

УДК 621.372

А.Ф. РОЗВАДОВСКИЙ, В.С. ЛАЗЕБНИЙ, В.В. ПИЛИНСКИЙ**ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭМС ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ В ЛЭП**

Рассмотрена схема организации комбинированной (гибридной – проводно-беспроводной) передачи данных по проводам линий электропередачи (ЛЭП) с учетом возникающих при этом интерференционных помех. Для снижения уровня этих помех с целью обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) предложено дополнить системы передачи информации в силовых цепях (Power Line Communication – PLC) дополнительными заграждающими фильтрами на основе параллельного колебательного контура. Выполнено моделирование амплитудно-частотных характеристик данных фильтров с учетом паразитных параметров компонентов в схемах замещения и предложены рекомендации по их применению.

Ключевые слова: PLC, беспроводная передача, интерференция, помехоподавляющие фильтры, моделирование, ЭМС.

Введение. Эффективная работа современных энергосистем требует регулярный обмен информацией между энергетическими объектами, удаленными один от другого на большие расстояния. Информация содержит как телеметрические данные, так и сведения служебного характера для диспетчерских пунктов а также для подвижных ремонтных бригад. Для передачи такой информации необходима разветвленная сеть каналов связи, в качестве которых, в частности, используются непосредственно линии электропередачи (ЛЭП) [1].

Технология передачи данных по линиям электропитания (Power Line Communication – PLC), получив вначале распространение в энергетике для передачи телеметрических данных по линиям электропитания [2, 3], нашла дальнейшее применение в системах контроля и управления удаленными объектами [4], автоматизированных системах коммерческого учета электроэнергии [5], локальных вычислительных сетях [6, 7], в технологии «последней мили» для доступа к широкополосному Интернету [8] и др.

Действенной и эффективной областью применения PLC технологии остается передача данных по проводам ЛЭП. В настоящее время все большее распространение получают конвергентные системы передачи данных по ЛЭП, включающие помимо самих электрических проводов радиоканал, оптические каналы связи и др. [9, 10].

С учетом того, что электрические провода ЛЭП изначально не были предназначены для передачи высокочастотной информации, актуальной остается задача обеспечения их электромагнитной совместимости (ЭМС) с другими устройствами. С этой целью разработаны и приняты стандарты, устанавливающие для них нормы и методы измерений помехоэмиссии [11, 12, 13].

Несмотря на достигнутые успехи и имеющиеся наработки в данной области, появление новых комбинированных решений, приводит к возникновению новых задач по обеспечению ЭМС как внутри таких систем, так и с другими устройствами.

Целью статьи является поиск технических решений, позволяющих снизить интерференционные помехи внутри проводно-беспроводной (гибридной) системы передачи данных вследствие интерференции служебных сигналов энергетических служб и сигналов системы PLC от антенн приемопередатчиков и

проводов ЛЭП с целью обеспечения их электромагнитной совместимости.

Основная часть. Одной из основных задач при построении PLC систем для передачи данных по ЛЭП является обеспечение необходимой дальности передачи. Для этого, в частности, используются решения, с применением беспроводных приемопередатчиков. В качестве примера реализации такой системы для трехпроводной ЛЭП приведена схема на рис. 1 [10].

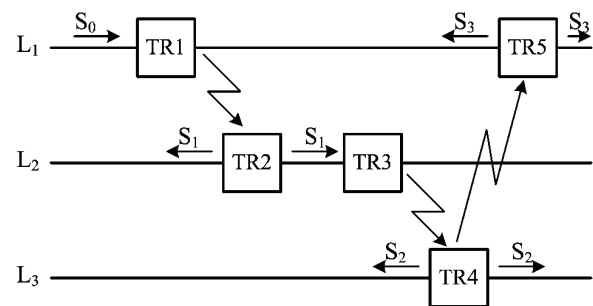


Рисунок 1 – Схема проводно-беспроводной PLC системы

Предполагается, что каждый из приемопередатчиков TR1, TR2, ..., TR5 имеет встроенные антенны (одну или две), использующиеся на передачу и на прием. А для уменьшения интерференции высокочастотного сигнала в проводах ЛЭП L1, L2, L3 в этих же приемопередатчиках осуществляется преобразование частоты (сигналы S_0 , S_1 , S_2 , S_3 передаются на различных несущих).

