

Для автоматизации процессов обработки СО с различной степенью зашумленности нами разработаны методы программной обработки сигналов.

При больших уровнях шумов обработка СО производится в среде Mathcad. Сглаживание сигнала отклика с целью выделения полезного сигнала из шумов осуществляется двумя различными фильтрами: medsmooth – сглаживание – с помощью скользящей медианы и ksmooth – с использованием гауссова ядра. Алгоритм обработки СО этим методом приведен в [6].

При малых уровнях шумов обработку сигнала отклика предлагается производить путем нахождения координат информационных точек с последующим сглаживанием участков сигнала методом наименьших квадратов по алгоритму, блок-схема которого приведена на рис. 2.

Рассмотрим основные этапы алгоритма подробнее.

1. Снятие сигнала отклика $U(t)$ и преобразование полученных данных к десятичному виду. Данные, получаемые с помощью устройства записи, имеют вид:

$$F0_XX_Y1_Y2,$$

где $F0$ – начало пакета, XX – номер канала записи, $Y1$ – старший байт данных, $Y2$ – младший байт данных. Преобразование производится следующим образом:

$$U(t) = (Y1 \cdot 256 + Y2) \cdot K/M, \quad (1)$$

где K – максимально допустимое напряжение записи данного канала, M – коэффициент, значение которого зависит от величины K .

2. Для определения координат точек 1 и 3 необходимо знать величину максимального и минимального прирос-

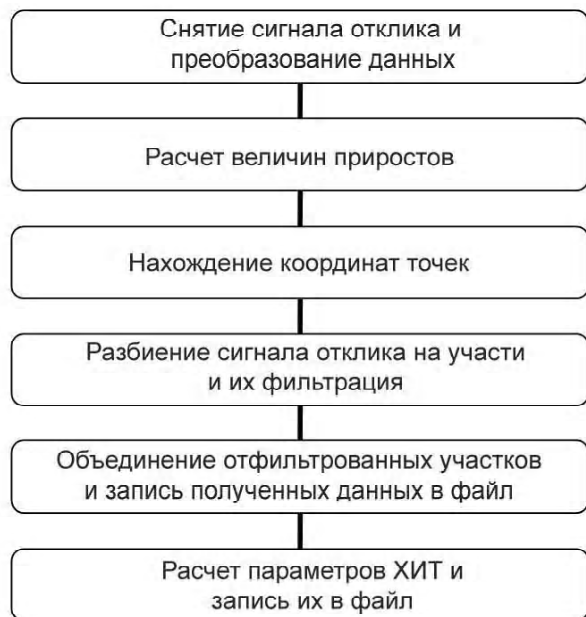


Рис. 2. Блок-схема алгоритма обработки сигнала отклика на зарядный импульс тока

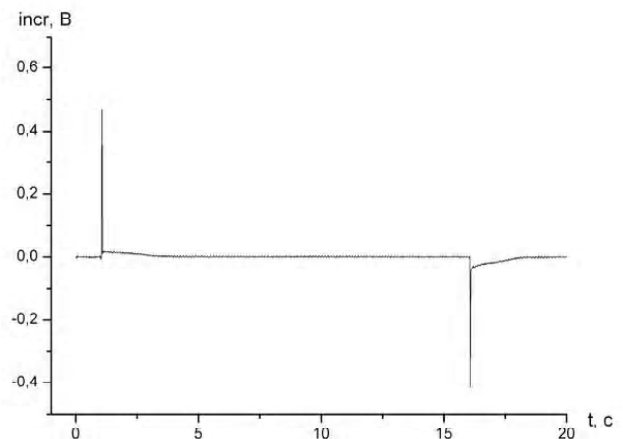
та напряжения сигнала отклика. Расчет величины приростов осуществляется с использованием выражения:

$$incr(t) = U(t + j) - U(t), \quad (2)$$

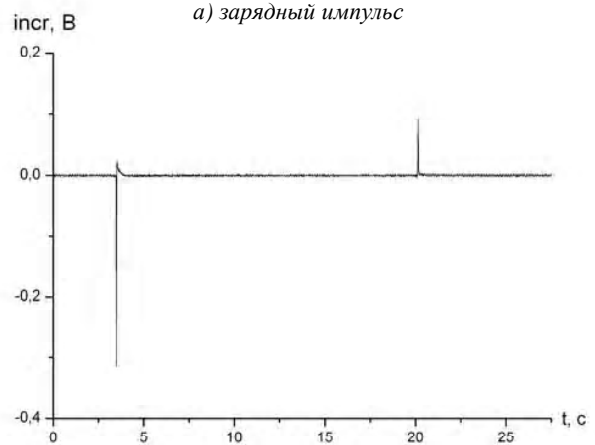
где j – шаг дискретизации.

3. В результате расчета величины приростов получаем зависимость данной величины от времени, представленную на рис. 3, а. Максимальное значение этой зависимости соответствует моменту подачи импульса $t_{incr(max)}$ в секундах и координате точки 1. Минимальное значение зависимости соответствует моменту снятия импульса $t_{incr(min)}$ и определяет координату точки 3. Координаты точек 2 и 4 сигнала отклика соответствуют величинам падений напряжения на активном сопротивлении ХИТ в момент подачи импульса и в момент его снятия.

Так как процесс падения напряжения на активном сопротивлении при подаче и снятии импульса тока происходит мгновенно, то координаты точек 2 и 4, будут равны. Так как процесс падения напряжения на активном сопротивлении при подаче и снятии импульса тока происходит мгновенно, то координаты точек 2 и 4, будут равны $t_{incr(max)} + j$ и $t_{incr(min)} + j$, соответственно.



а) зарядный импульс



б) разрядный импульс

Рис. 3. Графики зависимостей величин приростов от времени

4. Разбивка сигнала отклика на участки $U_1(t)$, $U_2(t)$ и $U_3(t)$:

$$\begin{cases} U_1(t) = U(t), t < t_{incr(max)} \\ U_2(t - (t_{incr(max)} + j)) = U(t), t_{incr(max)} + j \leq t < t_{incr(min)} \\ U_3(t - (t_{incr(min)} + j)) = U(t), t_{incr(min)} + j \leq t. \end{cases}$$

Далее каждый из полученных участков сглаживается методом наименьших квадратов:

$$U_{\phi.n}(in) = \begin{cases} \frac{1}{2 \cdot in + 1} \cdot \sum_{i=0}^{in} U_n(i), in \leq k \\ \frac{1}{2 \cdot k + 1} \cdot \sum_{i=-k}^k U_n(i), k < in \leq kol - k \\ \frac{1}{2 \cdot (kol - in) + 1} \cdot \sum_{i=-kol-in}^{kol-in} U_n(i), in < kol \\ \frac{1}{k + 1} \cdot \sum_{i=-k}^0 U_n(i), in = kol, \end{cases} \quad (3)$$

где in – порядковый номер элемента участка, k – коэффициент сглаживания, kol – количество элементов на участке n , n – номер участка.

5. Объединение отфильтрованных участков $U_1(t)$, $U_2(t)$, $U_3(t)$ и запись полученных данных в файл.

6. Расчет параметров ХИТ и запись их в файл.

В процессе эксплуатации химических источников тока происходит химическая деградация активных материалов, что приводит к снижению энергетического ресурса. Импульсные методы позволяют оценить работоспособность ХИТ по его нагрузочной характеристике за короткое время без отключения от сети энергоснабжения [7]. Для определения энергетических показателей ХИТ используется разрядный тестовый импульс.

Форма сигнала отклика ХИТ на разрядный импульс приведена на рис. 4, а алгоритм его обработки подобен приведенному на рис. 2.

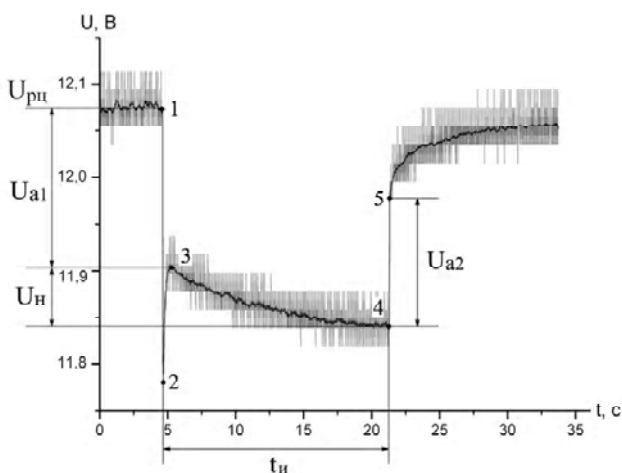


Рис. 4. Сигнал отклика свинцово-кислотной аккумуляторной батареи на разрядный импульс тока

На рис. 4 U_n – величина падения напряжения на сопротивлении нагрузки за время воздействия разрядного импульса.

Цифровая обработка сигнала отклика свинцово-кислотной аккумуляторной батареи на разрядный импульс тока осуществляется следующим образом.

1. Снятие сигнала отклика $U(t)$ и преобразование полученных данных к десятичному виду с использованием выражения (1).

2. Для определения координат точек 1 и 4 необходимо знать величину минимального и максимального прироста напряжения сигнала отклика. Расчет величины приростов осуществляется с использованием выражения (2).

3. В результате расчета величины приростов получаем зависимость данной величины от времени, представленную на рис. 3, б. Минимальное значение этой зависимости соответствует моменту подачи импульса $t_{incr(min)}$ и координате точки 1. Максимальное значение зависимости соответствует моменту снятия импульса $t_{incr(max)}$ и определяет координату точки 4.

В момент подачи разрядного импульса происходит резкое уменьшение величины напряжения от $U_{рц}$, соответствующее точке 1, до значения, обозначенного точкой 2 и равно $t_{incr(min)} + j$. Определение координат точки 3 начинается с координат точки 2 и проходит по массиву данных с шагом 1, пока величина напряжения следующей точки не будет меньше значения величины напряжения предыдущей точки, которая и будет являться координатой точки 3. При этом участок, находящийся на отрезке, ограниченном точками 1–3, соответствует величине падения напряжения на активном сопротивлении ХИТ, а участок между точками 2–3 отображает переходный процесс с участием двойного электрического слоя на границе электрод-электролит и в дальнейших расчетах не используется.

В момент снятия разрядного импульса происходит резкое увеличение напряжения на активном сопротивлении, вследствие чего координата точки 5 равна $t_{incr(min)} + j$.

4. Разбивка сигнала отклика на участки $U_1(t)$, $U_2(t)$ и $U_3(t)$ производится следующим образом:

$$\begin{cases} U_1(t) = U(t), t < t_{incr(min)} \\ U_2(t - (t_{incr(min)} + j)) = U(t), t_{incr(min)} + j \leq t < t_{incr(max)} \\ U_3(t - (t_{incr(max)} + j)) = U(t), t_{incr(max)} + j \leq t. \end{cases}$$

Далее каждый из полученных участков сглаживается методом наименьших квадратов с использованием системы уравнений (3).

5. Объединение отфильтрованных участков $U_1(t)$, $U_2(t)$, $U_3(t)$ и запись полученных данных в файл.

6. Расчет параметров ХИТ и запись их в файл.

Проверка методов обработки сигналов отклика проводилась при определении параметров серии стартерных аккумуляторных батарей производства ПАО «Веста-Днепр». Результаты обработки сигналов откликов аккумуляторных батарей на импульс зарядного и разрядного токов приведены в таблице 1 и 2, соответственно. При этом величину отклонения определяли из выражения:

$$\delta = 100\% - \frac{P_o}{P_o} \cdot 100\%,$$

где P_o и P_o – результаты ручной и программной обработки, соответственно. За 100 % принималось значение, полученное при ручной обработке.

Сравнение результатов ручной и программной обработок подтверждает приемлемую для практических применений точность определения параметров химических источников тока предлагаемым методом.

ВЫВОДЫ

Разработан метод цифровой обработки сигналов отклика химических источников тока на импульсное воздействие, основанный на определении координат информационных точек из предварительно сглаженных с помощью метода наименьших квадратов участков сигнала отклика, который позволяет рассчитать параметры химических источников тока в реальном масштабе времени.

Метод может быть использован для автоматизированного контроля технического состояния ХИТ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сиденко, С. В. Диагностирование аккумуляторов энергоустановок летательных аппаратов импульсным током /

С. В. Сиденко, К. В. Безручко, А. О+. Давидов // Вісник Дніпропетровського університету: серія «Ракетно-космічна техніка». – 2007. – №9/2. – С. 126–132.

2. Дзензерский, В. А. Метод многопараметрического контроля адаптивной зарядки вторичных химических источников тока / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, Л. М. Погорелая, Ю. А. Ткаченко // Электроника и связь. – 2010. – № 2. – С. 51–56.
3. Дзензерский, В. А. Контроль состояния стартерных свинцовых аккумуляторов хронопотенциометрическим методом / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, И. И. Соколовский // Електротехніка та електроенергетика. – 2005. – № 1. – С. 13–18.
4. Дзензерський В. О. Спосіб контролю стану свинцевого акумулятора [текст]: патент №78327. Україна: МПК Н01М 10/48, G01R 31/36 / [Дзензерський В. О., Житник М. Я., Плаксін С. В., та ін.] ; заявник та патентовласник Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг»; – заявл. 11.01.2005; опубл. 15.03.2007, бюл. №3, 2007.
5. Житник, Н. Е. Информационные параметры для реализации адаптивной зарядки вторичных химических источников тока / Н. Е. Житник, Ю. Л. Миропольский, С. В. Плаксин [и др.] // Технологія і конструювання в електронній апаратурі. – 2008. – № 5(77). – С. 40–42.
6. Дзензерский, В. А. Автоматизированная диагностика химических источников тока / В. А. Дзензерский, М. А. Беда, Н. Е. Житник [и др.] // Технологія і конструювання в електронній апаратурі. – 2011. – №1–2. – С. 6–9.
7. Дзензерский, В. А. Оценка работоспособности химических источников тока импульсным методом / В. А. Дзензерский, М. А. Беда, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин // Технічна електродинаміка. – Тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 2011. – ч. 1. – С.73–76.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2012.

Після доробки 16.10.2012.

Таблица 1. Результаты обработки СО на зарядный импульс

Параметры ХИТ	Батарея 6СТ-52А			Батарея 6СТ-74А		
	Ручная обработка	Программная обработка		Ручная обработка	Программная обработка	
		Результаты	δ , %		Результаты	δ , %
$U_{рц}$, В	12,763	12,759	0,03	13,04	13,2	1,2
U_{a1} , В	0,137	0,142	3,52	0,143	0,131	9,16
$U_{П}$, В	3,029	3,003	0,13	2,548	2,489	2,37
U_{a2} , В	0,118	0,122	3,23	0,118	0,11	7,27

Таблица 2. Результаты обработки СО на разрядный импульс

Параметры ХИТ	Батарея 6СТ-52А			Батарея 6СТ-74А		
	Ручная обработка	Программная обработка		Ручная обработка	Программная обработка	
		Результаты	δ , %		Результаты	δ , %
$U_{рц}$, В	12,213	12,212	0,01	12,155	12,16	0,04
U_{a1} , В	0,163	0,16	1,88	0,162	0,166	2,4
$U_{Н}$, В	0,13	0,128	1,56	0,052	0,055	5,45
U_{a2} , В	0,097	0,092	5,43	0,123	0,116	6,03

Дзензерський В. О.¹, Беда М. О.², Житник М. Я.³, Плаксін С. В.⁴

¹Д-р. техн. наук, директор, Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», Україна

²Інженер I кат., Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», Україна,

³Научний співробітник, Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», Україна

⁴Д-р. фіз.-мат. наук, керівник відділу, Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», Україна

МЕТОД ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ВІДГУКУ ХІМІЧНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ НА ІМПУЛЬС СТРУМУ

Запропоновано метод комп'ютерної обробки сигналів відгуку хімічного джерела струму на імпульс струму, який полягає в знаходженні координат точок, котрі містять інформацію про кінетику процесу, на попередньо зладженому сигналі відгуку та визначенні характеристик параметрів хімічного джерела струму.

Ключові слова: хімічне джерело струму, імпульс, сигнал відгуку, інформаційні точки, алгоритм згладжування, фільтрація.

Dzenzerskij V. A.¹, Beda M. A.², Zhitnik N. E.³, Plaksin S. V.⁴

¹Dr. techn. sciences, director, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine «Transmag», Ukraine

²Engineer of 1st category, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine «Transmag», Ukraine

³Researcher, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine «Transmag», Ukraine

⁴Dr. phys.-math. sciences, head of department, Institute of Transport Systems and Technologies of NAS of Ukraine «Transmag», Ukraine

METHOD OF THE COMPUTER SIGNAL PROCESSING OF THE CHEMICAL CURRENT SOURCE RESPONSE TO A CURRENT PULSE

The further development of pulse methods for diagnosis and monitoring of the technical state of chemical power sources is underway, due to their high information content and relative simplicity of implementation. No less important is the possibility of combining the functions of non-stationary charging methods of chemical power sources with methods of impulse control of their condition, which simplifies the implementation of adaptive charging mode that best fits the requirements of operation of chemical power sources. The form of the response signal contains extensive and sufficient objective information about the kinetics of the electrochemical process, which directly affects the parameters of chemical power sources. However, the processing and analysis of the results of measurements manually are very complicated and does not automate the process of monitoring chemical power sources.

Objective of this paper is to develop methods for computer processing of the response signal of chemical current source to the pulse of current to automate technical state control the chemical source current in real time.

The method of the computer signal processing of the chemical current source response to a current pulse, the base of which is detection of coordinates of points containing information about kinetics of process on the preliminary smoothed out signal-response and determination of the characteristic parameters of the chemical current source is proposed.

Keywords: chemical current source, pulse, response signal, informational points, algorithm of smoothing, filtration.

REFERENCES

1. Sidenko S. V., Bezruchko K. V., Davidov A. O. Diagnostirovanie akkumulyatorov e'nergoustanovok letatel'ny'x apparatov impul'sny'm tokom, *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu: seriya «Raketno-kosmichna tekhnika»*, 2007, No. 9/2, pp. 126–132.
2. Dzenzerskij V. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V., Pogorelaya L. M., Tkachenko Yu. A. Metod mnogoparametricheskogo kontrolya adaptivnoj zaryadki vtorichny'x ximicheskix istochnikov toka, *E'lektronika i svyaz'*, 2010, No. 2, pp. 51–56.
3. Dzenzerskij V. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V., Sokolovskij I. I. Kontrol' sostoyaniya starterny'x svincovy'x akkumulyatorov xronopotenciometricheskim metodom, *Elektrotekhnika ta elektroenerhetyka*, 2005, No. 1, pp. 13–18.
4. Dzenzerskii V. O., Zhitnik M. Ya., Plaksin S. V., Pohorila L. M., Sokolovskii I. I. Sposib kontroliu stanu svyncevoho akumulatora: patent № 78327. Ukraina: MPK H01M 10/48, G01R 31/36, Zaiavnyk ta patentovlasnyk: Instytut transportnykh system i tekhnolohii NAN Ukrainy «Transmah», zaiavl. 11.01.2005; opubl. 15.03.2007, biul. № 3, 2007.
5. Zhitnik N. E., Miropol'skij Yu. L., Plaksin S. V., Pogorelaya L. M., Sokolovskij I. I. Informacionny'e parametry' dlya realizacii adaptivnoj zaryadki vtorichny'x ximicheskix istochnikov toka, *Tekhnologiya i konstruirovaniye v e'lektronnoj apparature*, 2008, No. 5(77), pp. 40–42.
6. Dzenzerskij V. A., Beda M. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V., Lesnichij V. N. Avtomatizirovannaya diagnostika ximicheskix istochnikov toka, *Tekhnologiya i konstruirovaniye v e'lektronnoj apparature*, 2011, No. 1–2, pp. 6–9.
7. Dzenzerskij V. A., Beda M. A., Zhitnik N. E., Plaksin S. V. Ocenka rabotosposobnosti ximicheskix istochnikov toka impul'sny'm metodom, *Tekhnichna elektrodynamika Tem. Vypusk «Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist»*, 2011, p. 1, pp. 73–76.

ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ИОНОСФЕРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ SBAS

В статье рассмотрены пути снижения ионосферной составляющей погрешности частотно-временной синхронизации при использовании в алгоритме общего охвата (АОО) одночастотных GPS-подобных сигналов, излучаемых геостационарными ИСЗ системы SBAS. Оценены возможности решения данной задачи с использованием двух моделей для компенсации задержек сигналов в ионосфере (*IONEX* и *Klobuchar*) и метода, основанного на обработке результатов измерений сигналов по их огибающим и фазам.

Ключевые слова: модель ионосферы, синхронизация времени и частоты, алгоритм общего охвата, результаты моделирования, *IONEX*, *Klobuchar*.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для синхронизации территориально разнесенных стандартов времени и частоты (для сличения – применительно к эталонам времени и частоты) в основном применяются сигналы спутниковых радионавигационных систем (СРНС) GPS и ГЛОНАСС. В ХНУРЭ предложен и разрабатывается альтернативный метод, основанный на применении алгоритма общего охвата (АОО) и сигналов геостационарных спутников (ГС) (в частности, одночастотных GPS-подобных сигналов, излучаемых ГС системы SBAS) [1, 2].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В АОО используется общий источник (ОИ), сигнал которого $s_0(t)$ принимается в пунктах *a* и *b*. На рис. 1 приведены структурная схема (а) и временная диаграмма (б) АОО

ма (б) для АОО, а структурная схема системы синхронизации, реализующей АОО, – на рис. 2.

