

УДК 621.391.82

Розорінов Г.М., д.т.н.; Лазаренко С.В., к.т.н.

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ РУХОМОЇ СЛУЖБИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ЧАСТОТНИХ ПРИСВОЄНЬ

Rozorinov G.M., Lazarenko S.V. The analysis of electromagnetic compatibility of radio-electronic devices of mobile radio service for frequency assignments. There were performed the analysis of the concept of electromagnetic compatibility (EMC) of radio-electronic means (RES). There were determined the relevance of EMC analysis of mobile radio service. There were determined the stages of EMC analysis of mobile radio service. There were created the list of conditions that must be followed at every stage. There were defined types of scenarios (paired, group) of interfering interaction of RES mobile service. There were given a list of the technical characteristics of equipment and antennas of RES of the mobile radio service, which are provided at the time of registration of the application for the issuance of an authorization of EMC RES mobile radio service. There were provided the algorithm for EMC RES mobile radio service calculation.

Keywords: electromagnetic compatibility, radio electronic equipment, mobile service, noise, frequency assignment, paired scenarios, group scenarios, energy criterion

Розорінов Г.М., Лазаренко С.В. Аналіз електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів рухомої служби радіозв'язку для частотних присвоєнь. Розглянуто поняття електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ). Зазначені етапи проведення аналізу ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку. Приведені типи сценаріїв (парні, групові) завадової взаємодії РЕЗ рухомої служби. Наведено перелік технічних характеристик обладнання і антен РЕЗ рухомої служби, які надаються під час оформлення заяви про видачу висновку щодо ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку. Запропоновано алгоритм розрахунку ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, радіоелектронні засоби, рухома служба, завади, частотне присвоєння, парні сценарії, групові сценарії, енергетичний критерій

Розорин Г.Н., Лазаренко С.В. Анализ электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств подвижной службы радиосвязи для частотных присвоений. Рассмотрено понятие электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС). Приведен перечень условий, которые должны выполняться на каждом этапе. Определены типы сценариев (парные, групповые) помехового взаимодействия РЭС подвижной службы. Приведен перечень технических характеристик оборудования и антенн РЭС подвижной службы, которые предоставляются во время оформления заявления на выдачу заключения об ЭМС РЭС подвижной службы радиосвязи. Предложен алгоритм расчета ЭМС РЭС подвижной службы радиосвязи.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, радиоэлектронные средства, подвижная служба, частотное присвоение, парные сценарии, групповые сценарии, энергетический критерий

Вступ. Електромагнітна сумісність – здатність радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв одночасно функціонувати з необхідною якістю в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу ненавмисних радіозавад, не створюючи при цьому неприпустимих радіозавад іншим радіоелектронним засобам.

Проведення аналізу електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) на сьогодні є актуальним при проведенні розрахунку частотних присвоєнь та визначається чинним законодавством [1, 2, 3].

Проблема ЕМС РЕЗ може вирішуватися двома шляхами [4, 5, 6]:

- реалізація комплексу технічних заходів;
- реалізація комплексу організаційних заходів.

У даній роботі розглянуті організаційні заходи з проведення аналізу ЕМС РЕЗ рухомої служби, які дозволяють здійснити нові частотні присвоєння.

1. Зміст і складові аналізу ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку при здійсненні частотних присвоєнь

Розрахунок ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку проводиться у відповідності до процедури, яка складається з шести послідовних етапів, а саме:

- 1) попереднє оцінювання електромагнітної обстановки (далі по тексту – ЕМО) в районі планування нового частотного присвоєння;
- 2) попереднє оцінювання належної якості функціонування окремих РЕЗ або сукупності РЕЗ у визначеній ЕМО;
- 3) визначення сценаріїв завадової взаємодії РЕЗ в районі планування нового частотного присвоєння;
- 4) визначення характеристик РЕЗ для проведення розрахунків ЕМС РЕЗ;
- 5) розрахунок ЕМС РЕЗ у відповідності до визначених сценаріїв завадової взаємодії;
- 6) оцінка забезпечення ЕМС РЕЗ за результатами проведених розрахунків.