Параметры помехоэмиссии проводов ЛЭП определяются условиями распространения вдоль них электромагнитных волн. Данная задача подробно рассмотрена в работе [14].

При этом следует учитывать, что собственно провода ЛЭП также можно трактовать как приемопередающие антенны. И в данном случае провода ЛЭП L1, L2, L3 необходимо рассматривать как одиночные проводники с токами [15].

Передача информации по линиям электропередачи обычно реализована в диапазоне высоких частот с нижней границей 18 кГц (для распределительных сетей 6-35 кВ) и 36 кГц (для сетей 110 кВ и выше). Верхняя граница ВЧ диапазона принята равной 600 кГц для всех классов электросетей [16].

С учетом того, что длина излучающего провода ЛЭП обычно значительно больше длины волны пере-

даваемого сигнала, то предполагаем, что электромагнитная волна распространяется вдоль бесконечно длинного проводника и ее отраженной компонентой можно пренебречь. В этом случае напряженность поля излучения равна [15]:

$$E_{\theta} = -j60I_0 \sin \theta \frac{\sin \left[\frac{kL}{2}(1 - \cos \theta) \right]}{1 - \cos \theta} \frac{\exp(jkR - j\omega t)}{R}, \quad (1)$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; I_0 – амплитуда тока; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; L – длина излучающего провода; θ – угол, отсчитываемый от оси излучающего провода; R – расстояние до точки наблюдения; ω – круговая частота сигнала.

На рис. 2 приведены нормированные диаграммы направленности по характеристике направленности, как фрагмента из (1).

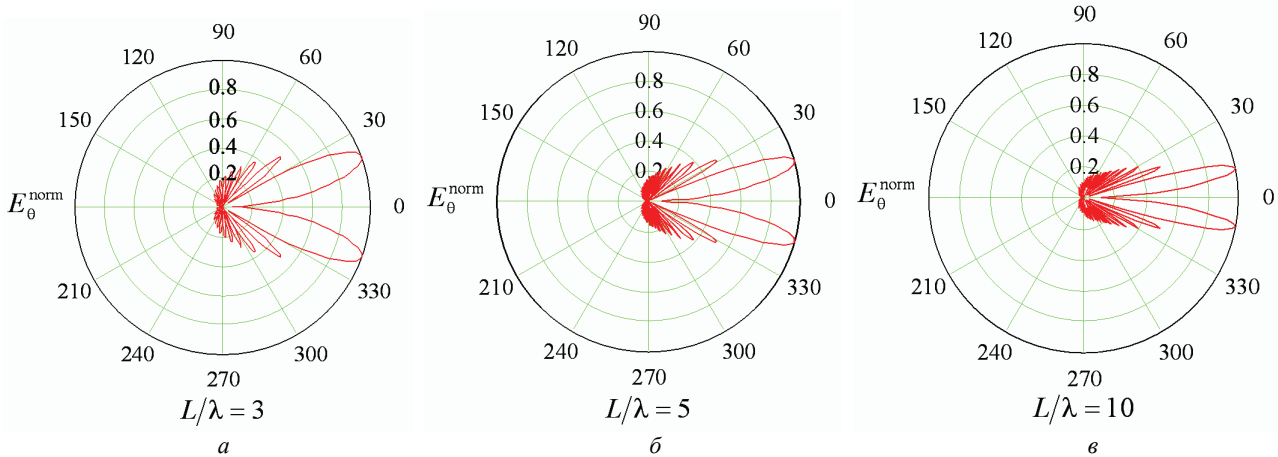


Рисунок 2 – Нормированные диаграммы направленности для различной длины одиночного излучающего проводника

Увеличение длины излучающего проводника приводит к тому, что максимум излучения приближен к его оси. Приведенные на рис. 2 нормированные к максимальному значению E_{θ}^{\max} диаграммы направленности $E_{\theta}^{\text{norm}} = |E_{\theta}|/|E_{\theta}^{\max}|$ для относительной длины провода $L/\lambda = 3; 5; 10$, соответственно, рис. 2, а, рис. 2, б, рис. 2, в.

При этом может иметь место наложение диаграмм направленности передающей антенны приемопередатчика и излучающего провода ЛЭП (рис. 3).