На рис. 1 и рис. 2 введены обозначения: $H_a(t)$, $H_b(t)$ – шкалы времени пунктов; t_1^a , t_1^b – временные положения сигналов в пунктах; τ_p^{oa} , τ_p^{ob} – задержка сигнала в канале РРВ от ОИ до пунктов *a* и *b*, соответственно; $\Delta T^{ab} = \Delta T^{ao} - \Delta T^{bo}$ – сдвиг шкал пунктов *a* и *b*, выраженный через временные сдвиги между сигналом общего источника и шкалами пунктов; $\tau_{прд}^0$ – задержка сигнала в передатчике ОИ; $\tau_{прм}^a$, $\tau_{прм}^b$ – задержки сигнала в приемных трактах пунктов; δ_{t1}^a , δ_{t1}^b – абсолютные значения помеховых погрешностей оценок временного положения (ОВП) сигнала в пунктах; $\widehat{\Delta T}^{ab}$, $\widehat{\Delta T}^{ba}$ – оценки сдвигов шкал пунктов.

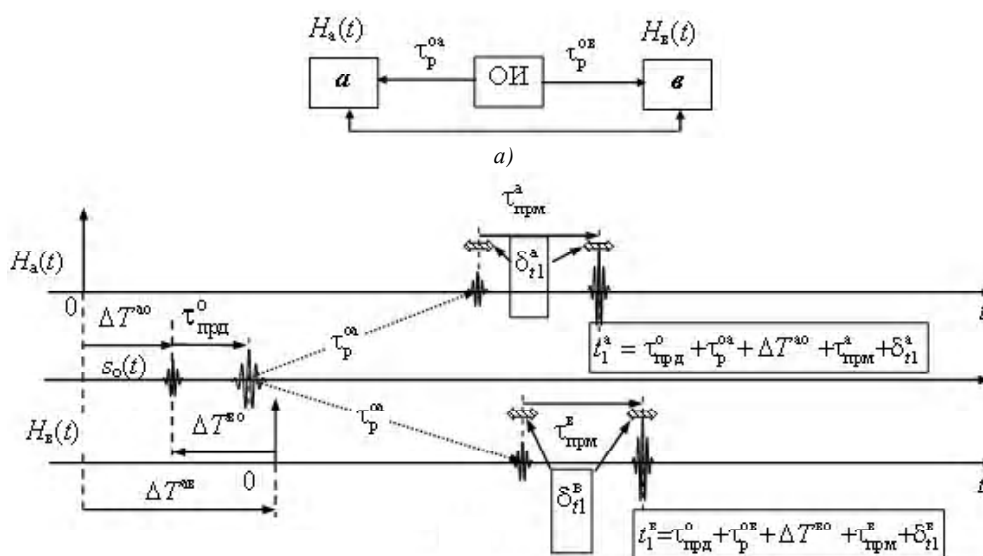


Рис. 1. Структурная схема (а) и временная диаграмма (б) АОО

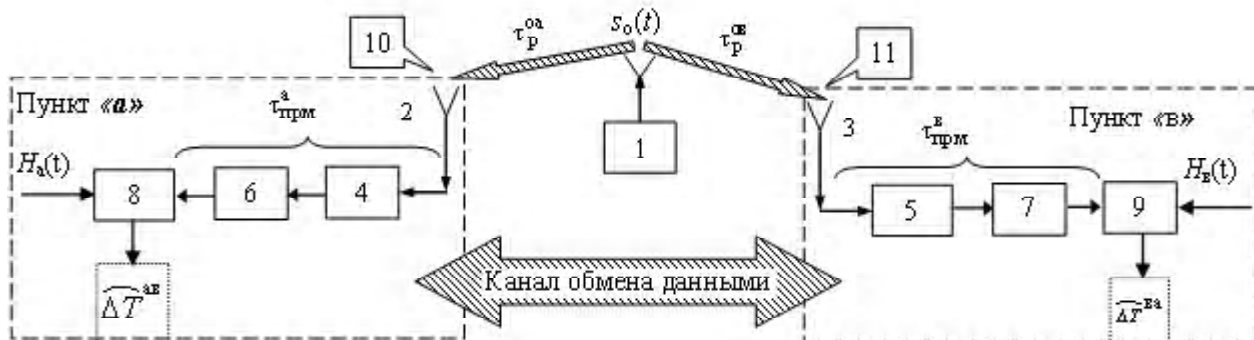


Рис. 2. Структурная схема системы синхронизации, реализующей АОО:

1 – источник общего сигнала; 2, 3 – антенны; 4, 5 – приемные устройства; 6, 7 – устройства оценки временного положения сигналов; 8, 9 – устройства, реализующие алгоритм измерений и методы обработки результатов; 10, 11 – источники помех

Выражение для общей погрешности измерения сдвига шкал в АОО можно представить в виде:

$$\delta_{\Delta T}^{ab}(\Sigma) = \widehat{\Delta T}^{ab} - \Delta T^{ab} = \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{ап}) + \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{с/п}) + \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{РРВ}), \quad (1)$$

где $\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{ап}) = (\tau_{\text{прм}}^a - \tau_{\text{прм}}^b) - (\widehat{\tau}_{\text{прм}}^a - \widehat{\tau}_{\text{прм}}^b)$ – аппаратурная погрешность; $\widehat{\tau}_{\text{прм}}^a, \widehat{\tau}_{\text{прм}}^b$ – оценки задержек в приемных трактах пунктов; $\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{с/п}) = \delta_{t1}^a - \delta_{t1}^b$ – помеховая погрешность; $\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{РРВ}) = (\tau_p^{oa} - \tau_p^{ob}) - (\widehat{\tau}_p^{oa} - \widehat{\tau}_p^{ob})$ – погрешность в канале РРВ; $\widehat{\tau}_p^{oa}, \widehat{\tau}_p^{ob}$ – оценки задержек сигнала ОИ до пунктов.

Если помеховые погрешности могут быть оценены путем статистической обработки результатов измерений (и существенно снижены при использовании направленных антенн), а аппаратурные погрешности – измерены, то каналные погрешности $\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{РРВ})$ в случае применения сигналов ГС существенно зависят от перемещения (нутагии) ГС, многолучевости РРВ, а также от параметров тропосферы и ионосферы.

Возможности учета влияний на погрешность синхронизации нутагии ГС и многолучевости РРВ рассмотрены в работах [3, 4]. Тропосферная составляющая канальной погрешности может быть снижена традиционными для СРНС методами [5]. Учитывая это, особую актуальность приобретает задача снижения ионосферной погрешности. Особенностью данной задачи является то, что ГС системы SBAS излучают одночастотные GPS-подобные сигналы на частоте $f_{L1} = 1575,42$ МГц. Это упрощает реализацию рассматриваемого метода синхронизации, поскольку для его реализации могут быть использованы стандартные одночастотные GPS-приемники соответствующего класса. Однако, исключает возможность компенсации ионосферной погрешности, которая имеет место при использовании двухчастотных сигналов [5].

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ В АОО

Для решения поставленной задачи проведен сравнительный анализ трех вариантов снижения ионосферной погрешности. В двух из них применены модели Клобушара (*Klobuchar*) и *IONEX* [6, 7], а в третьем – совместная обработка измерений по огибающим сигналам (псевдодальности по коду) и по их когерентным фазам (псевдодальности по фазе) [6].

Расчет ионосферной поправки к задержке общего сигнала по модели *Klobuchar* основан на коэффициентах, которые передаются в навигационном сообщении GPS-сигнала. Эти коэффициенты зависят от значения полной концентрации электронов (ПКЭ) в точке прокола ионосферы (ТПИ). ПКЭ зависит от периода 11-летнего цикла солнечной активности, сезонных и ежедневных вариаций электронной концентрации в ионосфере, угла места и азимута спутника, а также от широты и долготы расположения принимаемого пункта.

Исходными данными для этого являются: координаты приемного пункта (широта – λ_u , долгота – Φ_u); углы под которыми виден SBAS спутник (угол места – El , азимут – Az); коэффициенты *Klobuchar* – α_n и β_n .

Согласно модели *Klobuchar* ионосферная коррекция R_{iono} , рассчитываемая в метрах для частоты SBAS f_{L1} , определяется соотношением:

$$R_{iono} = \begin{cases} F \cdot \left[5,0 \cdot 10^{-9} + (AMP) \cdot \left(1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{24} \right) \right], & |x| < 1,57 \\ F \cdot (5,0 \cdot 10^{-9}) & , |x| \geq 1,57 \end{cases} \quad (2)$$

Параметры, входящие в состав (2), приведены в табл. 1, где «подионосферная» точка – точка пересечения ионосферы прямой ГС – пункт сличения *a* или *b*.

В модели *IONEX* [8] для расчета ионосферной коррекции R_{iono} используются глобальные ионосферные карты (*Global Ionosphere Maps – GIM*) в формате *IONEX* (рис. 3). Карты формируются через каждые 2 часа, начи-

Таблица 1.

Параметр		Примечание
Обозначение, наименование, единица измерения в (7)	Соотношение	
F – коэффициент отклонения	$1,0 + 16,0 \cdot (0,53 - El)^3$	
x – фаза модели,	$\frac{2 \cdot \pi \cdot (t - 50400)}{PER}$	
t – местная шкала времени, (с)	$4,32 \cdot 10^4 \cdot \lambda_i + t_{GPS} :$ t_{GPS} – шкала времени GPS	Если: $\begin{cases} t \geq 86400, \text{ то } t - 86400, \\ t < 0, \text{ то } t + 86400 \end{cases}$
λ_i – долгота «подионосферной» точки	$\lambda_u + \frac{\psi \cdot \sin(Az)}{\cos(\varphi_i)}$	рад.
Ψ – центральный земной угол	$\frac{0,0137}{El + 0,11} - 0,022$	$PER < 7200$
PER – период модели, (с)	$\sum_{n=0}^3 \beta_n \varphi_m^n$	Если $PER < 7200$, то $PER = 0$
AMP – амплитуда вертикальной задержки, (с)	$\sum_{n=0}^3 \alpha_n \varphi_m^n$	Если $AMP < 0$, то $AMP = 0$
φ_m – геомагнитная широта точки «подионосферной» точки	$\varphi_i + 0,064 \cdot \cos(\lambda_i - 1,617)$	Если: $\begin{cases} \varphi_i > 0,416, \text{ то } \varphi_i = 0,416, \\ \varphi_i < -0,416, \text{ то } \varphi_i = -0,416 \end{cases}$
φ_i – геодезическая широта «подионосферной» точки	$\varphi_u + \psi \cdot \cos(Az)$	рад.

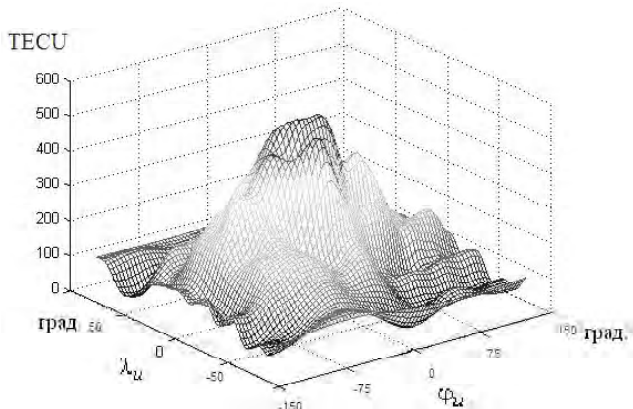


Рис. 3. Вид ионосферной карты в формате IONEX

ная с 00:00 UT (Всемирное время), и показывают зависимость вертикальной электронной концентрации (TECU) от широты ($-87,5^\circ \leq \lambda_u \leq 87,5^\circ$, шаг $2,5^\circ$) и долготы ($-180^\circ \leq \varphi_u \leq 180^\circ$, шаг 5°) размещения пунктов приема. В течение каждых суток предоставляется 13 карт – 12 карт на текущие сутки и 1 карта на следующие сутки [9]. В модели IONEX используется такая же система координат, как и в модели Klobuchar (геоцентрическая система WGS-84).

При расчетах ионосферной поправки в модели IONEX одним из важных моментов является определение вер-

тикальной интегральной электронной концентрации TECU, которая рассчитывается методом интерполяции по пространству [8]. Завершающим этапом является расчеты в метрах вертикальной ионосферной поправки $\Delta_{\text{верт}}$ и расчет значения ионосферной поправки к задержке сигнала R_{iono} :

$$\Delta_{\text{верт}} = \frac{40,3 \cdot \text{TECU} \cdot 10^{16 + \text{EXPONENT}}}{(f_{L1})^2};$$

$$R_{\text{iono}} = \Delta_{\text{верт}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \cos^2(El)}}, \quad (3)$$

где EXPONENT – коэффициент, входящий в состав карт IONEX.

Последний вариант возможной коррекции ионосферной погрешности основан на том, что фазовая¹ и групповая² скорости распространения радиоволн в первом приближении отличаются только знаком поправок на ионосферную рефракцию. При этом фазовая скорость в ионосфере больше, а групповая скорость в ионосфере меньше, чем скорость света c в вакууме:

$$v_\phi = c / n \approx c(1 + k \cdot \text{TECU} / f_{L1}^2); \quad (4)$$

¹Скорость распространения, влияющая на сдвиг моночастотного колебания по фазе.

²Скорость, обуславливающая задержку огибающей сигнала с бесконечно узким спектром.

$$v_{гр} = cn \approx c(1 - k \cdot TECU / f_{L1}^2), \quad (5)$$

где n – коэффициент преломления ионосферы; k – размерная константа.

Учитывая, что GPS-сигнал является узкополосным, псевдодальности по коду практически определяются групповой скоростью $v_{гр}$. Можно также предположить, что псевдодальности по фазе обусловлены фазовой скоростью $v_{ф}$. Учитывая это, из выражений 4 и 5 следуют соотношения для псевдодальностей по коду и фазе:

$$R_{\phi} \approx R_0 - R_{iono}; \quad (6)$$

$$R_{к} \approx R_0 + R_{iono}, \quad (7)$$

где R_0 – величина псевдодальности без влияния ионосферы.

Из соотношений 6 и 7 очевидное соотношение для оценки ионосферной поправки в данном методе

$$R_{iono} \approx (R_{к} - R_{\phi}) / 2. \quad (8)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

В соответствии с выражениями (2), (3) и (8) была рассчитаны ионосферные поправки для ГС SBAS №134 Inmarsat 3f3. Данные суточных наблюдений для данного спутника (рис. 4) предоставлены коллективом базовой GPS-станции НУЦ РТ кафедры ОПТ ХНУРЭ. Координаты пункта приема $\lambda_u=50\ 00^{\circ}54'93366''$, долгота – $\phi_u=31\ 13^{\circ}48'66807''$ (в системе координат ITRF00).

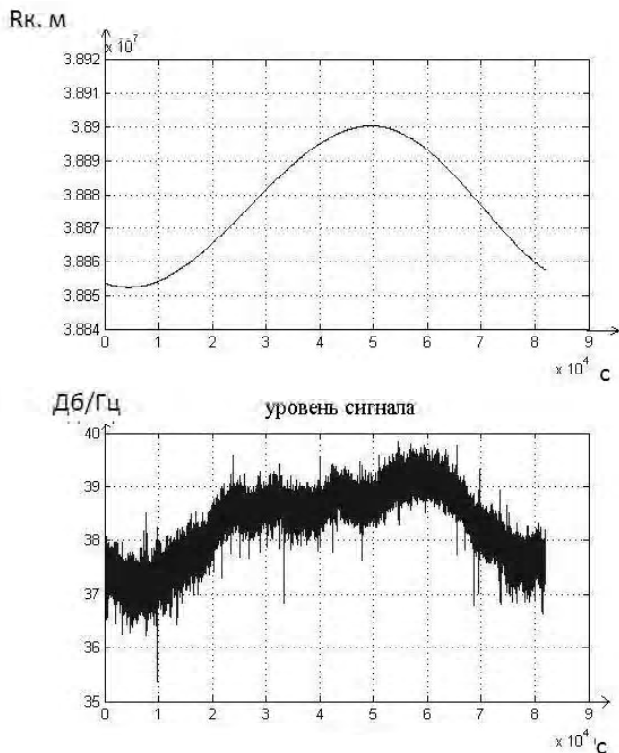


Рис. 4. Исходные данные для ГС SBAS №134 Inmarsat 3f3

Ионосферные поправки, рассчитанные по моделям IONEX и Klobuchar, представлены в табл. 2.

Обработка в соответствии с соотношением (8) производилась как для всего интервала наблюдений, так и для интервала 300 с. Этот интервал выбирался исходя из отсутствия выбросов измерений псевдодальностей (рис. 5). Полученный ход поправок приведен на рис. 6.

Результаты статистической обработки для выбранного интервала (300 с) представлены в табл. 3 (математические ожидания) и табл. 4 (среднеквадратические отклонения).

Таблица 2.

Модель	R_{iono} , м
IONEX	5,2 \approx 17,3 нс
Klobuchar	6,3 \approx 21 нс

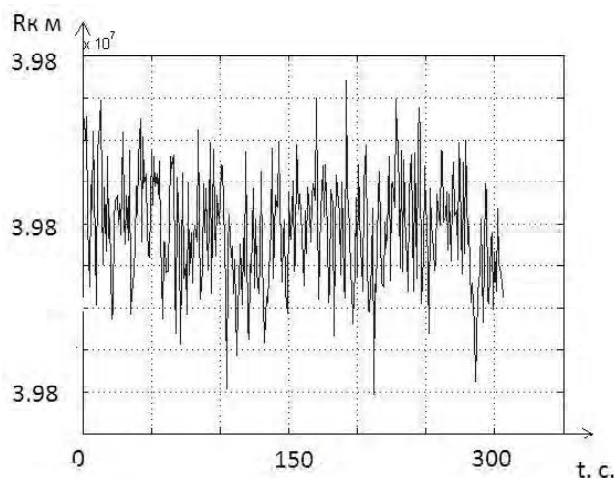
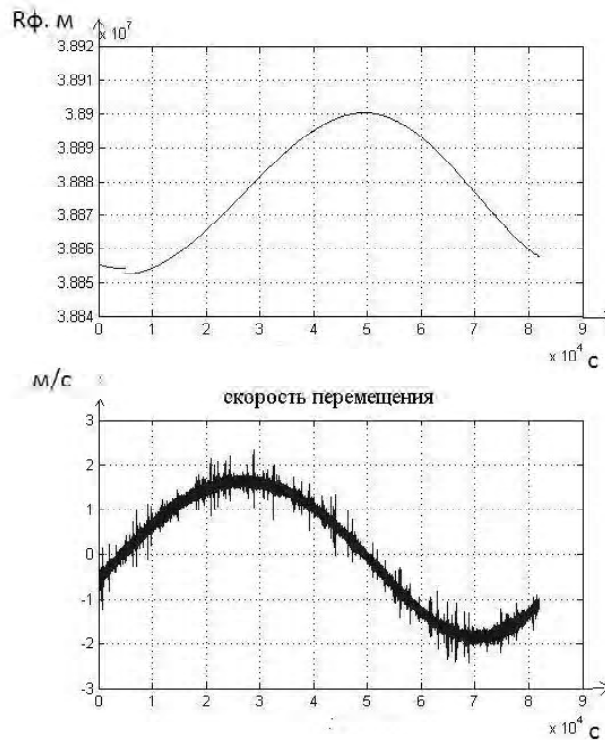


Рис. 5. Псевдодальность на интервале 300 с



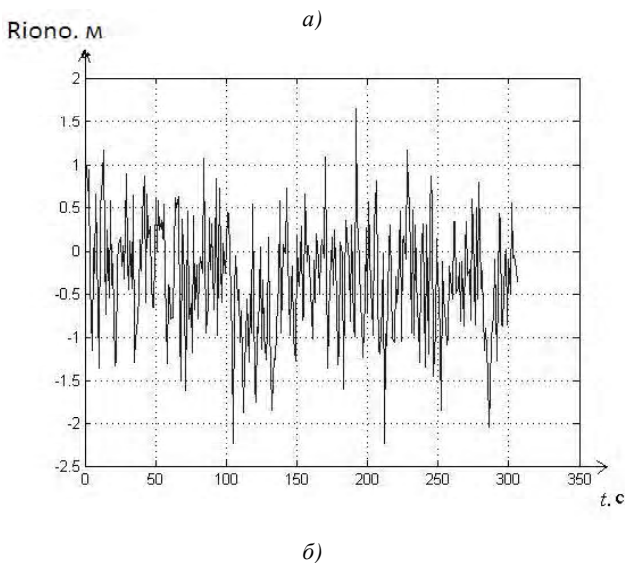
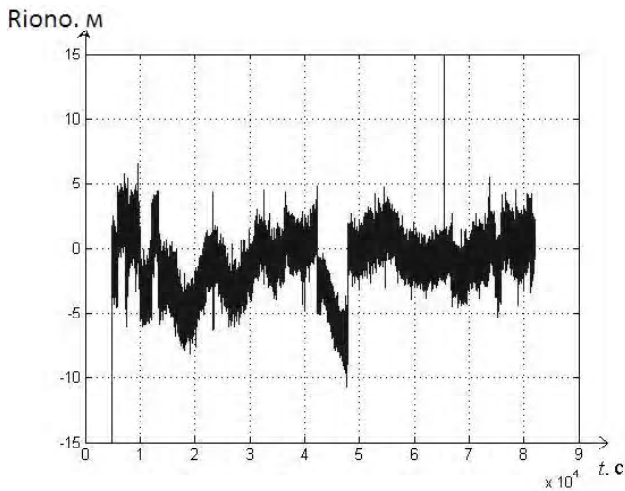


Рис. 6. Ход ионосферных поправок, рассчитанных по соотношению (8)

Таблица 3.