Розглянемо більш детально зазначені етапи.

Перший – попереднє оцінювання електромагнітної обстановки в районі планування нового частотного присвоєння проводиться шляхом територіального і частотного відбору потенційно несумісних РЕЗ [7, 9].

При аналізі ЕМС РЕЗ дуплексного радіозв'язку оцінка ЕМО проводиться в два етапи. На першому етапі оцінюють випадки можливого виникнення завад від діючих РЕЗ новому. На другому етапі розглядають випадки коли новий РЕЗ може бути джерелом завад діючим РЕЗ.

Територіальний відбір потенційно несумісних РЕЗ здійснюється на підставі визначення параметрів (форми, діаметру або радіусу) і побудови контуру розрахункової зони відбору. Визначення параметрів розрахункової зони проводиться безпосередньо експертом в залежності від типу та сценарію розгортання планованого РЕЗ.

Усі діючі РЕЗ, які потрапили у простір, обмежений контуром розрахункової зони, вважаються потенційними джерелами завад і обираються для подальшого аналізу ЕМС.

Частотний відбір конфліктуючих РЕЗ здійснюється шляхом ідентифікації і селекції діючих (або планованих) частотних присвоєнь РЕЗ, які потрапили в розрахункову зону. При частотному відборі конфліктуючих РЕЗ враховуються усі можливі види завад, канали проникнення завад і негативні явища (інтермодуляція, блокування тощо), які можуть призвести до погіршення якості функціонування діючих і нового РЕЗ.

За результатами попереднього оцінювання завадової обстановки формується впорядкована вибірка потенційно небезпечних джерел завад, які підлягають подальшому дослідженню.

Другий – попереднє оцінювання якості функціонування окремих РЕЗ або їх сукупності здійснюється на підставі базових вимог по якості функціонування РЕЗ і якості зв'язку з урахуванням технічних характеристик досліджуваних РЕЗ і ЕМО в районі планування нового частотного присвоєння [8]. При необхідності визначаються допуски на погіршення показників якості функціонування РЕЗ (якості зв'язку) через можливий вплив потенційних джерел завад, які створюються іншими РЕЗ, що потрапили в розрахункову зону.

Критерієм попереднього оцінювання якості функціонування РЕЗ зазвичай є припустиме відношення потужності сигналу до рівня потужності шумів на вході приймача РЕЗ, при якому забезпечується належне та безперебійне функціонування РЕЗ і передача повідомлень з заданою імовірністю безпомилкового прийому.

Третій – визначення сценарію взаємодії для нового плануємого РЕЗ і РЕЗ, які потрапили в розрахункову зону, здійснюється за результатами попередньої оцінки завадової обстановки в районі планування частотного присвоєння [9].

Сценарії завадової взаємодії РЕЗ рухомої радіослужби і РЕЗ інших радіослужб поділяються на парні і групові. В парних сценаріях досліджується вплив однієї неавмисної завади (одного РЕЗ) на один рецептор (іншого РЕЗ). В групових сценаріях досліджується вплив сукупності джерел завад (декількох РЕЗ) на один рецептор.

При цьому обов'язково враховуються умови розгортання, характеристики спрямованості антен, територіальне рознесення і просторова орієнтація планованого і діючих РЕЗ.

При визначенні типу сценарію завадової взаємодії РЕЗ, який буде досліджуватися, доцільно користуватися наступними рекомендаціями.

Дуельні сценарії доцільно досліджувати у таких випадках:

- а) якщо оцінюють вплив нового присвоєння на діючі;
- б) при високій просторовій вибірковості РЕЗ (використання гостроспрямованих антен);
- в) при високій частотній вибірковості приймача, за рахунок якої знижується вплив завад у неосновних каналах на прийом корисного сигналу;
- г) при високій захищеності приймача по блокуванню та інтермодуляції (при використанні високоякісних фільтрів і новітньої елементної бази).