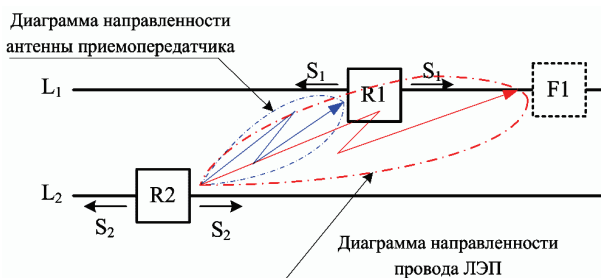


Рисунок 3 – Наложение диаграмм направленности антенны приемопередатчика и излучающего проводника ЛЭП

Таким образом, в результате излучения провода L_2 имеет место интерференция сигналов S_1 и S_2 в окрестности приемопередатчика TR1, что может быть устранено или ослаблено при установке дополнительного заграждающего фильтра F1.

С учетом того, что наибольшее распространение для передачи ВЧ сигнала по проводам ЛЭП получила схема «фаза-земля» [16], использование обычных полосовых или заграждающих фильтров затруднительно, так как необходимо предусмотреть соединение с

«землей» [17, 18].

Однако данная схема включения может привести к короткому замыканию высоковольтных проводов ЛЭП через элементы фильтров на «землю». Поэтому чаще применяют схемы разделительных фильтров, построенных на основе колебательных контуров [16] (рис. 4).

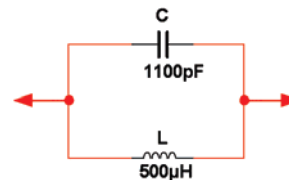


Рисунок 4 – Упрощенная схема разделительного фильтра

Данный фильтр по сути является параллельным колебательным контуром. Для моделирования его характеристик воспользуемся программным пакетом Multisim 12 [19].

Рассмотрим частный случай. Предположим, что в результате интерференции сигнала от передающей антенны приемопередатчика и сигнала, излучаемого проводником ЛЭП, возникла интерференционная помеха на частоте 213 кГц.

Для ее ослабления включим в разрыв проводов ЛЭП разделительный фильтр. Зададим значение его емкости равной $C = 1100$ пФ и индуктивности $L = 500$ мкГн. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) такого фильтра, полученная в программной среде Multisim 12, приведена на рис. 5.

В данном случае центральная частота, вырезаемая фильтром, приведенным на рис. 4, равна $f = 213,342$ кГц, при этом ослабление сигнала на данной частоте равно $\Delta = -37,459$ дБ. Ширина полосы, в пределах которой сигнал ослабляется на 10 дБ, равна $\Delta f \approx 20$ кГц (см. рис. 5).

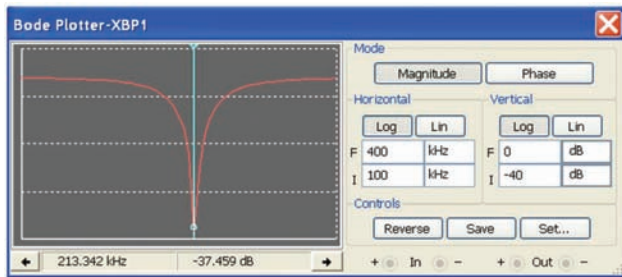


Рисунок 5 – Амплитудно-частотная характеристика параллельного частотного контура на рис. 4, полученная в Multisim 12

Важный фактор состоит так же в том, что необходимо учитывать влияние конструктивных параметров, а также внешних факторов на значение номиналов реактивных элементов фильтра.

Рассмотрим, как изменится АЧХ фильтра с учетом паразитных емкостей, индуктивностей и сопротивлений. Для этого заменим индуктивность L и емкость C фильтра, приведенного на рис. 4 эквивалентными схемами замещения, приведенными на рис. 6 [20].

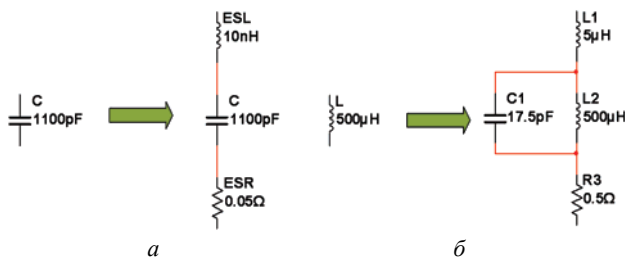


Рисунок 6 – Модели электронных компонентов: а – конденсатор; б – катушка индуктивности

Для реального конденсатора существенны эквивалентная последовательная индуктивность (ESL) и эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) (рис. 6, а).

