленими параметрами [Текст] / С. І. Владов, В. О. Моспан // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 2/2012 (73). – С. 56–59. 7. Владимиров Ю. А. Биофизика / Владимиров Ю. А., Рошупкин Д. И., Потапенко А. Я., Деев А. И. – М.: Медицина, 1983. – С. 225–236. 8. Владов С. І. Побудова моделі сигналу пульсової хвилі як вхідного сигналу моделі системи кровообігу людини у вигляді узгодженої довгої лінії [Текст] / С. І. Владов, В. О. Моспан, О. О. Юрко // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Ключові аспекти наукової діяльності – 2012», Польща, Пшемисль. – Przemysl: Sp. z o. o. «Nauka i studia», 2012. – Т. 14. – С. 65–69. 9. Vladov S. Design of the deformed state of blood vessels [Текст] / S. Vladov, V. Mospan, O. Yurko // Nauka i studia. – Przemysl: Sp. z o. o. "Nauka i studia", 2013. – NR 7(75), 2013. – Pp. 72–77. 10. Владов С. І. Визначення вектора радикального переміщення за схемою циліндричної оболонки кровеносної судини при симетричному навантаженні [Текст] / С. І. Владов, В. О. Моспан, О. О. Юрко // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції "Наукова індустрія європейського континенту – 2012", Прага, 27 листопада – 05 грудня 2012 р. – Прага: Publishing House "Education and Science" s.r.o., 2012. – Том 20. – С. 22–29. 11. Схема артерий виллизиева круга / [Электронный ресурс]: Медицинская библиотека. – 2010. – Режим доступа: http://www.medchitalka.ru/detskayanevrologiya /dopolnitelnye_illustriacii/ 1638.html. – Название с экрана. 12. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи [Текст]: Учеб. для электротехн., энерг., приборостроит. спецвузов. 8-е изд., перераб. и доп. / Л. А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1984. – С. 113–114. 13. Владов С. І. Дослідження перехідного процесу руху крові в аорті [Текст] / С. І. Владов // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 5/2012 (76). – С. 24–27. 14. Диагностические исследования: показания, точность и ценность / [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.rusmedserver.ru/med/haris/8.html>. – Название с экрана.

Bibliography (transliterated): 1. Di A. Carlo, P. Nardinocchi, G. Pontrelli and L. Teresi (2003), "A heterogeneous approach for modelling blood flow in an arterial segment", Simulation in Biomedicine,

Vol. 5. 69–78. **2.** T.A. Parlikar, T.S. Heldt and G.C. Verghese (2006) "Cycle-Averaged Models of Cardiovascular Dynamics", IEEE Transactions On Circuits And Systems, Vol. 53(11), 2459–2468. **3.** L. Formaggia, F. Nobile, A. Quarteroni and A. Veneziani (1999) "Multiscale modelling of the circulatory system: a preliminary analysis", Computing and Visualization in Science, Vol. 2, 75–83. **4.** Tsung-Chieh Lee, Ke-Feng Huang, Ming-Liang Hsiao, Shih-Tsang Tang and Sheunn Tsong Young (2004) "Electrical lumped model for arterial vessel beds", Journal of computer methods and Programs in biomedicine, Vol. 73, 209–219. **5.** M. S. Olufsen and A. Nadim (2004) "Deriving lumped models for blood flow and pressure in the systemic arteries", Journal of mathematical biosciences and engineering, Vol. 75, 61–88. **6.** Vladov S. I., Mospan V. O. (2012), "Model of the system circulation of blood of human as heterogeneous concerted-noah to long line with the up-diffused parameters", Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vol. 2, no. 73, 41–45. **7.** Vladimirov Y. A., Roschupkin D. I., Potapenko A. Y. and Deev A. I. (1983), Biofizika [Biophysics], Medicine, Moscow, Russia. **8.** Vladov S. I., Mospan V. O. and Yurko O. O. (2012), "Construction of model of signal of pulse wave as an entrance signal of model of the human blood circulation system as an adjusted long line", Materialy VIII Mizhnarodnoi naukovo-practichnoi konferentsii "Kluchovi aspekty naukovoi diyalnosti – 2012" [Proceedings of the 8th International scientifically to the practical conference "Key aspects of scientific activity – 2012"], Przemysl, Sp. z o.o. "Nauka i studia", January, 7–15. 2012. 65–69. **9.** S. Vladov, V. Mospan and O. Yurko (2013) "Design of the deformed state of blood vessels", Nauka i studia, Vol. 75, 72–77. **10.** Vladov S. I., Mospan V. O. and Yurko O. O. (2012), "Determination of the radical movement vector scheme cylindrical shell with symmetric blood vessel loading", Materialy VIII Mizhnarodnoi naukovo-practichnoi konferentsii "Naukova industria evropeiskogo kontinentu – 2012" [Proceedings of the 8th International scientifically to the practical conference "Scientific industry European continent – 2012"], Praga, Publishing House "Education and Science" s.r.o., November 27 – December 5. 2012. 22–29. **11.** "The scheme of the circle of Willis arteries", (2010), Medical Library, [Electronic resource] available at: http://www.medchitalka.ru/detskaya_nevrologiya/dopolnitelnye_illustriacii/1638.html. **12.** Bessonov L. A. (1984), Teoreticheskie osnovi elektrotehiki: Elektricheskie tsepi: Uchebnik dlya elektrotehicheskikh, energeticheskikh, priborostroitelnykh spetsvuzov, Vosmoe izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe [Theory of Electrical: Electrical circuits: Proc. for electrical, power, instrument special high schools. Eighth edition, revised and supplemented], High School, Moscow, Russia. **13.** Vladov S. I. (2012), "Research of transitional process of aortic blood circulation", Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vol. 5, no. 76, 24–27. **14.** "Diagnosis: indications, accuracy and value", [Electronic resource] available at: <http://www.rusmedserver.ru/med/haris/8.html>.

Надійшла (received) 27.05.2014

УДК 658.562; 621.38

Я. В. НОСОВА, студ., ХНУРЭ, Харьков;

О. Г. АВРУНИН, д-р техн. наук, проф., ХНУРЭ, Харьков;

Ю. М. КАЛАШНИК, канд. мед. наук, ХНМУ, Харьков;

Н. А. ШУШЛЯПИНА, канд. мед. наук, ХНМУ, Харьков;

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ВЕРХНИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ

В статье обосновывается необходимость разработки новых неинвазивных методов диагностики оториноларингологических заболеваний, предлагается структурная схема биотехнической системы оценки слизистой оболочки верхних дыхательных путей человека, а также информационная модель процесса обработки изображения слизистой оболочки полости носа, обоснован выбор информативных показателей эндоскопического снимка

© Я. В. НОСОВА, О. Г. АВРУНИН, Ю. М. КАЛАШНИК, Н. А. ШУШЛЯПИНА, 2014