Дослідження групових сценаріїв доцільно проводити у таких випадках:

- а) якщо необхідно оцінити вплив сукупності діючих присвоєнь на нове;
- б) при низькій просторовій вибірковості РЕЗ (при використанні всеспрямованих антен);
- в) при наявності зони обслуговування РЕЗ, параметри якої можуть погіршуватися внаслідок впливу завад від декількох джерел одночасно;
- г) при низькій частотній вибірковості приймача.

Четвертий – технічні характеристики РЕЗ, для якого здійснюють планування нового частотного присвоєння і які використовуються при розрахунках ЕМС РЕЗ, подаються заявником при оформленні заяви про видачу висновку щодо ЕМС РЕЗ рухомого радіозв'язку. Заява надсилається безпосередньо до Українського державного центру радіочастот (далі по тексту - УДЦР) або філії УДЦР у відповідній області України.

При оформленні заяви, заявник повинен надавати такі технічні характеристики РЕЗ:

- діапазон робочих частот РЕЗ, МГц;
- дуплексне рознесення радіочастот;
- крок сітки частот або формула каналоутворення;
- поляризація;
- ширина смуги випромінювання за рівнем -30 дБ;
- клас випромінювання.

До зазначених характеристик додатково визначаються наступні технічні характеристики РЕЗ:

- тип антени, коефіцієнт підсилення, поляризація випромінювання і характеристики ДСА антени (у відповідності до каталогу або специфікації антени);
- втрати у фідері передавача (приймача), дБ;
- чутливість приймача;
- амплітудно-частотна характеристика фільтра преселектора приймача;
- захисне відношення приймача, дБ.

Зазначені характеристики РЕЗ можуть бути знайдені в стандартах на відповідний тип обладнання, якщо він вказується заявником.

У Заяві про видачу висновку щодо ЕМС РЕЗ рухомого радіозв'язку додатково вказуються характеристики мережі радіозв'язку, а саме:

- призначення мережі;
- регіон використання РЕЗ (за необхідності – географічні координати (довгота, широта) місць встановлення базових станцій мережі радіозв'язку);
- стандарт мережі радіозв'язку;
- радіус зони обслуговування.

Крім того, при необхідності, визначаються також географічні характеристики місцеположення РЕЗ:

- висота підвісу антени передавача (приймача) над рівнем Землі, м;
- ефективна висота, ступінь нерівності і кут просвіту місцевості за різними азимутальними напрямками;
- тип середовища і характеристики забудови місцевості.

Для визначення географічних характеристик місцеположення РЕЗ і мережі радіозв'язку використовуються стандартизовані топографічні або цифрові (електронні) карти місцевості [10].

П'ятий – розрахунок ЕМС РЕЗ рухомого радіозв'язку здійснюється у відповідності до алгоритму, блок-схема якого наведено у розділі 3.

При розрахунках ЕМС РЕЗ обов'язково враховують тип сценарію завадової взаємодії РЕЗ, які вважаються потенційно конфліктуючими, види завод, канали можливого проникнення завод (основний і неосновні) і негативні явища, які визначаються при частотному відборі конфліктуючих РЕЗ.

Шостий – забезпечення ЕМС РЕЗ оцінюють шляхом перевірки виконання узагальненого енергетичного критерію ЕМС РЕЗ [11, 12], який задається формулою:

$$\frac{P_c}{P_3} \geq A(\Delta f), \quad (1)$$

де: P_c – потужність корисного сигналу на вході приймача; P_3 – потужність завади на вході приймача (для групових сценаріїв – сумарний рівень завади на вході приймача); $A(\Delta f)$ – захисне відношення приймача - рецептора завади.