$\bar{R}_k, \text{ м}$	$3,890030358119027 \cdot 10^7$
$\bar{R}_\phi, \text{ м}$	$3,890030425866324 \cdot 10^7$
$(\bar{R}_k + \bar{R}_\phi) / 2, \text{ м}$	$3,890030391992676 \cdot 10^7$
$\bar{R}_{iono}, \text{ м}$	$-0,338736493286 \approx 0,1 \text{ нс}$

Таблица 4.

$\sigma_k, \text{ м}$	1,363919653717050
$\sigma_\phi, \text{ м}$	0,172483342293234
$\sigma_{(k+\phi)/2}, \text{ м}$	0,363320814770151
$\sigma_{iono}, \text{ м}$	0,681518300721 $\approx 2 \text{ нс}$

Коэффициент корреляции измерений по коду и фазе составил 0,06. Ионосферная поправка, рассчитанная по соотношению (8), отличается от поправок, полученных по моделям *IONEX* и *Klobuchar*. Это можно объяснить

несоответствием фазовых измерений псевдодальностей фазовой скорости в ионосфере из-за неоднозначности фазовых измерений, которая в GPS-приемниках устраняется по кодовым измерениям.

ВЫВОДЫ

В соответствии с интерфейсным контрольным документом GPS [7], применение модели *Klobuchar* позволяет компенсировать, как минимум, на 50 % среднеквадратическую погрешность координатно-временных определений, вызванную влиянием аномалий ионосферных задержек. Недостатком модели *Klobuchar* является необходимость применения коэффициентов, которые передаются в навигационном сообщении с борта спутников GPS. Это приводит к зависимости от системы GPS.

В модели *IONEX* остаточное влияние ионосферы составляет не более 30 % среднеквадратической погрешности временных определений. Недостатком данной модели является невозможность ее использования в реальном масштабе времени, так как ионосферные карты передаются в послесеансном режиме по данным международных сервисных центров обработки GPS/GNSS наблюдений, таких как IGS, EPN, JPL.

Таким образом, при реализации пассивных систем синхронизации, использующих в качестве ОИ сигналы ГС SBAS, для снижения ионосферных погрешностей можно использовать совместно модели *IONEX* и *Klobuchar*. Целесообразно продолжить моделирование с целью получения ионосферных поправок для конкретных размещений пунктов синхронизации.

Вариант оценки ионосферных поправок по совместной обработке измерений псевдодальностей по коду и фазе дал отрицательный результат в случае применения стандартных одночастотных GPS-приемников.

Возможно уменьшить на порядок и более ионосферные погрешности синхронизации при использовании сигналов телекоммуникационных ГС, несущие частоты которых существенно выше, чем у СРНС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 38167 Украина, МПК51 (2006), G04G 7/00. Спосіб частотно-часової синхронізації просторово рознесених еталонів та стандартів часу і частоти / Нестеренко Г. В., Коваль Ю. О., Иванова О. О.; заявник та власник Харківський нац. університет радіоелектр. – № u2008 09468; подано 21.07.2008 ; опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24.
2. Коваль, Ю. А. Экспериментальные исследования возможностей частотно-временной синхронизации при использовании сигналов геостационарных ИСЗ системы SBAS / Ю. А. Коваль, Е. А. Иванова, А. А. Костыря [и др.] // Радиотехника. – 2011. – №. 165. – С. 46–55.
3. Иванова, Е. А. Погрешности частотно-временной синхронизации при использовании сигналов телекоммуникационных геостационарных спутников с учетом модели их перемещения / Е. А. Иванова, Ю. А. Коваль, А. А. Костыря [и др.] // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 4/10 (40). – С. 25–29.
4. Коваль, Ю. А. Влияние коррелированных помех в многолучевых каналах на погрешность оценки временного по-

- ложения сигналов / Коваль Ю. А., Костыря А. А., Иванова Е. А. [и др.]. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 3/12 (51). – С. 51–60.
5. Соловьев, Ю. А. Системы спутниковой навигации. – М. : Эко-трендз, 2000. – 267 с.
 6. Кошелев, А. В. Влияние ионосферы на результаты GPS-измерений / Кошелев А. В. // Геодезия и картография. – 2010. – №7. – С. 2–5.
 7. Zumberge, J. F The International GPS Service for Geodynamics / J. F. Zumberge, R. Liu, R. E. Nelan // Jet propulsion laboratory California institute of technology. – 1995. – 338 p.
 8. Chang-Moon, Lee Generation of Klobuchar Ionospheric Error Model Coefficients Using Fourier Series and Accuracy Analysis / Chang-Moon Lee, Kwan-Dong Park. // Journal of Astronomy and Space Sciences. ASS.2011.28.1. № 28(1).
 9. Gurtner, S. W. IONEX: The IONosphere Map Exchange Format Version 1 / S. W. Gurtner // Astronomical institute, university of Berne. – 1998. – 15 p.
 10. IGS Product Table (GPS Broadcast values included for comparison) [Електронний ресурс]; Режим доступу: <http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2012.

Після доробки 25.01.2013.

Коваль Ю. А.¹, Приймак В. Ю.², Хуссейн А. Ф.³¹Д-р техн. наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна^{2, 3}Аспірант, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

МОЖЛИВОСТІ ЗНИЖЕННЯ ІОНОСФЕРНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОХИБКИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СИГНАЛІВ СИСТЕМИ SBAS

У статті розглянуті шляхи зниження іоносферної складової похибки частотно-часової синхронізації при використанні в алгоритмі загального охопту одночастотних GPS-подібних сигналів, що випромінюються геостационарними ШІСЗ системи SBAS. Оцінені можливості рішення даної задачі з використанням двох моделей для компенсації затримок сигналів в іоносфері (*IONEX* і *Klobuchar*) і методу, заснованого на обробці результатів вимірів сигналів по огибаючій і фазі.

Ключові слова: модель іоносфери, синхронізація часу та частоти, алгоритм загального охоплення, результати моделювання, *IONEX*, *Klobuchar*.

Koval A.¹, Pryimak V.², Hussein A.³¹Doctor of Technical Sciences, professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine^{2, 3}Aspirant, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

POSSIBLE REDUCTION OF IONOSPHERIC COMPONENTS, THE TIMING OF THE USE OF SIGNALS SBAS

The article describes the ways to reduce the ionospheric error's component of the time-frequency synchronization which is used in the algorithm of general coverage (AGC) single-frequency GPS-like signals which are emitted by geostationary satellites of SBAS. The possibilities of solving this problem by using two models to compensate for the delay of signals in the ionosphere (*IONEX* and *Klobuchar*) and the method based on the analysis of the results of measurements of signals on their envelope and phase are evaluated.

The analysis of models *IONEX* and *Klobuchar* showed that application of the model *Klobuchar* can compensate, at least, 50 % of the mean square error of coordinate-time definitions, due to the influence of ionospheric anomalies delays.

The residual influence of the ionosphere is not more than 30 % of the standard error of time specified in the model *IONEX*.

The option of the evaluation of ionospheric corrections for joint working on the pseudorange measurements by code and phase was negative in the case of standard single-frequency GPS-receivers.

Keywords: ionosphere model, synchronization of time and frequency, the algorithm is general coverage, modeling, *IONEX*, *Klobuchar*.

REFERENCES

1. Nesterenko G. V., Koval Y., Ivanova O. Pat. 38167 Ukraine, МРК51 (2006), G04G 7/00. Sposib frequency chasovoї sinhronizatsії prostorovo roznesenih etaloniv that i standativ hour frequency : zayavnik that vlasnik Harkivsky Nat. universitet radioelektr., No. u2008 09468 ; filed 21/07/2008 ; publ. 25.12.2008, Bull. № 24.
2. Koval J. A., Ivanova E. A., Kostyrya A. A., Al-Tvezhri B. A., Hussein A. F., Asaad X. Kh. Experimental research capabilities of frequency-time synchronization signals using geostationary satellites of SBAS. *Radio: Vseukr. Interagency. nauchn.-tehn. sb.*, 2011, No. 165, pp. 46–55.
3. Ivanov E., Koval Y., Kostyrya A., Tkachenko V., Yamnitsky S., Ushakov S. The error frequency-time synchronization when more-traditional telecommunication geostationary satellites with the model of their movement, *Shidno-Evropeysky advanced tehnologiy magazine*, 2009, No. 4/10 (40), pp. 25–29.
4. Koval Y., Kostyrya A., Ivanov E., Pryimak V., Al-Tvezhri B., Hui-sein A. The influence of correlated noise in the multipath channel estimation error on the time-term position signals, *East European Journal of advanced technology*, 2011, No. 3/12 (51), pp. 51–60.
5. Solovyov Y. Satellite Navigation Systems. Moscow, Eco-trendz, 2000, 267 p.
6. Koshelev A. Effect of the ionosphere on the results of GPS-measurements, *Geodesy and car-graphy*, 2010, No. 7, pp. 2–5.
7. Zumberge J. F., Liu R., Nelan R. E., The International GPS Service for Geodynamics. Jet propulsion laboratory California institute of technology, 1995, 338 p.
8. Chang-Moon Lee, Kwan-Dong Park. Generation of Klobuchar Ionospheric Error Model Coefficients Using Fourier Series and Accuracy Analysis, *Journal of Astronomy and Space Sciences. ASS.2011.28.1.*, No. 28(1).
9. Gurtner S. W. IONEX: The IONosphere Map Exchange Format Version 1, *Astronomical institute, university of Berne*, 1998, 15 p.
10. IGS Product Table (GPS Broadcast values included for comparison) <http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>.

Міщенко М. В.¹, Фарафонов О. Ю.², Сіциліцин Ю. О.³, Крищук В. М.⁴, Романенко С. М.⁵

¹Асистент, Запорізький національний технічний університет, Україна, E-mail: marina.mischenko@gmail.com

²Канд. тех. наук, доцент, Запорізький національний технічний університет, Україна

³Ст. викладач, Мелітопольський інститут екології та соціальних технологій, Україна

⁴Канд. тех. наук, професор, Запорізький національний технічний університет, Україна

⁵Канд. фіз.-мат. наук, доцент, Запорізький національний технічний університет, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПРОВІДНИХ ЗВ'ЯЗАНИХ МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЙ У КВАЗІДИНАМІЧНОМУ НАБЛИЖЕННІ З УРАХУВАННЯМ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ ТОПОЛОГІЇ

У роботі розглядається методика розрахунку схем багатопровідних зв'язаних мікросмужкових ліній (МСЛ), яка основана на використанні квазідинамічного підходу при моделюванні регулярних ділянок одиночних і зв'язаних ліній та квазістатичного наближення при врахуванні неоднорідностей топології. Така методика забезпечує сумірну з результатами електродинамічного моделювання в системах HFSS та MWO точність розрахунків, а також забезпечує необхідну гнучкість при врахуванні ємнісних неоднорідностей схеми та допускових обмежень на геометричні параметри топології. Перевагою методики є також можливість розрахунку некоординатної топології схеми, моделювання якої в системах HFSS та MWO викликає деякі складності. Порівняння результатів моделювання спрямованого відгалужувача (СВ) на двох зв'язаних МСЛ з представленою методикою та в системі HFSS показало відхилення в межах 5 %.

Ключові слова: спрямований відгалужувач, мікросмужкова лінія, неоднорідність, топологія, квазідинамічне наближення.

ВСТУП

Використання мікросмужкової технології при виготовленні електронної апаратури забезпечує покращення її функціональних характеристик при значному зменшенні габаритів та ваги, що для сучасного стану розвитку електроніки є одним із пріоритетних завдань. Значна кількість пристроїв НВЧ, які реалізовані на багатозв'язаних мікросмужкових лініях передачі, може включати в себе різні топологічні неоднорідності. При аналізі таких структур найбільшу точність забезпечують електродинамічні методи, але вони вимагають значних часових затрат. В той же час, існуючі квазістатичні та квазідинамічні методи також забезпечують високу точність для більшості випадків, потребуючи при цьому значно меншого часу обчислень [1]. Такі системи як HFSS, MWO дають можливість проводити електромагнітний аналіз НВЧ пристроїв та оптимізацію топологій для отримання необхідних вихідних характеристик, однак в цих системах немає можливості дослідити вплив неоднорідностей топології на вихідні характеристики та визначити гарантовані допускові відхилення на геометричні параметри МСЛ, а існуючі аналітичні формули аналізу неоднорідностей топології [2] не забезпечують необхідної точності. Тому представляється актуальною розробка методики розрахунку схем на багатопровідних зв'язаних МСЛ з використанням квазідинамічного підходу при моделюванні регулярних ділянок одиночних і зв'язаних ліній та квазістатичного наближення при врахуванні ємнісних неоднорідностей та допускових обмежень на геометричні параметри топології.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

В даній роботі запропонована методика розглядається на прикладі простого СВ на двох зв'язаних мікросмужкових лініях, рис. 1, а. За методом декомпозиції даний СВ можна поділити на два типи базових елементів (БЕ) [3]: БЕ1, що складається зі зв'язаних ліній, БЕ2, що складаються з одиночних МСЛ, в яких враховані топологічні неоднорідності. Схема з'єднання цих БЕ представлена на рис. 1, б.

Базовим елементам БЕ1 та БЕ2 відповідають матриці розсіювання $S1$ та $S2$, відповідно, які розраховуються у квазідинамічному наближенні. При цьому неоднорідності топології враховуються в матриці $S2$ шляхом внесення додаткових ємностей, які обчислюються у квазістатичному наближенні. Подальше об'єднання матриць $S1$ та $S2$ формує матрицю розсіювання S результуючого багатополосника.

Матриця розсіювання $S1$, яка відповідає відрізку зв'язаних ліній у квазідинамічному наближенні, обчислюється за співвідношенням [1]:

$$\begin{aligned} S_{11} &= S_{11} + S_{12} \cdot D^{-1} \cdot T(l) \cdot S_{22} \cdot T(l) \cdot S_{21}; \\ S_{12} &= S_{12} \cdot D^{-1} \cdot T(l) \cdot S_{21}; \\ S_{122} &= S_{111}; \quad S_{121} = S_{112}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $D = E - T(l) \cdot S_{22} \cdot T(l) \cdot S_{22}$; $T(l) = V \cdot \Theta(l) \cdot V^{-1}$; $\Theta(l) = \text{diag}(e^{-jkl})$; V – власний вектор матриці $C0^{-1} \cdot C$; $C, C0$ – матриці взаємних та власних погонних ємностей

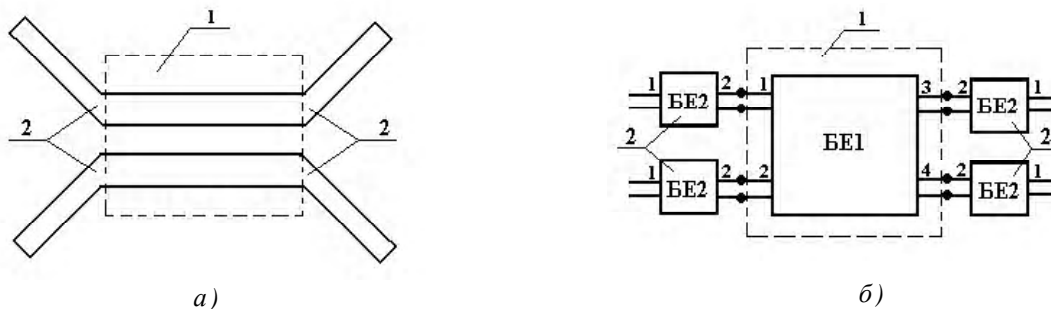


Рис. 1. Модель СВ на зв'язаних лініях:

а) топологія СВ; б) з'єднання БЕ; 1 – область зв'язаних ліній; 2 – області одиночних МСЛ, що включають неоднорідності топології

з урахуванням та без урахування діелектричного заповнення лінії, відповідно; k – постійна розповсюдження; l – довжина зв'язаних МСЛ.

Ефективна діелектрична проникність у квазідинамічному наближенні $\epsilon_{\text{еф}}(\omega)$, яка використовується в (1), описується виразами [4]:

– якщо алгебраїчна сума струмів ліній не дорівнює

нулю ($I_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n I_{k_i} \neq 0$), то

$$\epsilon_{\text{еф}_i}(\omega) = \frac{2 \epsilon_{\text{еф}_i}(0) \left(1 + (k_0 h)^2 \frac{I_{\Sigma}}{2 V_{0_i}} \epsilon_r \right)}{1 + (k_0 h)^2 \frac{I_{\Sigma} \epsilon_{\text{еф}_i}(0) (1 + \epsilon_r)}{2 V_{0_i} \epsilon_r} + D}, \quad (2)$$

де

$$D = \sqrt{1 + 4(k_0 h)^4 \left(\frac{1 - \epsilon_r}{\epsilon_r} \right)^2 \left(\frac{\epsilon_{\text{еф}}(0)}{V_0} \right)^2 + 4 \frac{(k_0 h)^2}{\epsilon_r} \left(1 + \epsilon_r - 2 \frac{\epsilon_{\text{еф}}(0)}{\epsilon_r} \right) \frac{\epsilon_{\text{еф}}(0)}{V_0}},$$

якщо алгебраїчна сума струму лінії дорівнює нулю

($I_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n I_{k_i} = 0$), то

$$\epsilon_{\text{еф}_i}(\omega) = \frac{2 \epsilon_{\text{еф}_i}(0) \left[1 + (k_0 h)^4 \epsilon_r^2 T_i / V_{0_i} \right]}{1 - \epsilon_{\text{еф}_i}(0) / \epsilon_r^2 + 2 (k_0 h)^4 \epsilon_{\text{еф}_i}(0) \epsilon_r T_i / V_{0_i} + D}, \quad (3)$$

де

$$D = \sqrt{\left(\frac{1 + \epsilon_r}{\epsilon_r^2} \right)^2 + 4 (k_0 h)^4 (1 + \epsilon_r) \left(1 - \frac{\epsilon_{\text{еф}}(0)}{\epsilon_r} \right) \frac{\epsilon_{\text{еф}}(0) \eta}{V_0}},$$

ϵ_r – діелектрична проникність матеріалу підложки товщиною h ; $\epsilon_{\text{еф}}(0)$ – квазістатична оцінка ефективної діелектричної проникності на нульовій частоті; k_0 – хвильове число вільного простору; T, V_0, η – функції, які зв'язують геометричні параметри МСЛ [4].

Матриця з'єднання одиночних ліній або навантажень із n -провідною зв'язаною лінією обчислюється за співвідношенням [1]:

$$S = \begin{bmatrix} (E + R \cdot Y)^{-1} \cdot (E - R \cdot Y) & (E + R \cdot Y)^{-1} \cdot 2 \cdot R \cdot Y \\ 2(E + R \cdot Y)^{-1} & (E + R \cdot Y)^{-1} \cdot (E - R \cdot Y) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де E – одинична матриця; R – матриця хвильових опорів одиночних ліній (на рис. 1, а зображено як область 2); $Y = c \cdot C_0 \cdot V \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{еф}}(\omega)} \cdot V^{-1}$ – матриця хвильових провідностей зв'язаних ліній; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; $\epsilon_{\text{еф}}(\omega)$ – діагональна матриця ефективних діелектричних проникностей, отриманих за співвідношеннями (2), (3).

Співвідношення для визначення хвильового опору одиночної МСЛ у квазідинамічному наближенні має вигляд [4]:

$$R = 60 \cdot \sqrt{\left[a_0 - (k_0 \cdot h)^2 \cdot (\epsilon_r - \epsilon_{\text{еф}}(\omega)) \right] \cdot \left[\frac{2 \cdot (a_0 + \sum_n \Gamma^n \cdot a_n)}{1 + \epsilon_r} - \frac{(k_0 \cdot h)^2 \cdot (\epsilon_r - \epsilon_{\text{еф}}(\omega))}{\epsilon_{\text{еф}}(\omega)^2} \right]}, \quad (5)$$

$$\text{де } \epsilon_{\text{еф}}(\omega) = \epsilon_{\text{еф}}(0) \cdot \frac{2 \left[1 - (k_0 h)^2 \frac{\epsilon_{\text{еф}}(0)}{a_0} \right]}{1 - (k_0 h)^2 \frac{\epsilon_{\text{еф}}(0) \cdot (1 + \epsilon_r)}{\epsilon_r a_0} + D1}, \quad D1 = \sqrt{1 - 4(k_0 h)^2 \frac{\epsilon_{\text{еф}}(0)}{\epsilon_r a_0} \left(\frac{1 + \epsilon_r}{2} - \frac{\epsilon_{\text{еф}}(0)}{\epsilon_r} \right) + (k_0 h)^4 \left(\frac{\epsilon_{\text{еф}}(0) (1 - \epsilon_r)}{\epsilon_r a_0} \right)^2},$$

a_0 – функція, яка зв'язує геометричні параметри МСЛ [4].