Катушка индуктивности имеет паразитную емкость C_{coil} , которая образует параллельный колебательный контур, и индуктивность рассеяния и активное сопротивление (см. рис. 6, б).

Параметры паразитных элементов с учетом разброса значений приведены в табл. 1 [21].

Таблица 1 – Характерные паразитные параметры компонентов

Компонент	Паразитный параметр	Типичный разброс
Конденсатор	Эквивалентное сопротивление, ESR	0,05 – 10 Ом
	Эквивалентная индуктивность, ESL	10 – 100 нГн
Дроссель	Индуктивность рассеяния, L_{dis}	1 – 8% от L (обмотки)
	Емкость обмоток, C_{coil}	10 – 30 пФ

С учетом вышесказанного упрощенная схема из рис. 4 трансформирована в представленную на рис. 7.

АЧХ фильтра с учетом схемы замещения (см. рис. 7) приведена на рис. 8.

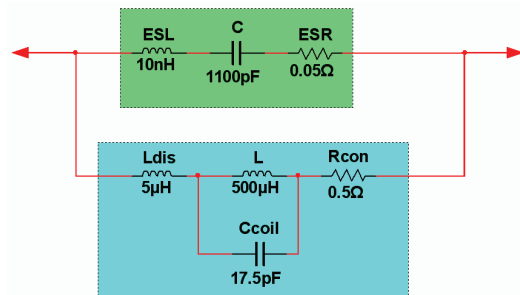


Рисунок 7 – Схема разделительного фильтра с учетом паразитных параметров элементов

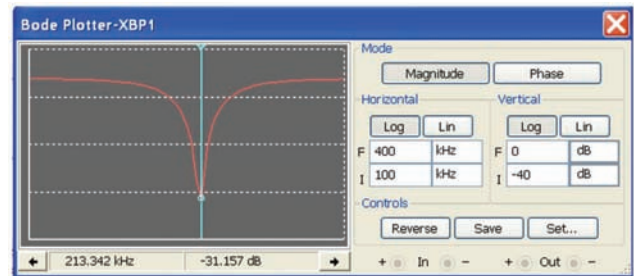


Рисунок 8 – Амплитудно-частотная характеристика параллельного частотного контура на рис. 7, полученная в Multisim 12

Учет паразитных параметров компонентов фильтра (рис. 7) не приводит к изменению вырезаемой им центральной частоты. Она остается неизменной и равна $f = 213,342$ кГц. Однако ослабление сигнала вследствие влияния паразитных параметров компонентов фильтра на данной частоте уменьшается и равно $\Delta = -31,157$ дБ. Ширина полосы, в пределах которой сигнал ослабляется на 10 дБ, также остается неизменной и равна $\Delta f \approx 20$ кГц.

Отсюда следует, что наличие паразитных составляющих элементов заграждающего фильтра уменьшает ослабление сигнала на центральной частоте на ~ 6 дБ, однако рабочая полоса частот Δf остается при этом неизменной.

В литературе [17, 18] для увеличения их избирательности в ряде случаев рекомендуется последовательно включение нескольких звеньев.

В качестве примера на рис. 9 приведена амплитудно-частотная характеристика двух последовательно соединенных звеньев (контуров) разделительного фильтра, показанного на рис. 7.

В данном случае ослабление на центральной частоте $f = 213,342$ кГц составит $\Delta = -51,351$ дБ.

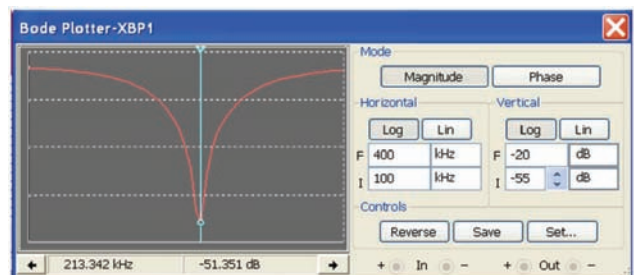


Рисунок 9 – Амплитудно-частотная характеристика двух последовательно соединенных контуров на рис. 8, полученная в Multisim 12

Выводы. В статье рассмотрен механизм возникновения интерференционных помех в результате наложения диаграмм направленности антенн приемопередатчиков проводно-беспроводной (гибридной) системы передачи данных и излучающих проводников ЛЭП.