При перевірці виконання визначеного критерію ЕМС РЕЗ повинні враховуватись такі параметри:

а) відсоток часу, протягом якого спостерігається погіршення зв'язку внаслідок завадового впливу і невиконання умов ЕМС РЕЗ ($p\%$);

б) відсоток місць, в яких не виконуються умови ЕМС РЕЗ;

в) припустима напруженість поля сигналу завади на межі зони обслуговування (при необхідності);

г) напруженість поля корисного сигналу, яка гарантує належну якість функціонування абонентських терміналів в зоні обслуговування базової станції (при необхідності).

При міжнародній координації частотних присвоєнь перевірку виконання умов ЕМС РЕЗ здійснюють за такими показниками:

а) припустима напруженість поля сигналу завади у визначеній точці;

б) максимальний радіус дії завадового сигналу.

3. Алгоритм розрахунку ЕМС РЕЗ рухомої служби

Розрахунок ЕМС РЕЗ рухомої служби проводиться у відповідності до приведеного на рис. 1 алгоритму.

Для підбраного номіналу радіочастоти (радіочастотного каналу) проводять послідовні розрахунки щодо оцінювання впливу нового РЕЗ на діючі і впливу діючих РЕЗ на новий РЕЗ в залежності від обраного сценарію [13].

За отриманими результатами розрахунків перевіряють виконання критерію ЕМС РЕЗ, визначеного формулою 1 (шостий етап).

Якщо вищезазначений критерій ЕМС РЕЗ не виконується, визначається можливість зміни технічних характеристик РЕЗ або приймається рішення про підбір іншої частоти для нового планованого РЕЗ.

При виконанні вищезазначеного критерію ЕМС РЕЗ в сценаріях дослідження впливу нового присвоєння на діючі, здійснюють аналогічні розрахунки для дослідження впливу діючих присвоєнь на плановане. Якщо для отриманих результатів розрахунків вищезазначений критерій ЕМС РЕЗ не виконується, визначають можливість зміни технічних характеристик діючих РЕЗ і нового планованого РЕЗ. Якщо технічні характеристики РЕЗ змінити неможливо, здійснюють підбір іншої вільної частоти для планованого РЕЗ.

Висновки

У ході роботи визначена актуальність проведення аналізу ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку при здійсненні частотних присвоєнь.

Наведені етапи проведення розрахунку ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку, а також перелік заходів, які вживаються на кожному етапі. Запропоновано алгоритм розрахунку ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку.

Надані пропозиції дозволяють здійснювати розрахунки параметрів ЕМС РЕЗ рухомої служби радіозв'язку.

Запропонований аналіз доцільно використовувати під час присвоєння радіочастот для РЕЗ рухомої служби радіозв'язку, а також під час практичних розрахунків та визначенні умов EMC РЕЗ рухомої служби радіозв'язку.