Наявність неоднорідностей топології враховується шляхом внесення в схему додаткових ємностей, які обчислюються у квазістатичному наближенні. Для розрахунку цих ємностей використовується відоме інтегральне рівняння, яке пов'язує розподілення поверхневих зарядів із заданими значеннями потенціалу на смужках:

$$\varphi(r_p) = \int_{S_n} G(r_p, r_q) \cdot \sigma(r_q) ds_q = U, \quad (6)$$

де $\sigma(r_q)$ – розподілення щільності заряду на поверхні S_n провідників із заданим значенням потенціалу U ; $G(r_p, r_q)$ – функція Гріна крайової задачі.

Еквівалентна ємність неоднорідності розраховується за співвідношенням [5]:

$$C_i = \frac{1}{\varphi_i} \sum_{n=1}^{N_x} \sum_{m=1}^{M_y} (\sigma_{nm} - \sigma_{0nm}) s_{nm}, \quad (7)$$

де φ_i – потенціал i -ої смужки; N_x – число ділянок, на які поділена смужка вздовж; M_y – число ділянок, на які поділена смужка впоперек; s_{nm} – площа nm -ої ділянки; σ_{nm} – поверхневий заряд у центрі nm -ої ділянки; σ_{0nm} – поверхневий заряд у центрі nm -ої ділянки, рівновіддаленого від кінців смужки.

Наведена методика реалізована в програмі, яка, на відміну від відомих аналітичних формул [2], дає можливість аналізувати топологію пристрою НВЧ в цілому. На рис. 2 зображено частину СВ, на прикладі якої можна описати основні аспекти роботи програми.

Насамперед, структура ділиться на прямокутні області (на рис. 2 помічено 1, 3), які в свою чергу діляться на прямокутні комірки (їх кількість N_x та M_y обираються оператором). Для того, щоб реалізувати елементи топології з кутом нахилу α , відносно основної системи координат, всі області задаються трьома точками (для області 1 вони помічені т. А, т. Б, т. В, рис. 2). Трикутна область 2 спочатку реалізується як прямокутник, а далі з використанням алгоритму виключення зайва частина «відсікається». В даному випадку в аналіз увійшли комірки, для яких

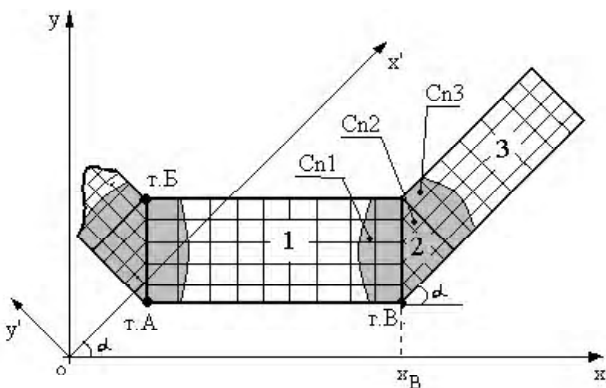


Рис. 2. Частина спрямованого відгалужувача з областю неоднорідності для визначення ємності неоднорідності

$x_{cp_i} \geq x_B$, де x_{cp_i} – значення середини i -ої комірки за віссю ОХ, x_B – координата т. В.

За співвідношенням (7) визначаються крайові ємності областей, які позначені сірим на рис. 2. Так, для області 1 це крайова ємність $C_n 1$, для області 3 – $C_n 3$. Оскільки геометричні розміри області 2 значно менші від λ , де λ – довжина робочої хвилі, то для неї рівняння (7) приймає вигляд:

$$C_n 2 = \frac{1}{\varphi_i} \sum_{n=1}^{N_x} \sum_{m=1}^{M_y} (\sigma_{nm}) s_{nm}. \quad (8)$$

Тоді ємність неоднорідності топології визначається як:

$$C_H = C_n 1 + C_n 2 + C_n 3. \quad (9)$$

Тепер, маючи значення ємності неоднорідності топології, елементи матриці розсіювання S_2 чотирьохполюсника БЕ2, рис. 1, б, можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} S_{211} &= (Z_{H1} - R)/(Z_{H1} + R); \\ S_{222} &= S_{211}; \\ S_{212}^2 &= 1 - S_{211}^2; \quad S_{221} = S_{212}, \end{aligned} \quad (10)$$

де $Z_{H1} = (R \cdot X_c)/(R + X_c)$; $X_c = 1/j\omega C_H$; C_H – ємність ділянки неоднорідності, визначається за співвідношенням (9).

РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЕНЬ

Для перевірки описаної методики було розраховано перехідне ослаблення СВ на двох зв'язаних МСЛ (рис. 1, а) з довжиною області зв'язку $l = 7,7$ мм, виконаних на підшарку з діелектричною проникністю $\epsilon_r = 9,8$, товщиною $h = 0,635$ мм, шириною зв'язаних смужок $w = 0,44$ мм, зазором між смужками $s = 0,19$ мм, для кутів нахилу одиночних ліній $\alpha = 45^\circ$ та 50° . Результати обчислень наведені на рис. 3.

Аналіз отриманих результатів показує, що відхилення квазістатичного розрахунку від результатів, отриманих при моделюванні СВ із ідентичними параметрами в системі HFSS, в смузі частот від 2 ГГц до 6 ГГц не перевищують 9% та 11%, а на частоті $f = 7,5$ ГГц – 30,33% та 9,24% для структур з кутом нахилу ліній живлення 45° та 50° , відповідно. А при квазідинамічному розрахунку з урахуванням неоднорідностей топології ці відхилення в смузі частот від 2 ГГц до 6 ГГц не перевищують 5% та 5,5%, відповідно, та на частоті $f = 7,5$ ГГц – 0,98% та 5%, відповідно. Квазідинамічний розрахунок без урахування ємності неоднорідності також показав хороші результати, але на 0,2% гірші, ніж при врахуванні ємності неоднорідності, що особливо помітно на частоті $f = 7,5$ ГГц, де різниця склала 11,8%.

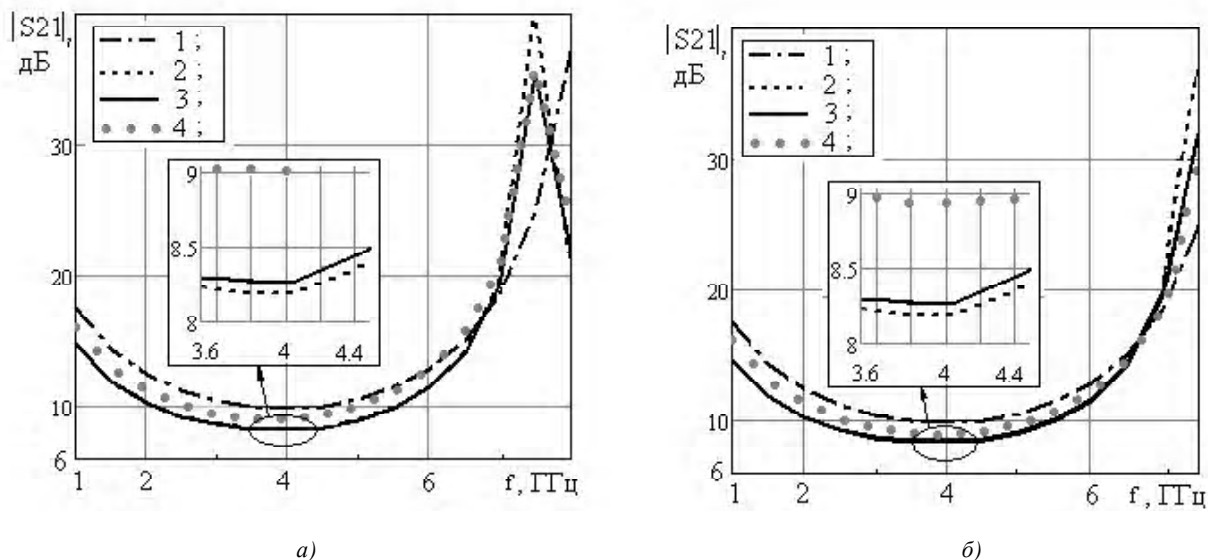


Рис. 3. Перехідне ослаблення спрямованого відгалужувача:

а) одиночні лінії, відхилені на кут 45° ; б) одиночні лінії, відхилені на кут 50° ;

1 – результати квазістатичних розрахунків; 2 – результати квазідинамічних розрахунків без урахування ємностей неоднорідностей; 3 – результати квазідинамічних розрахунків із урахуванням ємностей неоднорідностей;

4 – моделювання в системі HFSS

ВИСНОВКИ

В роботі представлена методика розрахунку схем багатопрвідних зв'язаних МСЛ, яка заснована на використанні квазідинамічного підходу при моделюванні регулярних ділянок одиночних і зв'язаних ліній та квазістатичного наближення при врахуванні неоднорідностей топології. За цією методикою можливо виявляти вплив топологічних неоднорідностей на вихідні характеристики НВЧ-пристроїв на зв'язаних МСЛ з різною геометрією, оскільки запропонована методика аналізу неоднорідностей МСЛ дає змогу моделювати координатні й некоординатні топології схем НВЧ-пристроїв. Зокрема, в роботі проаналізовані спрямовані відгалужувачі з ідентичними геометричними параметрами, лінії живлення яких були нахилені відносно зв'язаних ліній на кут 45° та 50° , відповідно. Порівняння розрахованих значень їх перехідних ослаблень із результатами електромагнітного аналізу в системі HFSS показали відхилення в межах 5% в робочій смузі частот.

Простота реалізації наведених методик в автоматизованих системах сприяє їх використанню при обчисленні допускових обмежень на геометричні параметри мікросмужкових ліній передач. Подальший напрямок роботи

полягає у використанні запропонованої методики для визначення допускових обмежень із урахуванням неоднорідностей топології.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпуков, Л. М. Квазідинамічне моделювання багатопрвідних зв'язаних мікрополоскових ліній / Л. М. Карпуков, Р. Д. Пулов, В. О. Рыбин // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2006. – № 2. – С. 28–32.
2. Gupta, K. C. Microstrip lines and slotlines / K. C. Gupta, Ramesh Garg, Inder Bahl, Prakash Bhartia. – London: Artech House, 1996. – 535 p.
3. Силаев, М. А. Приложение матриц и графов к анализу СВЧ устройств / М. А. Силаев, С. Ф. Брянцев. – М.: Советское радио, 1970. – 320 с.
4. Карпуков, Л. М. Аналітичний розрахунок дисперсії у багатопрвідних мікросмужкових лініях на основі квазідинамічного наближення / Л. М. Карпуков, С. Н. Романенко, Р. Д. Пулов // Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2002. – № 440. – С. 212–218.
5. Silvester, P. Equivalent Capacitances of Microstrip Open Circuits / P. Silvester, P. Benedek // IEEE Trans. MTT. – 1972. – № 8. – P. 390–395.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2013.

Після доробки 23.01.2013.

Мищенко М. В.¹, Фарафонов А. Ю.², Сицилицин Ю. А.³, Кришук В. Н.⁴, Романенко С. Н.⁵

¹Ассистент, Запорозький національний технічний університет, Україна

²Канд. тех. наук, доцент, Запорозький національний технічний університет, Україна

³Ст. преподаватель, Мелитопольский институт экологии и социальных технологий, Украина

⁴Канд. тех. наук, профессор, Запорозький національний технічний університет, Україна

⁵Канд. физ.-мат. наук, доцент, Запорозький національний технічний університет, Україна

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОПРОВОДНЫХ СВЯЗАННЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ В КВАЗИДИНАМИЧЕСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ТОПОЛОГИИ

В работе рассмотрена методика расчета схем на многопроводных связанных МПЛ, основанная на использовании квазидинамического подхода при моделировании регулярных участков одиночных и связанных линий и квазистатического приближения при учете неоднородностей топологии. Такая методика обеспечивает соизмеримую с результатами электродинамического моделирования в системах HFSS и MWO точность расчетов, а также обеспечивает необходимую гибкость при учете емкостных неоднородностей схемы и допусковых ограничений на геометрические параметры топологии. Преимуществом методики является также возможность расчета некоординатной топологии схемы, моделирование которой в системах HFSS и MWO вызывает некоторые сложности. Сравнение результатов моделирования направленного ответвителя на двух связанных МПЛ по представленной методике и в системе HFSS показало отклонение в пределах 5 %.

Ключевые слова: направленный ответвитель, микрополосковая линия, неоднородность, топология, квазидинамическое приближение.

Mishchenko M.¹, Farafonov O.², Sitsilitsin Y.³, Krishchuk V.⁴, Romanenko S.⁵

¹Assistant of professor, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

²Philosophy Doctor, associate, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

³Assistant of professor, Melitopol Institute of Ecology and Social Technologies, Ukraine

⁴Ph.D., professor, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

⁵Philosophy Doctor, associate professor, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

COUPLED MICROSTRIP LINES MODELLING IN QUASI-DYNAMIC APPROXIMATION WITH THE TOPOLOGY DISCONTINUITIES

The calculation technique of coupled multiconductor microstrip line circuit based on the use of quasi-dynamic approach for the modelling of regular regions of single and coupled lines and quasi-static approximation for the analysis of topology discontinuities effects is presented in this paper. This technique provides results comparable to electrodynamic modelling accuracy in HFSS, MWO, and provides the flexibility to account for capacitive discontinuities and tolerable limits of geometric parameters of the topology. The advantage of the technique considered is the ability to calculate non-coordinate topologies. Modelling of these topologies in HFSS and MWO causes some difficulty.

The computations of the directional coupler transition attenuation for two coupled microstrip lines in quasi-static and quasi-dynamic approximations without taking into account discontinuity topology effects and quasi-dynamic approximation with taking into account discontinuities topology effects are accomplished. The formulas for determination the dispersion of the effective dielectric permittivity in quasi-dynamic approximation and formulas for determination of the scattering matrix of multiconductor coupled lines with the transition to single lines or loads are presented. The directional coupler under consideration was modelled in HFSS and the results were compared with presented calculations. Deviations between results do not exceed 5 %.

Keywords: directional coupler, microstrip line, discontinuity, topology, quasidynamic approximation.

REFERENCES

1. Karpukov L. M., Pulov R. D., Ry'bin V. O. Kvazidinamicheskoe modelirovanie mnogoprovodny'x svyazanny'x mikropoloskovy'x linij, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2006, No. 2, pp. 28–32.
2. Silaev M. A., Bryanczev S. F. Prilozhenie matricz i grafov k analizu SVCH ustrojstv. Moscow, Sovetskoe radio, 1970, 320 p.
3. Karpukov L. M., Romanenko S. N., Pulov R. D. Analitichnyi rozrakhunok dyspersii u bahatoprovodnykh mikrosmuzhkovykh liniiah na osnovi rvazidynamichnoho nablyzhennia. *Radioelektronika ta telekomunikatsii*, 2002, No. 440, pp. 212–218.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ПОМЕХ НА СИСТЕМЫ ПОМЕХОЗАЩИТЫ ИМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРОВСКИХ РАДАРОВ

Предложена методика оценки влияния интерференции активных помех на системы помехозащиты импульсно-доплеровских радаров. Для этого в полигонных условиях была проведена регистрация шумовой активной помехи, принятой двухканальным приемным устройством при темпе сканирования антенной системы в режиме кругового обзора 5 и 10 секунд и частоте повторения импульсов 1500, 750 и 375 Гц. Показано, что при увеличении темпа сканирования и уменьшении частоты повторения импульсов флуктуации межканального отношения амплитуд на интервале когерентной обработки увеличиваются, что приводит к деградации параметров пространственного фильтра в режиме запоминания весовых коэффициентов.

Ключевые слова: адаптация, активная помеха, интерференция, пространственная фильтрация, когерентная обработка, радар.

ВВЕДЕНИЕ

В теории распространения радиоволн существуют различные модели каналов приема [1, 2], учитывающие движение источника или приемника радиосигнала, рельеф местности, а также наличие переотражающих объектов на трассе распространения радиосигналов. Однако, использование известных моделей не позволяет оценить влияние переотражений активных помех на эффективность многоканальных систем помехозащиты импульсно-доплеровских радаров. Ситуация усложняется при проектировании систем помехозащиты, функционирующих при одновременном воздействии как активных шумовых, так и пассивных помех. Учитывая, что такой режим воздействия в современных условиях является наиболее вероятным, представляется целесообразным произвести статистическую оценку интерференции помеховых сигналов на эффективность систем помехозащиты в реальных условиях работы радаров.

1. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ПОМЕХ

В современных импульсно-доплеровских РЛС как гражданского, так и военного назначения используется пачечная обработка принимаемых отраженных сигналов с межпачечной вобуляцией частоты повторения импульсов. Такая обработка, например, реализована в аэродромной диспетчерской РЛС ASR-9 (США) [3], а также в РЛС З6Дб (Украина) [4]. Когерентность принимаемых сигналов в частотной пачке позволяет обеспечить их эффективное накопление и, с учетом вобуляции, осуществить спектральный анализ с последующим выделением полезных сигналов на фоне пассивных помех.

Помехозащищенность РЛС с пачечной обработкой сигналов обеспечивается путем использования пространственно-временной фильтрации. При этом, с целью исключения расширения спектра пассивной помехи при непрерывной адаптации пространственного фильтра, используют режим с запоминанием весовых коэффициентов на интервалах когерентной обработки сигналов [5]. Запоминание весовых коэффициентов пространственного фильтра исключает модуляцию пассивной составляющей комбинированной помехи, что, при дальнейшей обработке во временном фильтре, улучшает выделение полезных сигналов на фоне пассивных помех. Однако, при этом эффективность пространственной фильтрации снижается. Это обусловлено интерференционными явлениями при распространении помеховых сигналов, которые приводят к изменению межканальной разности амплитуд на интервалах с фиксированными значениями весовых коэффициентов пространственного фильтра. Многоканальность систем пространственной фильтрации существенно усложнила применение аналитического подхода. Поэтому, в предложенной методике при оценке влияния интерференции активных помех на пространственно-временную фильтрацию сигналов в импульсно-доплеровских радаров использован экспериментальный метод исследования. Для этого в полигонных условиях была проведена регистрация шумовой помехи, принятой двухканальным приемным устройством, с темпом сканирования 5 и 10 с при разных частотах повторения импульсов (ЧПИ): 1500 Гц, 750 Гц, 375 Гц. Оцифровка помеховых сигналов проводилась 10-ти разрядным АЦП на промежуточной частоте, равной 4,6 МГц, в полосе 2,8 МГц синхронно в основном и компенсационном канале. Были вычислены отношения δ_j средней мощности компенсационного

канала $P_{\text{комп}j}$ к мощности основного канала $P_{\text{осн}j}$ в каждом j -м периоде повторения

$$\delta_j = 10 \lg(P_{\text{комп}j} / P_{\text{осн}j}),$$

$$P_{\text{комп}j} = \frac{1}{D} \sum_{k=1}^D x_k^2,$$

$$P_{\text{осн}j} = \frac{1}{D} \sum_{k=1}^D y_k^2,$$

где D – количество дискретов дальности в периоде повторения, x_k и y_k – амплитуды k -го дискрета дальности компенсационного и основного каналов, соответственно. На основе проведенных расчетов определены значения σ_i – среднеквадратические отклонения (СКО) отношений δ_j на каждом i -ом интервале когерентной обработки сигналов:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\delta_j - \bar{\delta}_i)^2},$$

где N – количество периодов повторения в i -ой частотной пачке, $\bar{\delta}_i$ – среднее значение отношений δ_j на i -том интервале когерентной обработки сигналов в радаре.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 1–5 приведены СКО межканальных отношений амплитуд помеховых сигналов в каналах приема адаптивного пространственного фильтра на интервалах когерентной обработки при разных темпах сканирования и различных ЧПИ.

Средние значения $\bar{\sigma}_i$ за один оборот антенной системы в различных режимах работы радара сведены в табл. 1.