Для уменьшения интерференционных помех предложено дополнить имеющиеся проводно-беспроводные PLC системы дополнительными загораживающими фильтрами на основе параллельного колебательного контура.

Показано, что наличие паразитных параметров компонентов фильтра уменьшает ослабление сигнала помехи. Для уменьшения амплитуды интерференционной помехи целесообразно последовательное включение нескольких звеньев колебательных контуров с одинаковыми параметрами.

Список литературы: 1. *Микуцкий Г.В.* Высокочастотная связь по линиям электропередачи / *Г.В. Микуцкий, В.С. Скитальцев.* – М.: Энергия, 1977. – 440 с. 2. *Шкарин Ю.П.* Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи / *Ю.П. Шкарин.* – Энергетик: Энергопрогресс, 2001. – 150 с. 3. *Дейтрих К.* Системы ВЧ связи по ЛЭП / *К. Дейтрих* // Коммуникационные решения для электрических сетей. – *Электротехнический рынок.* – 2007. – № 11 (17). 4. *Bumiller G.* Power Line Communication Networks for Large-Scale Control and Automation Systems / *G. Bumiller, L. Lampe, H. Hrasnica* // IEEE Communications Magazine. – April 2010. – Vol. 48, iss. 4. – P. 106-113. 5. *Lasciandare A.* Experimental field trials of a utility AMR power line communication system analyzing channel effects and error correction methods / *A. Lasciandare, S. Garotta, F. Veroni, E. Saccani, L. Guerrieri, D. Arrigo* // IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications. – 2007. – ISPLC '07. – Pisa, Italy, 26-28 March 2007. 6. *Mainardi E.* Powerline Communication in Home-Building Automation Systems / *E. Mainardi, M. Bonfi* // Chapter 4 of the book «Robotics and Automation in Construction» edited by C. Balaguer and M. Abderrahim – InTech – Chapters published October 01 – 2008. 7. *Bshara M.* Potential effects of power line communication on xDSL inside the home environment / *M. Bshara, L. Van Biesen, J. Maes* // Proceedings of VIII Semetro. – Brazil: 2009. 8. *Horvat G.* Power Line Communication Throughput Analysis for Use in Last Mile Rural Broadband / *G. Horvat, Z. Balkić, D. Žagar* // 20th Telecommunications forum TELFOR 2012. – Belgrade, Serbia. – 20-22 November, 2012. 9. Pat. US006933835 Data communication over a power line / *Paul A. Kline* (Germantown, MD). – Current Technologies, LLC (Germantown, MD) – Aug. 23, 2005. 10. Pat. US006993317 Method and system for signal repeating in powerline communications / *Jr. Belsak, C. Frederick.* – (Newton, NH) – Amperion, Inc. (Andover, MA). – Jan. 31, 2006. 11. CISPR/TR 18-1, Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 1: Description of phenomena, edition 2.0, 2010-06. 12. CISPR/TR 18-2, Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits, edition 2.0, 2010-06. 13. CISPR/TR 18-3, Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment – Part 3: Code of practice for minimizing the generation of radio noise, edition 2.0, 2010-06. 14. *Carson J.R.* Wave propagation in overhead wires with ground return / *J.R. Carson* // Bell System Techn. Journ. – 1926. – V. 5, № 4. – P. 539–554. 15. *Stratton J.A.* Electromagnetic theory / *J.A. Stratton* // McGraw-Hill book company, inc. – 1941. – 615 p. 16. *Ишкин В.Х.* Справочник по проектированию систем передачи информации в энергетике / *В.Х. Ишкин, С.С. Рокотян.* – М.: Энергия, 1977. – 384 с. 17. *Ред Э.* Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике /

Э. Ред. – М.: Мир, 1990. – 253 с. 18. *Шахгильдян В.В.* Радиопередающие устройства / *В.В. Шахгильдян.* – М.: Радио и связь, 2003. – 560 с. 19. National Instruments. Products of NI, Circuit design software. Multisim 12.0 // www.ni.com/multisim/. 20. *Pilinsky V.* Assessment of Electromagnetic Environment Mains occurring by SMPS & PLC Systems / *V. Pilinsky, A. Rozvadovsky, I. Zaicev* // Proceedings of the 11-th Int. Symp. on EMC «EMC Europe 2012». – Rome, Italy, Sept. 17-21. – 6 p. 21. *Браун М.* Источники питания. Расчет и конструирование / *М. Браун.* – М.: МК-Пресс, 2007 – 288 с.