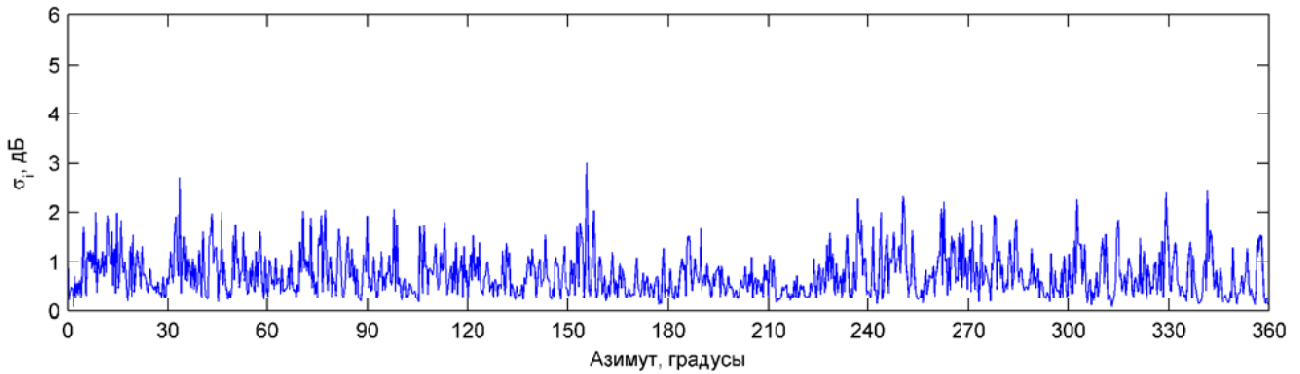


Рис. 1. Значения σ_i за один оборот антенной системы (темп сканирования 10 с, ЧПИ 1500 Гц)

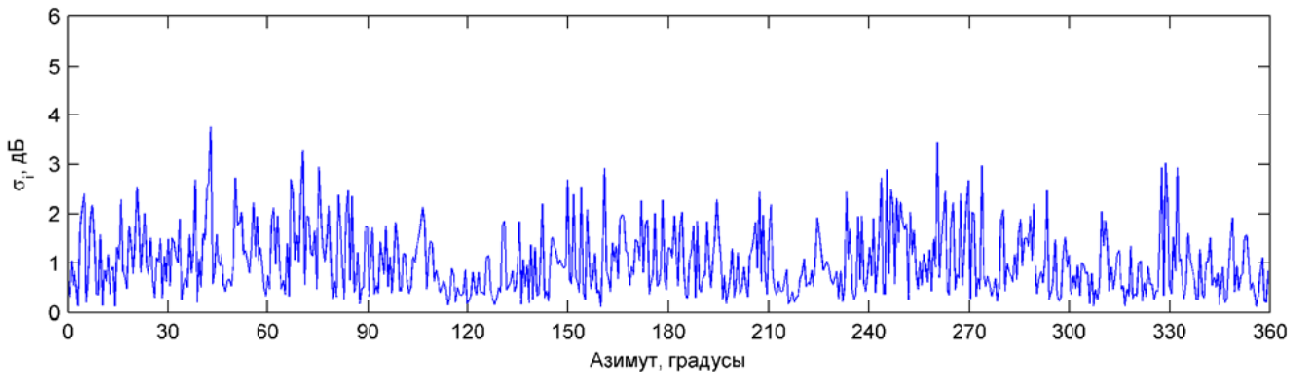


Рис. 2. Значения σ_i за один оборот антенной системы (темп сканирования 10 с, ЧПИ 750 Гц)

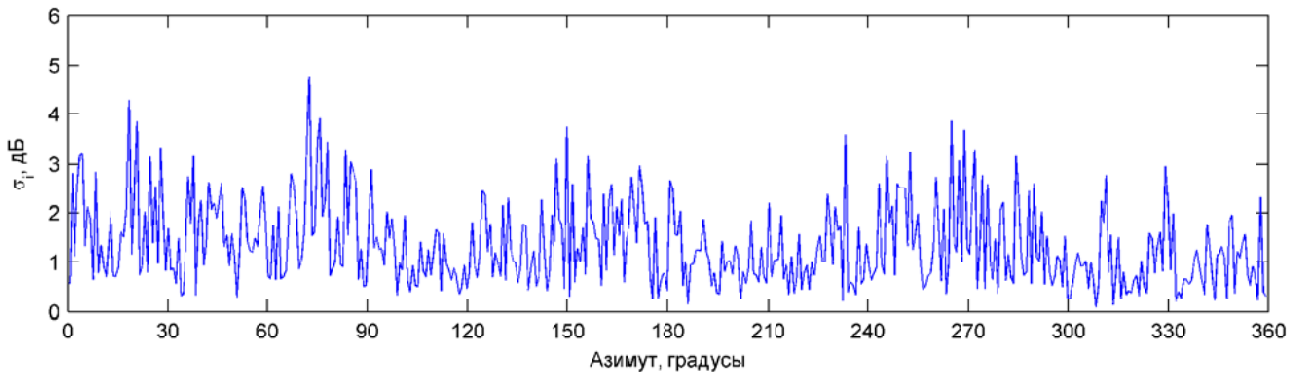


Рис. 3. Значения σ_i за один оборот антенной системы (темп сканирования 10 с, ЧПИ 375 Гц)

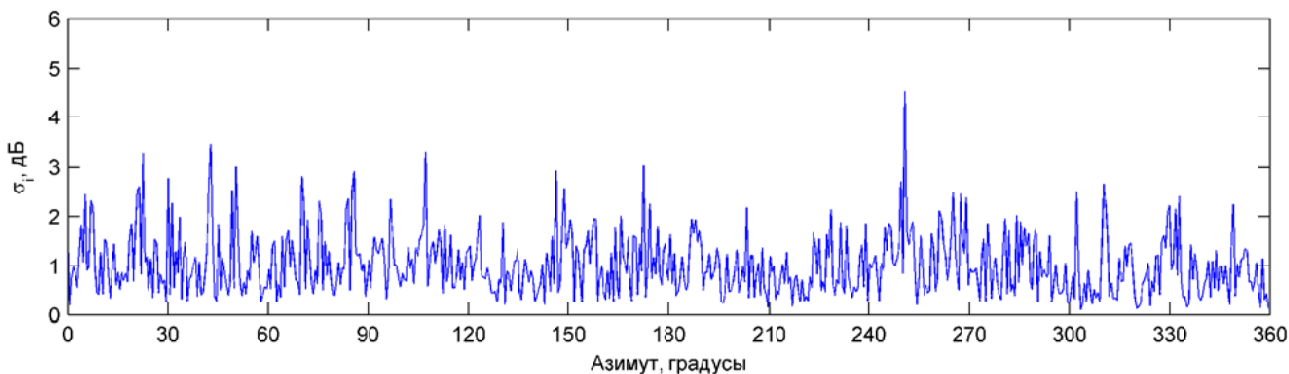


Рис. 4. Значения σ_i за один оборот антенной системы (темп сканирования 5 с, ЧПИ 1500 Гц)

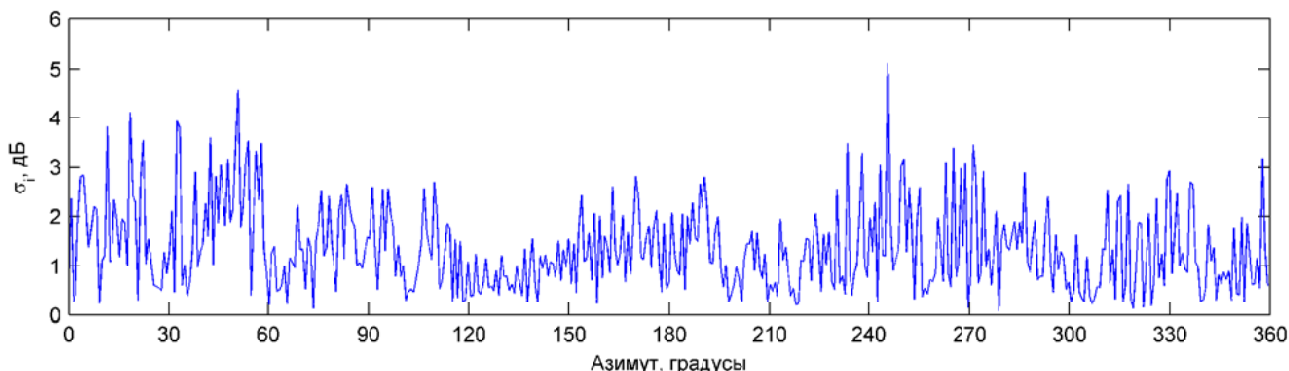


Рис. 5. Значения σ_i за один оборот антенной системы (темп сканирования 5 с, ЧПИ 750 Гц)

Таблица 1. Средние значения СКО $\bar{\sigma}_i$ за обзор

Темп сканирования, с	10			5	
	ЧПИ, Гц	1500	750	375	1500
$\bar{\sigma}_i$, дБ	0,738	1,020	1,345	1,025	1,354
N	16	12	8	12	8

Совместный анализ полученных результатов дает основание считать, что изменение межканальных соотношений амплитуд, обусловленное интерференцией помеховых сигналов при вращении антенной системы, зависит от режима работы радара. Из табл.1 следует, что с увеличением темпа сканирования и уменьшением ЧПИ флуктуации межканальных отношений амплитуд возрастает, что ограничивает эффективность работы адаптивного пространственного фильтра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены количественные оценки влияния интерференции на межканальное изменение амплитуд помеховых сигналов в каналах приема адаптивного пространственного фильтра. Это позволяет оценить деградацию его параметров в режиме с запоминанием весовых ко-

эффициентов. Установлено, что при увеличении темпа сканирования и уменьшении ЧПИ, флуктуации отношения амплитуд между каналами приема на интервале когерентной обработки возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jeruchim, M. C.* Simulation of Communication Systems, Second Edition / *Jeruchim M. C., Balaban P., Shanmugan K. S.* – New York, Kluwer Academic Plenum, 2002. – P. 545–591.
2. *Гавриленко, В. Г.* Распространение радиоволн в современных системах мобильной связи [Текст] / *В. Г. Гавриленко, В. А. Яшнов.* – Нижний Новгород, НГУ им. Лобачевского, 2000. – 64 с.
3. *Taylor, J. W., Jr.* «Design of a new airport surveillance radar (ASR-9)» / *J. W. Taylor Jr., G. Brunins* // Proceedings of the IEEE. – 1985. – vol. 73, no. 2. – P. 284–289.
4. Радиолокационная станция 36Д6М. Эксплуатация и техническое обслуживание [Текст] / [Май И. Д., Каспирович А. Г., Винник В. А. и др.]. – Запорожье : КП НВК «Искра», 2006. – 140 с.
5. *Пиза, Д. М.* Особенности адаптации пространственных фильтров при воздействии комбинированных помех [Текст] / *Д. М. Пиза, А. П. Залевский* // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2005. – № 1. – С. 45–48.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2013.

Піза Д. М.¹, Залевський О. П.², Сіренко А. С.³

¹Д-р техн. наук, професор, Запорізький національний технічний університет, Україна

²Канд. техн. наук, доцент, Запорізький національний технічний університет, Україна

³Старший викладач, Запорізький національний технічний університет, Україна

ВПЛИВ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ ЗАВАД НА СИСТЕМИ ЗАВАДОЗАХИСТУ ІМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРІВСЬКИХ РАДАРІВ

Запропонована методика оцінки впливу інтерференції активних завад на системи завадо захисту імпульсно-доплерівських радарів. Для цього в полігонних умовах було проведено реєстрацію шумової активної завади, прийнятої двоканальним приймальним пристроєм при темпі сканування антенної системи в режимі кругового огляду 5 і 10 секунд і частоті повторення імпульсів 1500, 750 і 375 Гц. Показано, що при прискоренні темпу сканування і зменшенні частоти повторення імпульсів зміна міжканального відношення амплітуд на інтервалі когерентної обробки збільшується, що призводить до деградації параметрів просторового фільтра в режимі запам'ятовування вагових коефіцієнтів.

Ключові слова: адаптація, активна завада, інтерференція, просторова фільтрація, когерентна обробка, радар.

Piza D. M.¹, Zalevskiy A. P.², Sirenko A. S.³

¹Ph.D., professor, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

²Ph.D., associate professor, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

³Senior Lecturer, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

THE INFLUENCE OF JAMMING SIGNAL INTERFERENCE ON PULSE-DOPPLER RADAR ELECTRONIC COUNTER-COUNTERMEASURES

A method to evaluate the influence of jamming signal interference on pulse-doppler radar ECCM has been developed. We have registered a noise jamming signal, which has been picked up by 2-channel receiving device using scanning rate of antennae system in full circle mode 5 and 10 seconds, pulse repetition frequency (PRF) 1500, 750 and 375 Hz in the field conditions to develop said method. We have quantified the influence of jamming signal interference on the relationships of magnitudes in reception channels of adaptive spatial filter with weight store during coherent processing interval (CPI). It is shown that with an increase in scanning rate and decrease of PRF, the change of interchannel magnitude relationship increases on CPI, which causes the degradation of parameters of spatial filter in weight store mode.

Keywords: adaptation, active jamming, interference, spatial filtering, coherent processing, radar.

REFERENCES

1. Jeruchim, M. C., Balaban, P., and Shanmugan, K. S. Simulation of Communication Systems, *Second Edition*. New York, Kluwer Academic, Plenum, 2002, pp. 545–591.
2. Gavrilenko V. G. Rasprostranenie radiovoln v sovremennyx sistemax mobil'noj svyazi, Nizhnij Novgorod, NGU im. Lobachevskogo, 2000, 64 p.
3. Taylor, J. W., Jr.; Brunins, G., «Design of a new airport surveillance radar (ASR-9)». *Proceedings of the IEEE*, 1985, vol. 73, No.2, pp. 284–289.
4. Maj I. D., Kaspirovich A. G., Vinnik V. A. Radiolokacionnaya stanciya 36D6M. Ekspluatatsiya i texnicheskoe obsluzhivanie. Uchebnoe posobie. Zaporozh'e, KP «NPK «Iskra», 2006, 140 p.
5. Piza D. M. Zalevskij A. P. Osobennosti adaptacii prostranstvenny'x fil'trov pri vozdeystvii kombinirovanny'x pomex, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2005, No. 1, pp. 45–48.

ПОБУДОВА КЛАСИФІКАТОРА РОСЛИННИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Розглянуто можливість побудови класифікатора рослинних об'єктів за допомогою двошарової та трьохшарової нейронної мережі.

Ключові слова: розпізнавання, нейронна мережа, перцептрон, спектральні коефіцієнти яскравості.

ВСТУП

Для оцінки стану рослинних об'єктів, їх класифікації за видовою ознакою, по рівню вмісту мінеральних речовин, наявності або відсутності у них захворювань все більш застосовуються методи дистанційного зондування рослинних об'єктів, за допомогою яких можна оцінювати динаміку розвитку і стан рослин на контрольованій площі при мінімальній участі людини або, взагалі, без неї. А тому питання автоматизації дистанційного зондування рослин і класифікація за видом рослинного об'єкту є актуальним.

При побудові блоку класифікації рослин за результатами дистанційного зондування на культурні і бур'яни автоматизованої систем обробки просапних культур необхідно, щоб розпізнавальний пристрій мав здатність до адаптації та забезпечував досить надійну і безпомилкову класифікацію.

Найбільш відомими методами розпізнавання є дискримінантний аналіз, регресійний аналіз [1], метод потенціальних функцій, метод групового урахування аргументів, метод граничних спрощень, нейромережні методи [2]. Порівняльний аналіз основних методів розпізнавання – кореляційних, ознакових (статистичних і детермінованих), нейромережних дозволяє зробити висновок, що нейромережні методи найбільш ефективні для вирішення завдань розпізнавання [3]. Крім того, нейромережні методи забезпечують більш високу стійкість роботи системи розпізнавання в умовах перешкод.

Розпізнавання рослинних об'єктів за допомогою нейронних мереж (НМ) розглянуто у ряді робіт [4, 5, 6]. Але в цих роботах класифікація рослинних об'єктів проводилася лише на два класи (корисну культуру і бур'яни) за допомогою тришарового перцептрона. Проте на практиці доцільною є класифікація на більшу кількість класів, що обумовлюється необхідністю використання різних гербіцидів для різних видів бур'янів. Моделі, отримані в [4, 5, 6] на основі тришарових НМ, як правило, характеризуються великою надлишковістю і висувають високі вимоги до обчислювальних ресурсів. Тому для зменшення надлишковості розпізнавальної моделі необхідно пе-

ревірити можливість побудови класифікатора на основі двошарової НМ, що також скоротить час навчання та суттєво збільшить швидкість прийняття рішень і дозволить зменшити вимоги до обчислювальних ресурсів.

Мета роботи полягає у побудові розпізнавальної моделі рослинних об'єктів, яка класифікує рослини на три класи, на основі двошарової і трьохшарової НМ прямого поширення сигналу за експериментально отриманими даними дистанційного зондування рослинних об'єктів. Класифікація рослин, як зазначалось, проводиться на три класи і умовою класифікації є вид рослини. Розпізнавання рослин буде проведено на корисні (соняшник – перший клас) і бур'яни (амброзія – другий клас, мишій – третій клас).

1. РОЗПІЗНАВАЛЬНА СИСТЕМА

Розпізнавальна система як компонент автоматизованої системи має забезпечити прийняття рішень щодо належності розпізнаваного об'єкта до одного з можливих класів.

Схему процесу роботи системи розпізнавання наведено на рис. 1.

Відбитий сигнал від об'єкта розпізнавання (рослина, ґрунт) надходить до блоку обробки інформації. У блоці обробки інформації є енергонезалежна пам'ять, в якій закладені ознаки (у нашому випадку це частоти або частотні області). З відбитого сигналу відбувається фільтрація сигналу у відповідності до ознак. Здобутий сигнал у блоці Класифікація порівнюється з еталонним, який також закладений в енергонезалежній пам'яті, і видається рішення про належність об'єкту (рослини) до відповідного класу.

Одним з істотних недоліків нейромережових класифікаторів, до недавнього часу, що використовують програмну емуляцію алгоритмів, була неможливість робити навчання в режимі реального часу. Враховуючи, що на даний момент обчислювальні можливості апаратних засобів набагато зросли, то можливо побудувати класифікатор для розпізнавання рослинних об'єктів на 3 класи на основі НМ. Наприклад, час розпізнавання зображень

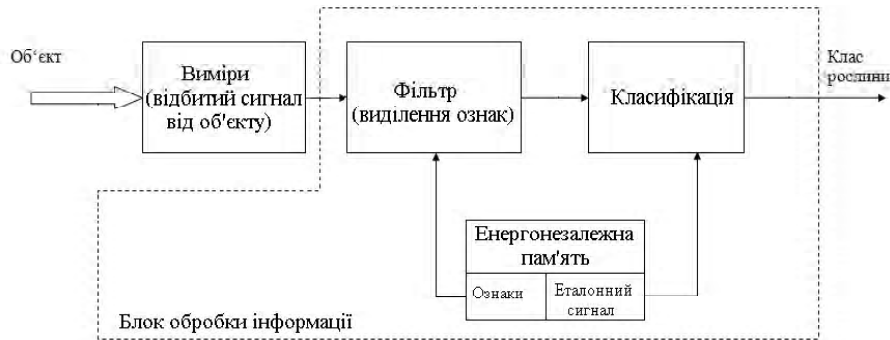


Рис. 1. Структура системи розпізнання

(за допомогою нейронної мережі) повітряних цілей за інформацією від оптико-електронного джерела на відстані до 20 км, з вірогідністю не гірше 0,88–0,91, становить не більше 6 секунд [7], а час розпізнання геометричних фігур робота Фенікс-1 (реалізований на нейромережевому алгоритму управління) складає не більше 0,2 секунди [8]. Тобто, використовуючи сучасні апаратні засоби можливо побудувати класифікатор для розпізнання рослинних об'єктів щонайменше на 3 класи, який працював би в режимі реального часу.

2. ПОБУДОВА РОЗПІЗНАВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ

Алгоритм навчання НМ для нашого випадку зображений на рис. 2.

Навчання НМ будемо проводити по алгоритму Левенберга-Марквардта.

Алгоритм Левенберга-Марквардта призначений для оптимізації параметрів нелінійних регресійних моделей. В алгоритмі, в якості критерію оптимізації, використовується середньоквадратична помилка моделі на навчальній вибірці. Алгоритм полягає в послідовному наближенні заданих початкових значень параметрів до шуканого локального оптимуму.

Так, функцію похибки можна навести як [3]:

$$E(\bar{w}) = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^M (\bar{y}'' - f(\bar{w}, \bar{x}''))^2 = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^M e_i^2(\bar{w}), \quad (1)$$

\bar{y} – вихідна (цільова) функція; $f(\bar{w}, \bar{x})$ – функція апроксимації, аргументами якої є параметри мережі – \bar{w} і друга похідна функції входів – \bar{x} ; M – кількість нейронів; n – порядковий номер нейрону.

Кроки алгоритму виглядають наступним чином.

1. Задаємо початкові значення параметрів мережі і алгоритму навчання, а також граничні значення параметрів закінчення роботи алгоритму.

2. Обчислюємо антиградієнт за формулою:

$$\bar{g}_k = \bar{e}(\bar{w}_k) \cdot J(\bar{w}_k), \quad (2)$$

де $J(\bar{w}_k)$ – якобіан.

3. Обчислюємо матрицю $G(\bar{w}_k)$ по формулі

$$G(\bar{w}_k) = J(\bar{w}_k) \cdot J^T(\bar{w}_k) + \nu_k \cdot I, \quad (3)$$

де I – одинична матриця;

4. Обчислюємо напрям за формулою:

$$\bar{p}_k = -G^{-1}(\bar{w}_k) \cdot \bar{g}_k. \quad (4)$$

5. Обчислюємо значення:

$$\nu_k = \begin{cases} \frac{\nu_{k-1} - 1}{r}, E(\frac{\nu_{k-1}}{r}) \leq E_k; \\ \nu_k = \nu_{k-1}, E(\frac{\nu_{k-1}}{r}) > E_k \text{ и } E(\nu_{k-1}) < E_k; \\ \nu_k = \nu_{k-1} \cdot r^m, E(\frac{\nu_{k-1}}{r}) > E_k \text{ и } E(\nu_{k-1}) > E_k. \end{cases} \quad (5)$$

6. Обчислюємо помилку E на навчальній вибірці і, якщо помилка істотна, повторюємо кроки 2–6.

3. ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Експериментальні дослідження, щодо побудови НМ для розпізнання рослинних об'єктів, проводилося в два етапи. Перший етап – польові дослідження – проводилися на полігоні Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук в червні 2012 року. Виміри проводилися при ясній погоді і на полі, яке не було сильно засмічено. За допомогою приладу для дослідження спектрів рослин вимірювалися відносні спектральні характеристики в автоматичному режимі з періодом 1 s зі збереженням поточного коефіцієнта відбиття і зовнішнього вигляду рослини. Переміщення від однієї рослини до іншої в межах одного рядка проводилося рівномірно, об'єктів приймача переміщався уздовж рядка плавно, на однаковій відстані від поверхні землі, без ривків і зупинок. Пристрій для дослідження спектрів складався з: спектрометра Red Tide650 з волоконно-оптичним кабелем P200-2-UV-VIS і лінзою 74-VIS (фірма Ocean Optics); Web-камера Web-камера A4Tech PK-838G для фотографування зображення рослин.

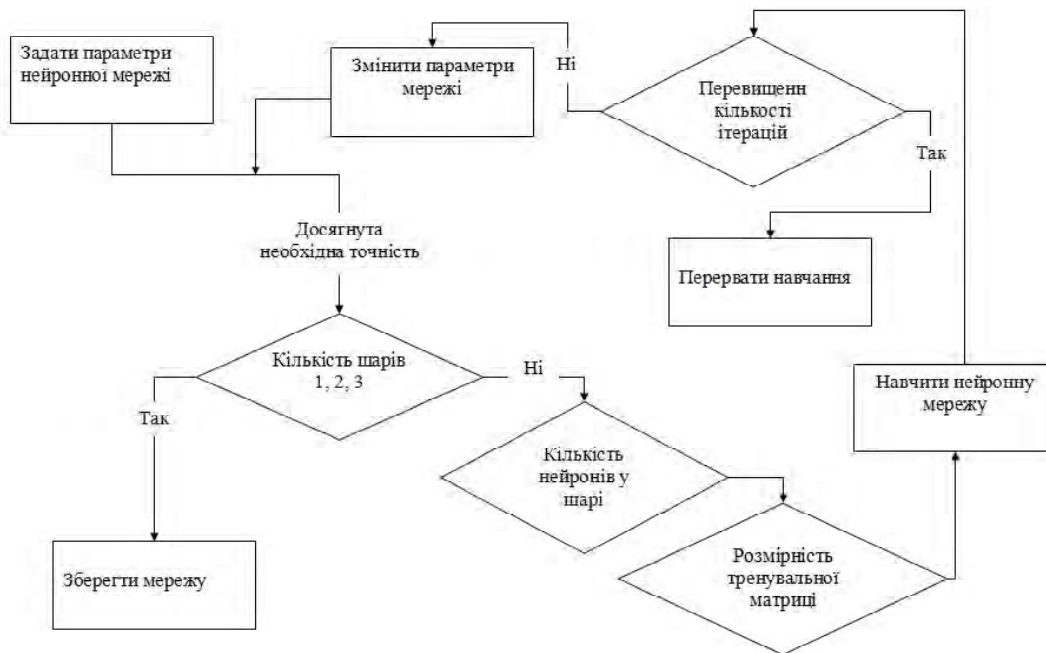


Рис. 2. Схема підбору параметрів нейронної мережі

З отриманих експериментальних даних було відібрано 1687 наборів з 2048 спектральними точками. Критерієм відбору була можливість візуального визначення виду рослин по зображеннях і формі спектральної кривої (відсутність обмежень і надмірної зашумленості). Кількість вибірок різних видів рослин, які були відібрані для подальшого дослідження, і їх назви зведені в табл. 1.

4. ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Другий етап – обробка отриманих даних і побудова НМ. Після усереднення 2048 спектральних точок, що забезпечуються спектрометром за один вимір, до 256 були отримані 3 масиви чисел: матриця коефіцієнтів відбиття для соняшнику, матриця коефіцієнтів відбиття для мишію і матриця коефіцієнтів відбиття для амброзії.

Наступним кроком було нормування – кожна з трьох матриць піддавалася нормуванню за лінійним законом

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{i,\min}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}}, \tag{6}$$

де \tilde{x}_i, x_i – нормовані та виміряні спектральні коефіцієнти яскравості на довжині хвилі λ_i , відповідно;

Таблиця 1. Видовий склад досліджуваних рослин

Вид рослини	Латинська назва	Кількість екземплярів
Соняшник	<i>Helianthus annuus</i>	656
Амброзія	<i>Ambrósia artemisiifólia</i>	550
Мишій	<i>Setaria viridis</i>	481
Усього		1687

$x_{i,\max} \cdot x_{i,\min}$ – максимальні та мінімальні виміряні спектральні коефіцієнти яскравості, відповідно.

Для побудови НМ для розпізнавання рослинних об’єктів на 3 класи за експериментальними даними був використаний блок нейромережевого аналізу NNTool програми MatLab 7.9.0.529 компанії MathWorks. При побудові НМ за допомогою програми MatLab, в якості типу НМ, була обрана нейромережа прямого поширення сигналу, що навчалася за допомогою методу Левенберга-Марквардта [3]. Перевагою методу Левенберга-Марквардта є те, що він працює швидше за інші градієнтні методи, оскільки апроксимує часткові похідні другого порядку через часткові похідні першого порядку [9].

На входи НМ подавалися нормовані коефіцієнти відбиття рослин – матриця 1687×256 . Вихідний (цільовий) вектор розмірністю 1687×1 задавався в діапазоні [0; 1], причому для амброзії – 0, мишію – 0,5, соняшнику – 1. При навчанні НМ крок навчання покладалася рівним 0,05, максимальне число циклів навчання НМ epochs=1000. В якості цільової функції при навчанні використовувався мінімум середньоквадратичної помилки навчання мережі – MSE (Mean Square Error), заданий як 0,0001. Всі нейрони мали сигмоїдну функцію активації. Було побудовано дві НМ: одна з двома внутрішніми шарами, друга – з трьома шарами.

Результат (вікно програми) побудови НМ для розпізнавання рослин на три класи показаний на рис. 3.

Після обробки апостеріорних значень цільових векторів були отримані наступні результати – табл. 2 демонструє показники розпізнавання для НМ з двома внутрішніми шарами, табл. 3 демонструє показники розпізнавання для НМ з трьома внутрішніми шарами.

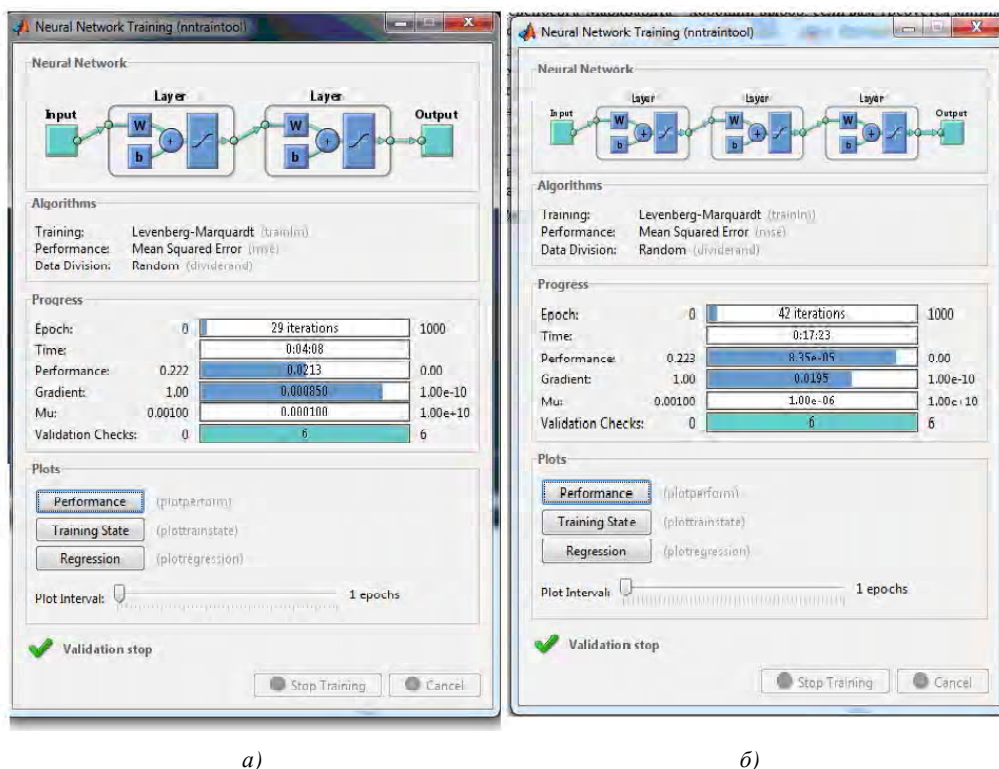


Рис. 3. Вікно програми NNTool(MatLab) для:
а – двошарової НМ; б – трьохшарової НМ

Таблиця 2. Класифікаційна матриця для двошарової НМ

		Результат класифікації для кожного класу			
		соняшник	амброзія	мишій	всього
Апріорні дані про клас	соняшник	656	0	0	656
	амброзія	32	518	0	550
	мишій	15	0	466	481
	всього	703	518	466	1687
Вірогідність правильного розпізнавання		100 %	94,18 %	96,88 %	97,21 %

Таблиця 3. Класифікаційна матриця для трьохшарової НМ

		Результат класифікації для кожного класу			
		соняшник	амброзія	мишій	всього
Апріорні дані про клас	соняшник	656	0	0	656
	амброзія	2	548	0	550
	мишій	1	0	480	481
	всього	660	548	480	1687
Вірогідність правильного розпізнавання		100 %	99,6 %	99,79 %	99,82 %

Згідно табл. 2 маємо: з 1687 рослинних об'єктів, які подавались на вхід двошарової НМ і серед яких було 656 соняшників, 550 амброзій, 481 мишій, НМ класифікувала – 703 соняшників (серед них було 656 «справжніх» соняшників, 32 амброзії і 15 мишій), 518 амброзій і 466 мишій. Тобто серед всього набору рослинних об'єктів, НМ вірно класифікувала весь набір соняшників, а у набору даних амброзії та мишій були допущені помилки.

Згідно табл. 3 маємо: з 1687 рослинних об'єктів, які подавались на вхід трьохшарової НМ і серед яких було 656 соняшників, 550 амброзій, 481 мишій, НМ класифікувала – 660 соняшників (серед них було 656 «справжніх» соняшників, 2 амброзії і 1 мишій), 548 амброзій і 480 мишій. Тобто серед всього набору рослинних об'єктів, НМ вірно класифікувала весь набір соняшників, а у набору даних амброзії та мишій були також допущені по-

милки, але в порівнянні з двошаровою НМ їх було значно менше.

Для підвищення швидкості навчання і розпізнавання класифікатора в майбутньому, бажано зменшити розмірність входів НМ (кількості ознак), яких при моделюванні використано 256. така кількість ознак 256 обумовлена тим, що з виходу спектрометра отримано 2048 спектральних точок за один замір і, після усереднення 8 сусідніх значень, отримано 256 спектральних точок, тобто ознак. З рис. 4 видно (без додаткових статистичних обробок), що є ряд частотних областей, де коефіцієнти відбиття мишію, амброзії і соняшника істотно відрізняються, і при побудові НМ можна буде використати вибіркові частоти (або частотні діапазони). На рис. 4 по вісі абсцис відкладена відносна довжина хвилі, для якої 1 відповідає 350 нм, а 256 відповідає 1000 нм. По вісі ординат відкладений нормований коефіцієнт відбиття.

Зміна похибки при навчанні трьохшарової нейронної мережі наведена на рис. 5. З рис. 5 видно, що величи-

на похибка приблизно до 32 ітерації майже не змінювалася. Далі, приблизно після 32 ітерації, величина похибки з кожною наступною ітерацією стає менше і на 42 ітерації досягає свого цільового значення. Для двошарової нейронної мережі зміна похибки при навчанні аналогічна зміні похибки як і для випадку трьохшарової нейронної мережі, тільки за меншу кількість ітерацій.

Набір вхідних даних, наведений у табл. 1, використовувався в якості навчальних. Для апробації здобутих нейронних мереж використовувався тестовий набір даних. Заміри тестових вибірок робилися на тому ж полі у 2012 році. Попередньо, в тестовому наборі були вилучені рослини, які візуально не можливо розпізнати і були залишені тільки амброзія, мишії і соняшник, які розташовувалися випадковим чином. Всього було відібрано 320 тестових вибірок. Далі, була виконана процедура нормування, згідно формули (1), і отриманий нормований набір тестових вибірок поданий на вхід нейронних мереж. Результат розпізнавання тестового набору наведений в табл. 4.

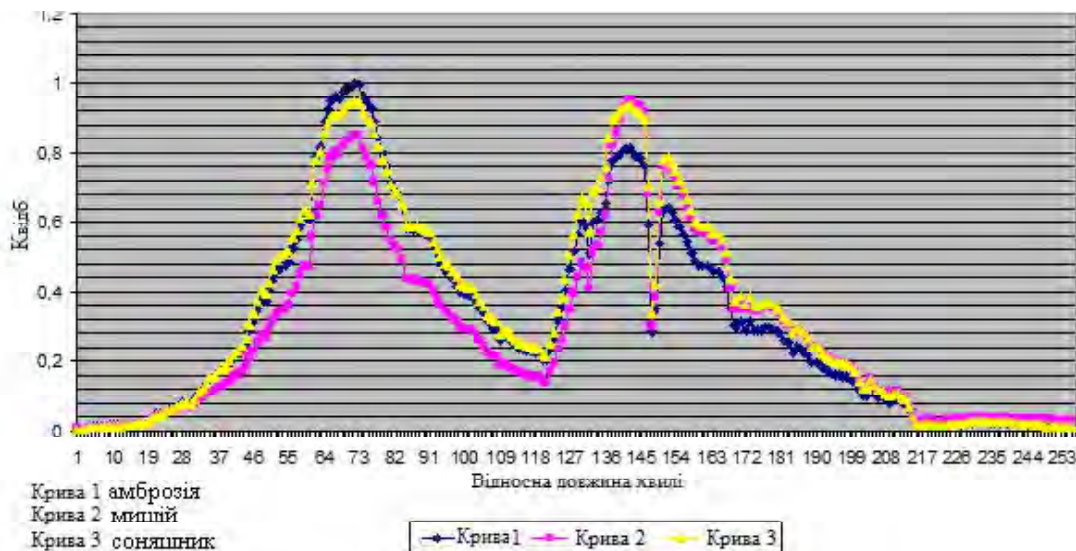


Рис. 4. Залежність нормованих коефіцієнтів відбиття від відносної довжини хвилі для амброзії, мишію та соняшнику

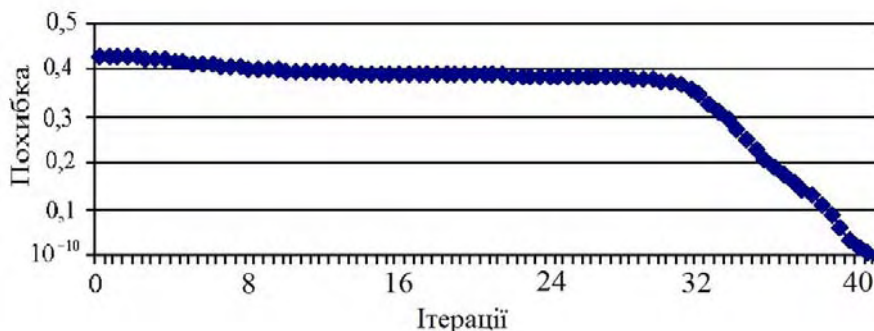


Рис. 5. Зміна похибки при навчанні трьохшарової нейронної мережі

Таблиця 4. Класифікаційна матриця для НМ при подачі на вхід тестових даних

		Результат класифікації для кожного класу							
		соняшник		амброзія		мишій		всього	
		двошарова НМ	трьохшарова НМ	двошарова НМ	трьохшарова НМ	двошарова НМ	трьохшарова НМ	двошарова НМ	трьохшарова НМ
Апріорні дані про клас	соняшник	130	133	3	0	0	0	133	133
	амброзія	12	3	100	109	0	0	112	112
	мишій	9	3	0	0	66	72	75	75
	всього	151	139	103	109	66	72	320	320
Вірогідність правильного розпізнавання		97,7%	100 %	88,5 %	97,3 %	88 %	96 %	91,4 %	97,7 %

Згідно табл. 4 маємо: з 320 тестових даних, які подавались на вхід двошарової НМ і серед яких було 133 соняшників, 112 амброзій, 75 мишій, НМ класифікувала – 151 соняшників (серед них було 130 «справжніх» соняшників, 12 амброзій і 9 мишій), 103 амброзій (серед них було 100 «справжніх» амброзій і 3 соняшника) і 66 мишій.

З 320 тестових даних, які подавались на вхід трьохшарової НМ і серед яких було 133 соняшників, 112 амброзій, 75 мишій, НМ класифікувала – 139 соняшників (серед них було 133 «справжніх» соняшників, 3 амброзій і 3 мишій), 109 амброзій і 72 мишій.

ВИСНОВКИ

Результат застосування НМ при побудові класифікатора для автоматичного розпізнавання рослинних об'єктів показав позитивний результат, про що свідчать високі ймовірності правильного розпізнавання рослинних об'єктів. Так, вірогідність правильного розпізнавання для НМ з двома внутрішніми шарами складає: для соняшнику – 97,7 %, для амброзії – 88,5 %, для мишій – 88 %; для НМ з трьома внутрішніми шарами складає: для соняшнику – 100 %, для амброзії – 97,3 %, для мишій – 96 %.

Вірогідність правильного розпізнавання рослин класифікатором, який використовує НМ з трьома внутрішніми шарами, вище ніж НМ з двома шарами, але час навчання при цьому більший (для НМ з двома внутрішніми шарами – 4 секунди, для НМ з трьома внутрішніми шарами – 17 секунд), при цьому також необхідно застосувати більшу обчислювальну потужність. Якщо врахувати, що оптичні параметри рослин в процесі росту на закріпленій території роботи класифікатора змінюються не значно, то період перенавчання класифікатора є нечастим, а тому час навчання не є критичним під час роботи класифікатора в польових умовах. Час, затрачений на навчання НМ, може бути зменшений за рахунок використання спеціалізованих обчислювачів (контролерів) або за рахунок удосконалення структури НМ.

Висока вірогідність розпізнавання за допомогою НМ пояснюється: по-перше – використанням нейромережових методів при побудові систем розпізнавань, які дають добрі результати; по-друге тим, що виміри проводилися при ясній погоді і на полі, яке не було сильно засмічено. Високу ймовірність вірного розпізнавання соняшника для

двошарової і трьохшарової нейронної мережі можна пояснити тим, що, крім вищезазначених причин, на ймовірність вірного розпізнавання рослин впливає геометрія листків рослин (у соняшника листя велике), внутрішня будова листків (особливо в ближньому інфрачервоному діапазоні), загальний вміст води в рослині (в середньому інфрачервоному діапазоні), відносно наявності пігментів (хлорофілу, каротинів, ксантофілів і ін.).

Підсумовуючи отримані результати, можна сказати, що побудова адаптивного класифікатора з прийнятними характеристиками для розпізнавання рослинних об'єктів на основі НМ можлива.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Patent US6795568 США, МПК А01М21/04; А01М21/00. Method and an apparatus for severing or damaging unwanted plants [Електронний ресурс] / Christensen, Svend, Schou, Joergen Heisel, Torben. – Заявл. 14.03.2001; Опубл. 21.09.2004. – Режим доступу: <http://www.freepatentsonline.com/6795568.html>
2. Rochev, M. Heat consumption distributed information-control system. Proc // International Seminar «Education for all», SUAI, Sainkt-Petersburg, Russia, 2005. – P. 65–69.
3. Саймон, Хайкин. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. : пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
4. Дубровин, В. И. Распознавание растений по результатам дистанционного зондирования на основе многослойных нейронных сетей / В. И. Дубровин, С. В. Морщавка, Д. М. Пиза, С. А. Субботин // Математичні машини і системи. – 2000. – № 2–3. – С. 113–119.
5. Морщавка, С. В. Нейросетевая классификация растений по результатам дистанционного зондирования / С. В. Морщавка, С. А. Субботин, В. И. Дубровин, Д. М. Пиза // Радіоелектроніка і молодь в ХХІ сторіччі : 5-й Міжнародний молодіжний форум, Харків, 24–26 квітня 2001 р. : зб. наук. праць в 2-х частинах. – Харків : ХТУРЕ, 2001. – Ч. 2. – С. 324–325.
6. Dubrovina, V. The plant recognition on remote sensing results by the feed-forward neural networks / V. Dubrovina, S. Subbotin, S. Morshchavka, D. Piza // Smart Engineering System Design. – 2001. – № 3. – P. 251–256.
7. Коцур, Г. А. Оценка эффективности распознавания воздушных целей с использованием оптико-электронных систем / Г. А. Коцур, А. Ф. Уласень // Наукоемкие технологии. – 2011. – Т. 12, № 5. – С. 45–49.

8. Тоан Тханг, Нгуен. Алгоритмическое и программное обеспечение для распознавание фигур с помощью Фурье-дескрипторов и нейронной сети / Тоан Тханг Нгуен // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – № 5 – С. 122–125.
9. Dubrovin, V. I. The plant recognition on remote sensing results by the feed-forward neural networks / V. I. Dubrovin, S. A. Subbotin, S. V. Morshchavka, D. M. Piza // *Intelligent engineering systems through artificial neural networks*. – New York : ASME Press, 2000. – Vol. 10 : Smart engineering systems design: neural networks, fuzzy logic, evolutionary programming, data mining, and complex systems : Artificial neural networks in engineering conference ANNIE–2000, St. Louis, 5–8 November 2000 / eds. : C. H. Dagli [et al.]. – P. 697–702.