Bibliography (transliterated): 1. G.V. Mikulitskiy, V.S. Skitaltsev. High-frequency power line communications. Moscow, Energy, 1977. 440 p. (in Russian). 2. Yu.P. Shkarin, High frequency channels in power line communication. Moscow, Energoprogress, 2001. 150 p. (in Russian). 3. K. Dietrich. High frequency communication systems for power lines. Communication solutions for electrical networks. Electrical Market. № 11(17), November 2007 (in Russian), <http://www.market.elec.ru>. 4. G. Bumiller, L. Lampe, H. Hrasnica. Power Line Communication Networks for Large-Scale Control and Automation Systems. IEEE Communications Magazine, Vol. 48, Issue 4, April 2010. pp. 106-113. 5. A. Lasciandare, S. Garotta, F. Veroni, E. Saccani, L. Guerrieri, D. Arrigo. Experimental field trials of a utility AMR power line communication system analyzing channel effects and error correction methods. IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2007. ISPLC '07, Pisa, Italy, 26-28 March 2007. 6. E. Mainardi, M. Bonfi. Powerline Communication in Home-Building Automation Systems. Chapter 4 of the book Robotics and Automation in Construction. edited by C. Balaguer and M. Abderrahim, InTech, Chapters published October 01, 2008. 7. M. Bshara L. Van Biesen, J. Maes. Potential effects of power line communication on xDSL inside the home environment. Proceedings of VIII Semetro, Brazil, 2009. 8. G. Horvat, Z. Balkić, D. Žagar. Power Line Communication Throughput Analysis for Use in Last Mile Rural Broadband. 20th Telecommunications forum TELFOR 2012, Belgrade, Serbia, 20-22 November, 2012. 9. Pat. US006933835. Data communication over a power line. Paul A. Kline (Germantown, MD), Current Technologies, LLC (Germantown, MD), Aug. 23, 2005. 10. Pat. US006993317. Method and system for signal repeating in powerline communications. Belsak, Jr.; Frederick C. (Newton, NH), Amperion, Inc. (Andover, MA), Jan. 31, 2006. 11. CISPR/TR 18-1, Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment. Part 1: Description of phenomena, edition 2.0, 2010-06. 12. CISPR/TR 18-2, Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment. Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits, edition 2.0, 2010-06. 13. CISPR/TR 18-3, Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment. Part 3: Code of practice for minimizing the generation of radio noise, edition 2.0, 2010-06. 14. Carson J.R. Wave propagation in overhead wires with ground return. J.R. Carson. Bell System Techn. Journ. 1926. V.5, № 4. pp. 539–554. 15. J.A. Stratton. Electromagnetic theory. McGraw-Hill book company, inc., 1941. 615 p. 16. V.Kh. Ishkin, S.S. Rokotyanyan. Reference book for design of communication systems in the energy sector. Moscow: Energy, 1977. 384 p. (in Russian). 17. E. Red. Reference book on microwave engineering. Moscow: Mir, 1990, 253 p. (in Russian). 18. V.V. Shakhgildyan. Radio transmitters. Moscow: Radio and communications, 2003. 560 p. (in Russian). 19. National Instruments. Products of NI, Circuit design software. Multisim 12.0 // www.ni.com/multisim/. 20. V. Pilinsky, A. Rozvadovsky, I. Zaicev, Assessment of Electromagnetic Environment Mains occurring by SMPS & PLC Systems, Proceedings of the 11-th Int. Symp. on EMC «EMC Europe 2012», Rome, Italy, Sept. 17-21. 6 p. 21. M. Brown, Owner Supply Cookbook, 2-nd edition. Newnes, Oxford.

Надійшла (received) 31.03.2016

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Розвадовский Андрей Федорович – младший научный сотрудник, ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН»; email: rozvadovsky@yandex.ru.