Стаття надійшла до редакції 09.01.2013.

Після доробки 25.01.2013.

Шама Е. А.¹, Субботин С. А.², Морщавка С. В.³¹Аспирант, Запорожский национальный технический университет, Украина^{2,3}Канд. техн. наук, доцент, Запорожский национальный технический университет, Украина**ПОСТРОЕНИЕ КЛАССИФИКАТОРА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Рассмотрена возможность построения классификатора растительных объектов с помощью двухслойной и трехслойной нейронной сети.

Ключевые слова: распознавание, нейронная сеть, перцептрон, спектральные коэффициенты яркости.

Shama E. O.¹, Subbotin S. A.², Morshchavka S. V.³¹Post-graduate student, Zaporizhian National Technical University, Ukraine^{2,3}Doctor of philosophy (Cand. Tech. Sc.), associate professor (docent), Zaporizhian National Technical University, Ukraine**A CONSTRUCTION OF CLASSIFIER OF VEGETATIVE OBJECTS BY MEANS OF NEURAL NETWORKS**

Possibility for construction of a vegetative objects' classifier is considered by means of a double-layer and three-layer neural network. The neural networks are built for classification of plants on three classes. Probabilities of discrimination are compared for a double-layer and three-layer neural network. The construction of neural networks was made on the basis of experimental data obtained in the field with the help of a spectrometer. When constructing the neural network in the MatLab program, as a type of the neural networks, the neural network of direct distribution of signals was selected, it is being studied by the Levenberg-Marquardt method. Decrease of features' amount has been proposed to raise an operation speed of the vegetative object classifier.

Key words: recognition, neural network, perceptron, the spectral brightness coefficients.

REFERENCES

1. Patent US6795568 США, МПК А01М21/04; А01М21/00. Method and an apparatus for severing or damaging unwanted plants [Elektronnyi resurs] / Christensen, Svend, Schou, Joergen Heisel, Torben, Zayavl. 14.03.2001; Opubl. 21.09.2004, Pezhim dostupu: <http://www.freepatentsonline.com/6795568.html>
2. Rochev M. Heat consumption distributed information-control system. *Proc International Seminar «Education for all»*, SUAI, Sainkt-Petersburg, Russia, 2005, pp. 65–69.
3. Saimon Haikin. Neironnye seti: polnyi kurs, 2-e izdanie.: Per. s angl. Moscow, Izdatelskiy dom «Vilyams», 2006, 1104 p.
4. Dubrovin V. I., Morshchavka S. V., Piza D. M., Subbotin S. A. Raspoznavanie rastenii po rezultatah distantsionnogo zondirovaniya na osnovn mnohgosloinyh neironnyh setei, *Matematychni mashyny i systemy*, 2000, № 2–3, pp. 113–119.
5. Morshchavka S. V., Subbotin S. A., Dubrovin V. I., Piza D. M. Neurosetevaya klassifikatsiya rasteniy po rezultatah distantsionnogo zondirovaniya, *Radioelektronika i molod v XXI storichchi : 5-i Mizhnarodnyi molodizhnyi forum*, Kharkiv, 24–26 kvinyia 2001 r. : zb. nauk. prats v 2-kh chastynakh, Kharkiv : XTURE, 2001, Ch. 2, pp. 324–325.
6. Dubrovin V., Subbotin S., Morshchavka S., Piza D. The plant recognition on remote sensing results by the feed-forward neural networks. *Smart Engineering System Design*, 2001, № 3, pp. 251–256.
7. Kotsur G. A., Ulasen A. F. Otsenka effektivnosti raspoznavaniya vozdushnykh tselei s ispolzovaniem optiko-elektronnykh, *Naukoemkie tekhnologhii*, 2011, T. 12, № 5, pp. 45–49.
8. Toan Thanh Nguen. Alhgoemricheskie I programnoe obespechenie dlya raspoznavanie fihgur s pomoshchyu Furye-diskriptorov i neyronnoi, *Izvestiya Tomskohgo politekhnicheskohgo universiteta*, 2010, №5, pp. 122–125.
9. Dubrovin V. I., Subbotin S. A., Morshchavka S. V., Piza D. M. The plant recognition on remote sensing results by the feed-forward neural networks, *Intelligent engineering systems through artificial neural networks*, New York : ASME Press, 2000. – Vol. 10 : Smart engineering systems design: neural networks, fuzzy logic, evolutionary programming, data mining, and complex systems : Artificial neural networks in engineering conference ANNIE–2000, St. Louis, 5–8 November 2000 / eds.: C. H. Dagli [et al.], pp. 697–702.

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING

УДК 004.056.55

Калинин Д. А.¹, Козина Г. Л.²

¹Студент, Запорожский национальный технический университет, Украина
²Канд. физ.-мат. наук, доцент, Запорожский национальный технический университет, Украина,
 E-mail: ainc@ukrpost.net

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ШИФРОВ «КАЛИНА» И AES

В данной статье приводится сравнение быстродействия симметричных блочных шифров «Калина» и AES. Показано, что «Калина» уступает в скорости AES более чем в 1,7 раз, а также в более чем 2,7 раз при использовании заранее подготовленной таблицы подстановок для алгоритма AES.

Ключевые слова: алгоритм шифрования, быстродействие, стандарт шифрования, симметричный блочный шифр.

ВВЕДЕНИЕ

«Калина» – симметричный блочный шифр, разработанный ЗАО «Институт информационных технологий» г. Харькова [1–2]. Алгоритм имеет размер блока 128, 256 и 512 битов и поддерживает такие же длины ключей. При построении шифра основное внимание разработчиками было уделено обеспечению высокого уровня криптографической стойкости, а также достижению высоких показателей производительности в аппаратной и программной реализациях. Был учтен интеллектуальный вклад в практику проектирования и криптоанализа блочных шифров ведущих криптографов, получивший значительное развитие в ходе проведения международных проектов NESSIE и AES. Широко применялись результаты научных работ по методам криптоанализа и проектированию симметричных шифров последних лет, опубликованных отечественными авторами, а также собственные исследования и разработки ЗАО «ИИТ» в этом направлении.

1. СТРУКТУРА АЛГОРИТМА «КАЛИНА»

Алгоритм шифрования «Калина» является итеративной процедурой, состоящей из предварительной и финальной рандомизации и двух различных итеративных последовательных шифрующих преобразований. Структура алгоритма аналогична структуре AES, обеспечива-

ет хорошее рассеивание и перемешивание. На вход каждого шифрующего преобразования подаётся текущее состояние и необходимое количество ключевых данных (подключ). Открытый текст копируется в текущее состояние перед началом зашифрования, а по его завершению в текущем состоянии находится шифртекст. Количество циклов шифрования зависит от длины ключа (мастер-ключа), при этом длина ключа не может быть меньше размера шифруемого блока.

2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ШИФРУЮЩИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

При шифровании, в алгоритмах «Калина» и AES используется ряд процедур, выполняющих преобразование текущего состояния шифра.

В ходе преобразования XORRoundKey производится побитовое сложение по модулю 2 циклового подключа и текущего состояния. Скорость выполнения данного преобразования для «Калина-128» соответствует скорости аналогичного преобразования AddRoundKey для AES-128.

При выполнении преобразования Add32RoundKey производится сложение 32-битных слов циклового подключа и текущего состояния по модулю 2^{32} . Введение данного преобразования увеличивает нелинейность шифра, вводит дополнительные зависимости между ре-

зультуруючими значеннями, значительно увеличивает стойкость к алгебраическим атакам, дифференциальному, линейному и другим методам криптоанализа. Но, по сравнению с AES, также приводит к дополнительным временным затратам [3].

Преобразование Kalina_S_boxes заключается в том, что для каждого байта текущего состояния выполняется замена в соответствии с заданной таблицей подстановки. В преобразовании используется 8 различных подстановок «байт-в-байт», причем для байтов одной строки текущего состояния шифра используется одна и та же подстановка. Использование 8 подстановок вместо одной улучшает статистические свойства, повышает уровень стойкости к дифференциальному и линейному криптоанализу. Скорость выполнения данного преобразования соответствует скорости аналогичного преобразования SubBytes для AES-128 при использовании заранее сгенерированных таблиц подстановки.

В ходе преобразования ShiftRows производится равномерное распределение байтов каждой 64-битной колонки среди остальных колонок. Это достигается путем циклического сдвига строк состояния вправо на различное количество байтов в зависимости от размера блока. Скорость выполнения данного преобразования соответствует скорости аналогичного преобразования ShiftRows для AES-128.

В ходе преобразования MixColumns выполняется последовательная обработка всех колонок текущего состояния. Каждая 8-байтная колонка рассматривается как полином над полем $GF(2^8)$ с 8 термами, а в ходе преобразования выполняется умножение этого полинома по модулю $x^8 + 1$ на фиксированный полином $c(x)$, где

$$c(x) = \{01\}x^7 + \{05\}x^6 + \{01\}x^5 + \{08\}x^4 + \{06\}x^3 + \{07\}x^2 + \{04\}x + \{01\}. \quad (1)$$

В алгоритме AES в качестве полинома над полем $GF(2^8)$ рассматривается 4-байтная колонка текущего состояния и выполняется его умножение по модулю $x^4 + 1$ на фиксированный полином $a(x)$:

$$a(x) = \{03\}x^3 + \{01\}x^2 + \{01\}x + \{02\}. \quad (2)$$

Эти операции эквивалентны матричному умножению над $GF(2^8)$ исходного 8-байтного вектора для «Калины» и 4-байтного вектора для AES на фиксированные

матрицы. Поскольку используется вдвое большая размерность исходного вектора и фиксированной матрицы, данное преобразование в алгоритме «Калина» выполняется значительно медленнее аналогичного преобразования MixColumns для AES-128.

При расшифровании используются обратные версии перечисленных преобразований, процедура XORRoundKey/AddRoundKey является обратной к самой себе.

Кроме процедур шифрования и расшифрования, в алгоритмах используется схемы разворачивания ключей [4] для получения цикловых подключей из исходного мастер-ключа. В связи с наличием существенных недостатков схемы выработки подключей AES при разработке шифра «Калина» было принято решение использовать принципиально новую схему разворачивания ключей. Время выполнения данного преобразования значительно больше времени выполнения аналогичного преобразования для AES-128, но поскольку выработка подключей происходит единожды, им можно пренебречь.

Для оценки быстродействия авторами статьи были реализованы оба алгоритма в единой идеологии средствами пакета MAPLE 14. Результаты измерения скорости выполнения всех используемых алгоритмами процедур при выполнении 1000 циклов шифрования отображены в табл. 1.

3. СРАВНЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ШИФРОВ «КАЛИНА» И AES

Алгоритмы AES и «Калина» используют алгебраические операции в конечных полях, наиболее трудоемкой из которых является умножение в $GF(2^8)$. Увеличение числа операций умножения в поле в алгоритме «Калина» является основной причиной отставания в скорости по сравнению с алгоритмом AES. Оценка числа элементарных операций была проведена в [5]. Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Результаты практических испытаний, проведенные авторами, представлены в табл. 3.

На основании вычислений, представленных в табл. 1–3 можно заключить, что шифр «Калина» уступает в скорости AES более чем в 1,7 раз, а также в более чем 2,7 раз, при использовании заранее подготовленной таблицы подстановок для алгоритма AES. Например, время шифрования файла размером 10000 байт для алгоритма «Калина» составило 106,563 секунды, а для алгоритма AES – 59,594 секунды, при использовании сгенериро-

Таблица 1. Быстродействие используемых алгоритмами преобразований

Преобразования	Калина-128	AES-128
XORRoundKey/AddRoundKey	0,047 с	0,047 с
Add32RoundKey	0,125 с	–
Kalina_S_boxes/SubBytes	0,532 с	4,094 с / 0,593 с
ShiftRows/ShiftRows	0,063 с	0,078 с
MixColumns/MixColumns	16,109 с	5,594 с
Kalina_KeyExpansion/KeyExpansion	102,688 с	12,265 с

Таблиця 2. Вычислительные затраты шифров

Число раундов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Калина	125	181	237	293	349	405	461	517	573	629
AES	48	84	120	156	192	228	264	300	336	393

Таблиця 3. Показатели быстродействия реализаций, сравниваемых алгоритмов в пакете MAPLE 14, при размере ключа и блока 128 бит

Размер файла	Калина, 10 раундов	AES, 10 раундов	Показатели быстродействия
10 байт	0,297 с	0,093 с / 0,062 с	3,193 раз / 4,790 раз
100 байт	1,266 с	0,640 с / 0,500 с	1,978 раз / 2,532 раз
1000 байт	10,828 с	6,000 с / 3,860 с	1,804 раз / 2,805 раз
10000 байт	106,563 с	59,594 с / 38,484 с	1,788 раз / 2,769 раз
50000 байт	540,546 с	302,000 с / 194,047 с	1,789 раз / 2,786 раз
100000 байт	1099,844 с	612,235 с / 396,343 с	1,796 раз / 2,775 раз

ванної таблиці підстановок – 38,484 секунди. При цьому співвідношення швидкостей обох шифрів склали 1,788 раз і 2,769 раз, відповідно.

ВИВОДИ

В даній статті були розглянуті процедури, що використовуються при шифруванні алгоритмами AES і «Калина», була проведена оцінка їх швидкості. Оскільки в основі алгоритму «Калина» закладені ідеї, використані в шифрі AES, то можна провести порівняння їх швидкості на рівні використовуваних алгоритмами шифруючих перетворень. При цьому можна оцінити, обґрунтована чи модифікація структури шифра AES. Використання різних модулів перетворень для введення ключової інформації, нової схеми виробки підключей дозволяє усунювати ряд потенціальних слабкостей, виявлених в процесі досліджень AES. Алгоритм «Калина» може бути використаний для забезпечення більш високого рівня стійкості [6–8] відносно збільшення часових витрат на шифрування.

По результатам, отриманим в даній статті, можна зробити висновок, що шифр «Калина» суттєво поступає шифру AES в швидкості. Однак, він може бути успішно використаний при шифруванні інформації тривалого зберігання, а також в ситуаціях, коли швидкість шифрування не є критичною.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбенко, І. Д. Перспективний блоковий симетричний шифр «Калина»: основні положення та специфікації /

Калінін Д. О.¹, Козіна Г. Л.²

¹Студент, Запорізький національний технічний університет, Україна

²Канд. фіз.-мат. наук, доцент, Запорізький національний технічний університет, Україна

ШВИДКОДІЯ ШИФРІВ «КАЛИНА» Й AES

У даній статті наведено порівняння швидкодії симетричних блокових шифрів «Калина» й AES. Показано, що «Калина» поступає у швидкості AES більш ніж в 1,7 разів, а також у більш ніж 2,7 разів при використанні заздалегідь підготовленої таблиці підстановок для алгоритму AES.

Ключові слова: алгоритм шифрування, швидкодія, стандарт шифрування, симетричний блоковий шифр.

І. Д. Горбенко, В. І. Долгов, Р. В. Олейников [та ін.] // Прикладна радіоелектроніка. – 2007. – Т. 6, № 2. – С. 195–208.

2. Долгов, В. И. Подстановочные конструкции современных симметричных блочных шифров / В. И. Долгов, Р. В. Олейников, И. В. Лисицкая [та ін.] // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 6 (40). – С. 89–93.
3. Кузнецов, О. О. Захист інформації в інформаційних системах: монографія / О. О. Кузнецов, С. П. Євсєєв, О. Г. Король. – Х.: Вид-во ХНЕУ, 2010. – 511 с.
4. Казимиров, А. В. Алгебраические свойства схемы разворачивания ключей блочного симметричного шифра «Калина» / А. В. Казимиров, Р. В. Олейников // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 5 (46). – С. 61–66.
5. Сорока, Л. С. Исследование дифференциальных свойств блочно-симметричных шифров / Л. С. Сорока [и др.] // Системи обробки інформації. – Вип. 6 (87). – 2010. – С. 286–294.
6. Алексейчук, А. Н. Верхние оценки несбалансированности билинейных аппроксимаций раундовых функций блочных шифров ГОСТ 28147-89 и «Калина» / А. Н. Алексейчук, А. С. Шевцов // Сучасний захист інформації. – 2010. – № 2. – С. 23–30.
7. Долгов, В. И. Дифференциальные свойства блочных симметричных шифров / В. И. Долгов, А. А. Кузнецов, С. А. Исаев // Электронное моделирование. – 2011. – Т. 33, № 6. – С. 81–99.
8. Лисицкая, И. В. О новой методике оценки стойкости блочных симметричных шифров к атакам дифференциального и линейного криптоанализа / И. В. Лисицкая // Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 4 (94). – С. 167–173.

Стаття надійшла до редакції 16.08.2012.

Kalinin D. A.¹, Kozina G. L.²¹Student, Zaporizhzhya National Technical University, Ukraine²Candidate of Phys.-Math. sciences, associate professor, Zaporizhzhya National Technical University, Ukraine**SPEED OF CODES «KALINA» AND AES**

Speed of symmetric block codes «Kalina» and AES comparison is given in this article. As the basis for the algorithm of «Kalina» laid ideas used in cipher AES, it is possible to compare their performance at the level of encryption transformations of the algorithms. From the structure of AES and of the «Kalina» ciphers one can conclude that most of «Kalina» transformations are less efficient but have more useful properties than similar AES transformations. The comparison of the ciphers encryption transformations has discovered the most time-consuming ones. It is shown that «Kalina» concedes in speed of AES more than in 1,7 times, and also in more than 2,7 times, when using in advance prepared table of substitutions for AES-algorithm.

Keywords: enciphering, speed, enciphering standard, symmetric block code.

REFERENCES

1. Horbenko I. D., Dolhov V. I., Oleinikov R. V., Ruzhentsev V. I., Mykhailenko M. S., Horbenko Yu. I., Totkii O. S., Kazmina S. V. Perspektivnyi blokovi symetrychnyi shyfr «Kalyna»: osnovni polozhennia ta spetsyfikatsii. *Prykladna radioelektronika*, 2007, vol.6, No. 2, pp. 195–208.
2. Dolgov V. I., Olejnikov R. V., Lisiczka I. V., Sergienko R. V., Drovot'ko E. V., Mel' nichuk E. D. Podstanovochny'e konstrukcii sovremenny'x simmetrichny'x blochny'x shifrov. *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, 2009, No. 6 (40), pp. 89–93.
3. Kuznetsov O. O., Yevseiev S. P., Korol O. H. Zakhyst informatsii v informatsiinykh systemakh : monohrafiia, Kharkov, KhNEU, 2010, 511 p.
4. Kazimirov A. V., Olejnikov R. V. Algebraicheskie svojstva cxemy' razvorachivaniya klyuchej blochnogo simmetrichnogo shifra «Kalina», *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, 2010, No. 5 (46), pp. 61–66.
5. Soroka L. S., Kuznetsov A. A., Moskovchenko I. V., Isaev S. A. Issledovanie differentsial'ny'x svojstv blochno-simmetrichny'x shifrov, *Systemy obrobky informatsii*, Vyp. 6 (87), 2010, pp. 286–294.
6. Aleksejchuk A. N., Shevczov A. S. Verxnie ocenki nesbalansirovannosti bilinejny'x approksimacij raundovy'x funkcij blochny'x shifrov GOST 28147-89 i «Kalina», *Suchasnyi zakhyst informatsii*, 2010, No. 2, pp. 23–30.
7. Dolgov V. I., Kuzntczov A. A., Isaev S. A. Differencial'nye svojstva blochny'x simmetrichny'x, *E'lektronnoe modelirovanie*, 2011, vol. 33, No. 6, pp. 81–99.
8. Lisiczka I. V. O novej metodike ocenki stojkosti blochny'x simmetrichny'x shifrov k atakam differencial'nogo i linejnogo kriptanaliza, *Systemy obrobky informatsii*, 2011, Vyp. 4 (94), pp. 167–173.

Керносів М. А.¹, Михнова А. В.², Имшенецкий Д. А.³¹Канд. техн. наук, ведущий инженер, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, E-mail: iust@list.ru²Канд. техн. наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина³Ст. оператор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

ГИБКАЯ МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО ПЛАНА В ПОДСИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ИАС ВУЗА

В статье рассматривается актуальная проблема эффективной организации учебного процесса ВУЗа, в частности – математическая модель, используемая при автоматизация формирования учебного плана, как вида нормативного документа высшего учебного заведения.

В работе предложена модифицированная модель учебного плана, обеспечивающая его формирование с учетом особенностей бизнес-процессов объекта автоматизации. Полученная гибкая множественная модель обеспечивает математическую основу эффективного процесса разработки учебного плана, формирования его структуры и адаптации к текущим требованиям стандартов образования.

Ключевые слова: ВУЗ, планирование, учебный процесс, учебный план, множественная модель, база данных.