Rozvadovskiy Andrey Fedorovich – junior researcher, FSIS «Marine Hydrophysical Institute RAS», Sevastopol; e-mail: rozvadovsky@yandex.ru.

Лазебный Владимир Семенович – кандидат технических наук, доцент Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»; тел.: (067)387-69-10; e-mail: smartvs@mail.ru.

Lazebny Vladimir Semenovich – Candidate of Technical Sciences, Ass. Professor, National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, tel.: (067)387-69-10; e-mail: smartvs@mail.ru.

Пилинский Владимир Владимирович – кандидат технических наук, профессор Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»; тел.: (095) 276-92-70; e-mail: pww@ukr.net.

Pilinsky Vladimir Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Professor, National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, tel.: (095) 276-92-70; e-mail: pww@ukr.net.

УДК 681.5

Н. В. САВЧЕНКО, Д. А. ПАНАСЕНКО**ИНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ**

На основі побудови формалізованих моделей для захворювань печінки (хронічний гепатит і цироз), описана залежність результуючого діагнозу від результатів обстеження пацієнта, яка реалізована в програмі. Представлені етапи отримання моделей, а також наведені експериментальні вагові коефіцієнти, використовувані при побудові моделі. Всього моделей із зазначеними характеристиками 33.

Ключові слова: хронічний гепатит, цироз, діагноз, математичне моделювання, модель множинної регресії, програмний продукт.

Вступ. В даний час проблеми зі здоров'ям, різного характеру, зустрічаються практично у кожній людини. Отже, необхідно з високою точністю та швидкістю визначати, на що хворий пацієнт, і проводити в найкоротші терміни всі дії, спрямовані на його лікування. Для того щоб коректно поставити діагноз, потрібно проводити ряд діагностик, які на сьогоднішній день не володіють відносно доступними й ефективними технологіями. Не є винятком і діагностика захворювань печінки (хронічний гепатит і цироз). Саме тому завдання вдосконалення методів діагностики різних захворювань печінки як і раніше є актуальною як з точки зору практичних застосувань, так і з позиції теоретичної медичної науки, розвиваючи математичне моделювання різних захворювань.

Виходячи з цього, автоматизована побудова формалізованих моделей для захворювань печінки (хронічний гепатит і цироз).

В якості основного підходу обраний метод регресійного аналізу сукупності лінійних моделей, що пов'язують можливі значення діагнозу з показниками, отриманими на основі обстеження пацієнта. Лінійний регресійний аналіз дозволяє будувати лінійні залежності між наборами пояснювальних змінних та які пояснюють. Використання нелінійних методів поки недоцільно через низьку якість вихідних даних. Використання методів регресійного аналізу для побудови моделей різних процесів, у тому числі і в медицині, не є новим [1]. Повний аналіз даного питання проведено в [2]. Серед нових напрямків щодо використання методів регресійного аналізу в медицині можна вказати

логістичні моделі [2], а також виділимо деякі підходи [3 - 4], що представляють інтерес з точки зору розвитку методів даного дослідження. Дану задачу часто відносять до такого напрямку як – доказова медицина [5, 6].

На відміну від зазначених робіт, дана робота передбачає програмну реалізацію побудови набору моделей, які в сукупності використовуються при виявленні діагнозу.

Це пов'язано з тим, що наявні дані, на даний момент не дозволяють побудувати модель, що задовольняє всім вимогам до неї за достовірністю та надійністю пророкувань діагнозу на її основі. Як вихід з даної ситуації і пропонується побудова набору моделей, використовуючи програму і які є кращими зі складу тих моделей, які можна побудувати на основі даних, якими володіємо. По мірі наповнення бази даних по пацієнтам число моделей в кінцевому наборі буде зменшуватися до тих пір, поки не залишиться одна модель. Також слід розуміти, що в міру розвитку медичної науки і практики з'являються нові діагностичні показники, і в даних по пацієнтам, зібраних до появи цих показників, які відповідають цим показникам графі будуть порожні. Наявність таких перепусток обумовлено, насамперед, тим, що поки не у всіх медичних установах можуть бути виконані всі показники, які перераховані нижче. Таким чином, проблема прогалин у даних буде існувати довго, що вказує на важливість даної роботи.

Аналіз методів діагностики захворювань печінки. Для того щоб побудувати математичні моделі,