ВВЕДЕНИЕ

Основными проблемами создания и внедрения информационной системы (ИС) в современных ВУЗах Украины являются наличие регулярных изменений в стандартах образования и ограниченное финансирование ВУЗами специализированных IT-подразделений, функциями которых является информатизация и дальнейшая автоматизация «процессов жизнедеятельности» высшего учебного заведения. Разработка такой системы силами соответствующих отделов является задачей труднореализуемой, в силу наличия ограничений по выделяемым ресурсам (кадры, финансовые и временные затраты) и сложности реинжиниринга существующих бизнес-процессов. Также периодическое изменение бизнес-процессов в ВУЗе, как результат внедрения новых стандартов «высшей школы», делает невозможным их строгую формализацию на достаточно долгий промежуток времени и, как следствие, усложняет их дальнейшую автоматизацию. Таким образом, для решения существующих проблем автоматизации ВУЗов необходимо создание гибкой информационной системы, которая могла бы адаптироваться под определенную организационную и функциональную структуру конкретного высшего учебного заведения [1].

Одной из базовых задач автоматизации управления ВУЗом является задача формирования учебного плана, которая предоставляет исходные данные для работы деканатов, а также задачи распределения нагрузки, формирования расписания и т. д.

Учебный план (УП) – это документ, который регламентируется стандартами высшего образования. УП

разрабатывается для каждого направления и специальности на основе образовательно-профессиональной программы и структурно-логической схемы подготовки бакалавров, специалистов и магистров, базируясь на установленном графике учебного процесса в ВУЗе, а также указывает порядок изучения учебных дисциплин и форм итоговой аттестации.

Учебный план может быть представлен различными способами (в виде множества дисциплин или совокупности модулей, в виде графа или матрицы и т.п.) [2]. Существующие гибкие ИС, которые предназначены для решения задач автоматизации работы ВУЗа, реализуют данные модели в том или ином виде. Наиболее популярными и коммерчески успешными являются системы «Галактика Управление ВУЗом» (российская компания «Галактика») и «GS-ведомости» (российская компания «ГуруСофт») [3]. Реализованные в данных системах подходы к формированию учебного плана имеют ряд особенностей, среди которых можно выделить следующие:

- отсутствие многопользовательского режима совместного формирования учебных планов сотрудниками нескольких подразделений ВУЗа;

- график учебного процесса формируется на основании ранее утвержденного плана, тем самым не учитывается влияние различных внешних факторов, возникающие в период времени, охватываемый УП;

- отсутствие гибких средств конфигурации системы под действующие в Украине европейские стандарты образования и, как следствие, сложность адаптации УП к изменениям их структуры (планируемых видов занятий, размеров кредитов ECTS и т. п.).

1. АКТУАЛЬНОСТЬ МОДИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ УЧЕБНОГО ПЛАНА

В качестве способа решения существующих проблем и устранения недостатков предшествующих моделей предлагается новая концепция формирования учебного плана, которая основывается на использовании гибкой множественной модели и представлении плана в виде совокупности подмножеств дисциплин для всех существующих направлений, специальностей и уровней подготовки студента.

В терминах информационного обеспечения целевой ИС, учебный план – это совокупность (множество) дисциплин, каждая из которых характеризуется количеством часов по различным видам занятий, включая выраженные в часах аудиторную и самостоятельную работу, а также формы контроля по итогам изучения дисциплин.

Использование гибкой множественной модели в формировании учебного плана позволит получить ряд преимуществ, среди которых:

- поэтапное создание учебного плана работниками подразделений с учетом прав доступа и должностных обязанностей;
- возможность повторного использования ранее внесенных данных для решения требуемых задач разных категорий пользователей и, как следствие существенное сокращение объема хранимых данных;
- возможность формализации задачи создания и сопровождения учебных планов с помощью математического аппарата теории множеств, теории отношений и реляционной алгебры.

Исходя из вышесказанного, создание гибких средств формирования учебных планов, как составляющей автоматизации ряда бизнес-процессов ВУЗа, является на сегодня актуальной задачей как в теоретическом, так и в практическом плане.

2. ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Существующие математические модели формирования учебного плана предполагают представление УП в виде совокупности взаимосвязанных в той или иной степени дисциплин, упорядоченных определенным образом. Такие модели могут быть формализованы в виде ориентированных графов, таблиц или иметь матричное представление [2]. Существующие модели предоставляют математический аппарат для последующей реализации процесса оптимизации формирования учебного плана (например, минимизации временных разрывов между изучением взаимосвязанных дисциплин) и принятия управленческих решений. Однако существующие модели формирования учебного плана являются идеальными (абстрактными) и не учитывают особенности бизнес-процессов реальных объектов автоматизации, для которых характерно наличие внешних возмущений и воздействий. Полученный оптимальный УП является неприемлемым или становится труднореализуемым на некотором этапе его выполнения в силу влияния различного рода внешних

факторов. Например, в случае возникновения проблем с перемещением дисциплин между семестрами, вызванной корректировками Министерством образования и науки, молодежи и спорта Украины действующих стандартов направлений или специальностей.

Для решения существующих проблем была разработана концепция формирования УП с использованием гибкой множественной модели учебного плана с учетом взаимосвязи между дисциплинами. В основе концепции данной модели лежат следующие утверждения:

1. Учебный план – это множество взаимосвязанных дисциплин (P), распределенных по учебным семестрам и характеризующихся набором часов по видам занятий и принадлежностью к циклам, изучение которых необходимо для присвоения студенту определенного уровня квалификации.

2. Множество дисциплин плана, в свою очередь, включает 3 непересекающихся множества:

- множество дисциплин общих для всех направлений и специальностей ВУЗа (подмножество A);
- множество дисциплин общих для направления (подмножество B);
- множество дисциплин для профессионального направления и/или специальности (подмножество C):

$$P = A \cup B \cup C. \quad (1)$$

3. За формирование части учебного плана, которая соответствует подмножеству A , отвечает учебный отдел (УО) ВУЗа, для части плана, которая соответствует подмножеству B , таковым подразделением является деканат, а для части плана, которому соответствует подмножество C , – кафедра.

Введем понятие базового учебного плана (БУП). БУП – это набор дисциплин, которые являются в рамках заданного уровня квалификации общими для:

- 1) всех направлений и специальностей в ВУЗе;
- 2) для конкретного направления;
- 3) для профессионального направления и/или специальности выпускающей кафедры.

Поскольку УО определяет содержание базового плана общего для всех направлений и специальностей образовательно-квалификационных уровней (ОКУ) подготовки («бакалавр», «специалист» и «магистр»), то величина мощности множества $|P(A)|$ должна стремиться к величине 1. В то же время УО может формировать различные базовые УП для одного или нескольких факультетов ВУЗа или ОКУ подготовки студентов. Поэтому примем количество планов, сформированных УО, равным K .

$$|P(A)| \rightarrow K, \quad (2)$$

где $P(A)$ – это множество базовых планов, содержащее только дисциплины множества A .

Деканат (реже выпускающая кафедра) определяет содержание базового плана для одного или нескольких направлений ВУЗа. Величина мощности множества $|P(B)|$ для заданного ОКУ в таком случае должна стремиться к

количеству направлений в ВУЗе – M_i , по которым ведется подготовка студентов:

$$|P(B)| \rightarrow \sum_i^r M_i, \quad (3)$$

где $P(B)$ – это множество базовых планов, содержащее только дисциплины множества B ; r – количество ОКУ, представленных в ВУЗе.

При этом для каждого ОКУ рациональное количество базовых УП, содержащих дисциплины УО, не должно превышать количество направлений ВУЗа ($K \leq M * r$). Как правило, максимальное значение K для каждого ОКУ равно количеству факультетов ВУЗа.

Выпускающие кафедры определяют содержание базового плана по профессиональным направлениям и/или специальностям. Величина мощности множества $|P(C)|$ должна стремиться к количеству профессиональных направлений (ОКУ «бакалавр» – N_{BLV}) и специальностей (для ОКУ «специалист» – N_{SP} и «магистр» – N_{MG}) по всем кафедрам ВУЗа – N :

$$|P(C)| \rightarrow N = \sum_{j=1}^l (N_{BLV} + N_{SP} + N_{MG}), \quad (4)$$

где $P(C)$ – это базовый план, содержащий только дисциплины множества C ; l – количество выпускающих кафедр ВУЗа.

Таким образом, общее количество базовых планов в ВУЗе для определенного года приема должно стремиться к величине $|P(P)|$ равной:

$$|P(P)| \rightarrow K + M + N, \quad (5)$$

где $P(P)$ – это множество всех БУП ВУза для заданного года приема студентов.

Следовательно, каждый УП будет представлять собой объединение 3-х базовых УП:

$$P(P_i) = P(A)_k \cup P(B)_m \cup P(C)_n = A_k \cup B_m \cup C_n, \quad (6)$$

где $P(P_i)$ – конечный итоговый УП; $P(A)_k$ – базовый УП, сформированный УО, где $k \in [1, K]$; $P(B)_m$ – базовый УП, сформированный деканатом, где $m \in [1, M]$; $P(C)_n$ – базовый УП, сформированный кафедрой, где $n \in [1, N]$.

4. Дисциплина представляет собой уникальный именованный объект.

Структурно все дисциплины одного плана можно представить в виде кортежей, каждый из которых содержит название и заданные множества, описывающие виды занятий, объем работ и т. п.

Дисциплина (d) представляется структурой вида:

$$d = \langle n, S \rangle, \quad (7)$$

где n – имя дисциплины; $S = \{S_1..S_x\}$ – множество семестров изучения дисциплин, которые могут быть пред-

ставлены в виде выражения (8):

$$S_i = \langle s, TZ, fk \rangle, \quad (8)$$

где s – номер семестра изучения дисциплины; fk – форма контроля для преподавателей в конкретном семестре; $TZ = \{TZ_1..TZ_y\}$ – множество планируемых в семестре типов занятий, которые могут быть представлены в виде выражения (9):

$$TZ_j = \langle tz, h \rangle, \quad (9)$$

где tz – тип занятия (лекция, практическое занятие, лабораторная работа, консультация и т. п.); h – нагрузка по каждому типу занятий, выраженная в часах.

Для описания УП как сети дисциплин будет принята модель семантической сети, показанная в выражении (10) [4]:

$$M = \langle I, \{C_1, C_2, \dots, C_n\}, G \rangle, \quad (10)$$

где $I = \{i_1..i_z\}$ – множество информационных единиц семантической сети, т. е. множество дисциплин (d); $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ – множество типов связей между дисциплинами; G – отображение, которое задает связи (из заданного множества $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, к которым относятся связи-ассоциации, отражающие зависимость дисциплин) между информационными единицами, входящими во множество I : $G_i = \langle d_{i1}, d_{i2}, C_i \rangle$.

Таким образом, модифицированная модель УП может быть представлена в виде выражения (11):

$$P = \langle A, B, C, \{C_1, C_2, \dots, C_n\}, G \rangle. \quad (11)$$

Модель (11) удовлетворяет всем условиям концепции гибкого формирования УП и может быть применена в качестве унифицированной модели бизнес-процесса создания учебного плана. Единоразовое централизованное внесение и модификация данных в определенной части УП обеспечит возможность автоматического формирования полного УП путем объединения связанных с ним подмножеств A, B, C . Включенные в модель УП связи между дисциплинами позволяют осуществлять анализ взаимосвязей различных дисциплин и исключить возможность наличия в УП нереализованных зависимостей, а также позволяют реализовать в виде набора процедур валидацию внесенных в учебный план дисциплин с целью сокращения количества ошибок и противоречивых данных в УП. Например, дисциплина «Web-технологии» должна изучаться после успешного усвоения материалов дисциплины «Алгоритмизация и программирование» и «Объектно-ориентированное программирование», поэтому она не может быть добавлена в УП раньше обеспечивающих ее дисциплин, кроме того, обеспечивающие дисциплины не могут быть удалены из плана, пока в нем существуют зависимости от них.

Предложенная модель, дополненная процедурами валидации УП, позволяет осуществлять повторное использование корректных проверенных частей УП и минимизировать трудозатраты процесса формирования

нового учебного плана на базе существующего путем повторного использования и модификации проверенных ранее частей УП вместо разработки УП «с нуля».

Например, построение УП ОКУ «бакалавр» по направлению «Компьютерные науки» (КН) в Харьковском национальном университете радиоэлектроники достигается объединением БУП УО для данного конкретного ОКУ подготовки, БУП, содержащего дисциплины общие для направления КН, и БУП одной из выпускающих кафедр (кафедра «Информационных управляющих систем» (ИУС), кафедра «Искусственного интеллекта» или кафедра «Системотехники»).

Анализ взаимосвязи дисциплин при объединении 3-х БУП позволяет поддерживать целостность данных на

уровне системы управления баз данных, отслеживать зависимости между дисциплинами с целью формирования оптимального УП, автоматизировать процесс принятия решений пользователями ИС.

Применение к единой модели учебного плана и стандартизация бизнес-процесса его создания позволят обеспечить регулирование прав доступа пользователей, участвующих в его формировании на уровне множеств дисциплин А, В, С одновременно.

Полученная математическая модель УП имеет свое отображение в информационной структуре целевой ИС. Обобщенная логическая схема данных представлена на рис. 1.

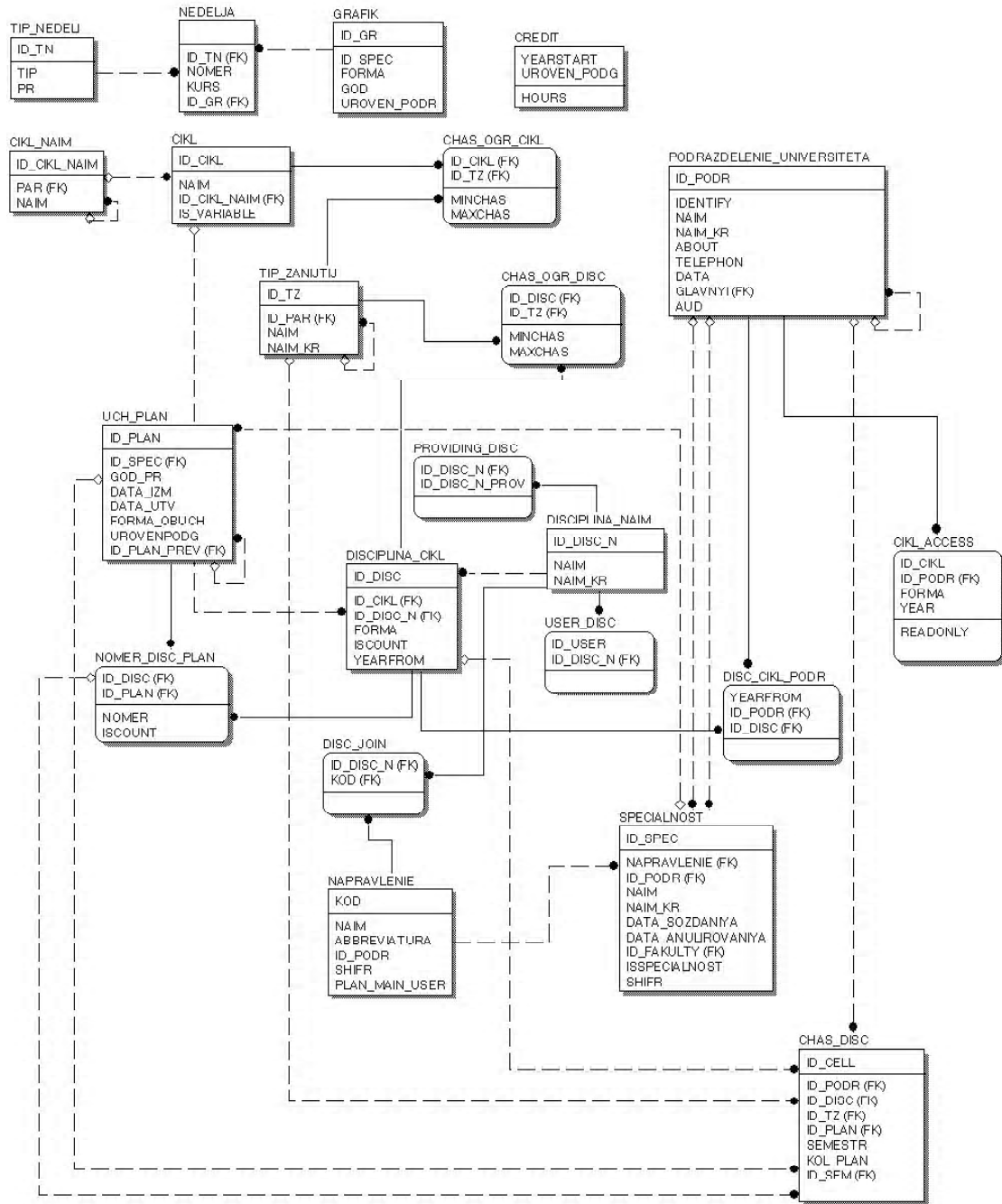


Рис. 1. Обобщенная схема данных функциональной задачи «Учебный план»

Учебный план представляет собой совокупность взаимосвязанных таблиц в соответствии с выражением (11). Формирование одного из базовых УП (2–4), как множества дисциплин, подразумевает предоставления различных прав доступа пользователям нескольких подразделений к данным таблиц, описывающим дисциплины (DISCIPLINA_CIKL, CHAS_DISC и др.). За каждым подразделением закрепляется тот или иной цикл дисциплин (таблица CIKL), и назначаются привилегии в соответствии с должностными инструкциями (CIKL_ACCESS). Базовый учебный план на физическом уровне представлен в виде записей базы данных – таблицы UCH_PLAN и NOMER_DISC_PLAN, при этом атрибут ID_PLAN_PREV (связь «один-ко-многим») указывает на предшествующий базовый план, что позволяет реализовать возможность переиспользования и копирования ранее сформированных УП. Структура дисциплины, описанная формулой (7), представлена в виде взаимосвязанных таблиц DISCIPLINA_CIKL, DISCIPLINA_NAIM, CHAS_DISC. Зависимость дисциплин учебного плана между собой, представленная в формуле (11), определяется соответствием внешних ключей в таблице PROVIDING_DISC (атрибуты ID_DIC_N и ID_DIC_N_PROV).

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Автоматизация формирования учебного плана с применением предложенной в работе модели УП позволяет облегчить работу пользователя по созданию и сопровождению учебного плана, контролю нагрузки студентов, формированию учебных планов по направлениям и специальностям и рабочих учебных планов (семетровок), а также обеспечивает создание информационной платформы, которая позволяет инициировать работу

множества других автоматизированных бизнес-процессов ВУЗа (организация и контроль учебного процесса, и его дальнейшее документальное сопровождение в деканате; формирование учебной нагрузки преподавателей кафедр; формирование расписания занятий; ведение электронного журнала и т. д.). Качественная реализация полученной математической модели УП позволяет обеспечить надежную работу всех взаимодействующих модулей и функциональных задач.

Тестирование работы модуля «Учебный план» осуществлялось на реальных данных учебных планов ХНУ-РЭ факультета КН кафедры ИУС 2012/2013 учебного года.

Апробация применения гибкой множественной модели создания учебного плана показала возможность сокращения почти в 2 раза объема хранимых данных; повышения оперативности формирования УП; уменьшения числа аномалий и ошибок в БД, и, как следствие, сокращения работы по мониторингу и обработке данных в ИС при ее администрировании и сопровождении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высшее образование в Украине [Электронный ресурс] : Режим доступа: http://society.lb.ua/education/2011/06/11/100814_v_ukraine_na_800_vuzov_bolshem_.html/. – 11.07.2012. – Загл. с экрана.
2. Формализованные модели учебного плана [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://technomag.edu.ru/doc/506173.html/>. – 16.03.2010.– Загл. с экрана.
3. Системы автоматизации в ВУЗе [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://greenhouse.lotus.com/plugins/plugincatalog.nsf/assetDetails.xsp?action=open_Document&documentId=01A813809B2AD1A8852576E8001E76F5/. – 16.03.2010. – загл. с экрана.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2013.

Керносів М. А.¹, Міхнова А. В.², Імшенецький Д. О.³

¹Канд. техн. наук, провідний інженер, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

²Канд. техн. наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

³Ст. оператор, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

ГНУЧКА МНОЖИННА МОДЕЛЬ НАВЧАЛЬНОГО ПЛАНУ В ПІДСИСТЕМІ ПЛАНУВАННЯ І КОНТРОЛЮ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ІАС ВНЗ

У статті розглядається актуальна проблема ефективної організації навчального процесу ВНЗ, зокрема – математична модель, що використовується для автоматизації формування навчального плану, як виду нормативного документу вищого навчального закладу.

У роботі запропоновано модифіковану модель навчального плану, що забезпечує його формування з урахуванням особливостей бізнес-процесів об'єкта автоматизації. Отримана гнучка множинна модель забезпечує математичну основу ефективного процесу розробки навчального плану, формування його структури та адаптації до поточних вимог стандартів освіти.

Ключові слова: ВНЗ, планування, навчальний процес, навчальний план, множинна модель, база даних.

Kernosov M. A.¹, Mikhnova A. V.², Imshenetsky D. A.³

¹Ph.D. of engineering science, leading engineer, Kharkov National University of Radioelectronics

²Ph.D. of engineering science, associate Professor, Kharkov National University of Radioelectronics

³Operator, Kharkov National University of Radioelectronics

FLEXIBLE SET-THEORETIC MODEL OF CURRICULUM FOR THE PLANNING AND CONTROL SUBSYSTEM OF INFORMATION AND ANALYSIS SYSTEM OF UNIVERSITY

The article is devoted to the problem of the university education advanced management. Authors proposed an alternative mathematical model for the planning of the academic activities and curriculums formation as normative document of higher education.