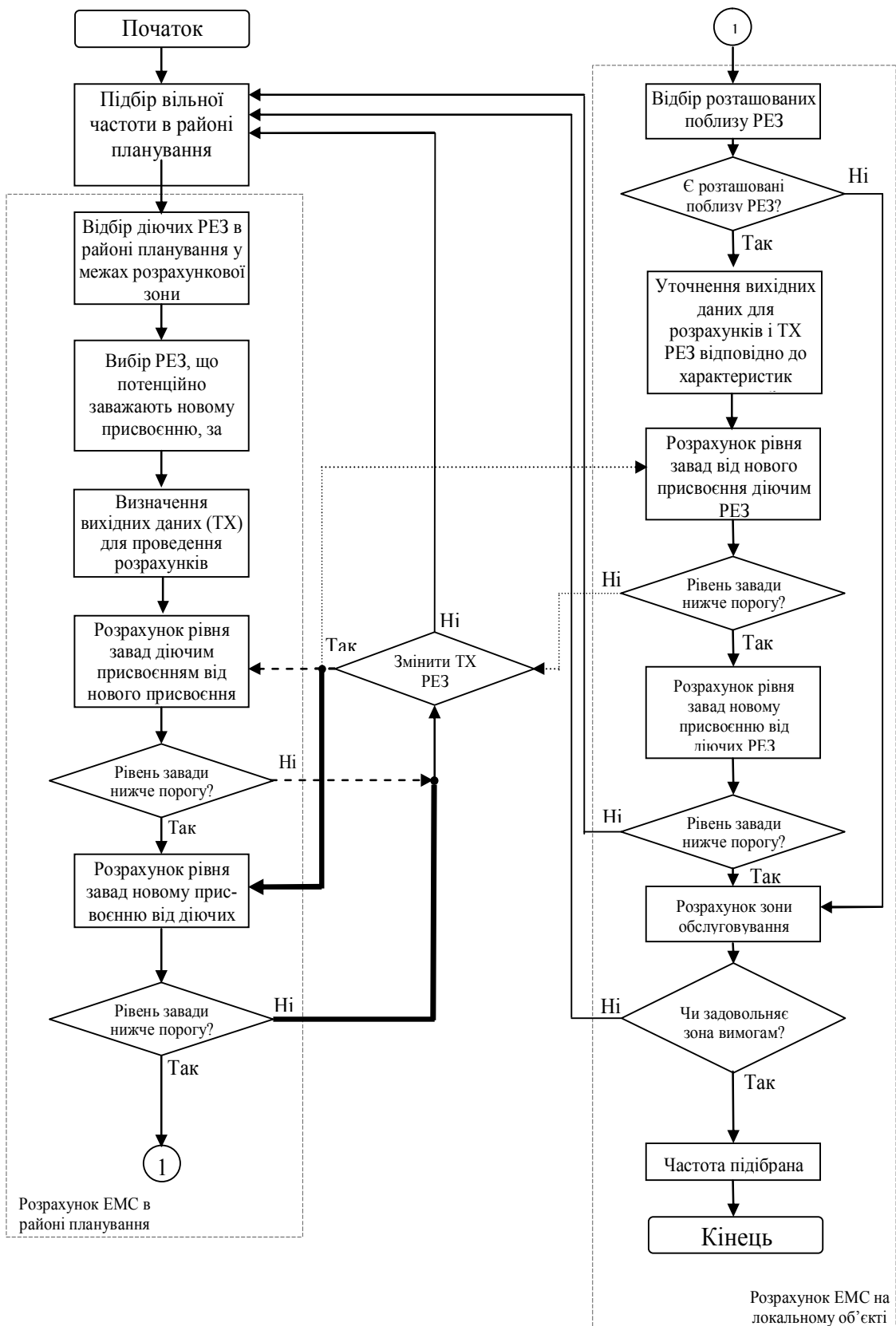


Рис. 1. Блок-схема узагальненого алгоритму проведення розрахунків EMC при здійсненні нових радіочастотних присвоєнь РЕЗ рухомої служби радіозв'язку

Література

1. Закон України “Про радіочастотний ресурс України” №1770-III від 01.06.2000 [Електронний ресурс] / Верховна Рада України // – Режим доступу: <http://www.rada.gov.ua>. (12.10.2015)
2. Постанова “Про затвердження Технічного регламенту з електромагнітної сумісності обладнання” [Електронний ресурс] / Постанова Кабінету Міністрів України від 29.07.2009 № 785 // – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=248735971> (12.10.2015)
3. Рішення “Про затвердження Порядку розробки висновків щодо електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів мовлення, необхідних для створення та розвитку каналів мовлення, мереж мовлення та телемереж” [Електронний ресурс] / Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення від 02.12.2008 № 2151 // – Режим доступу: <http://www.nrada.gov.ua/ua/rishennya/1272013598/1272435129.html> (14.10.2015)
4. Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учебное пособие / Ю.Е. Седельников // Казань: ЗАО «Новое знание», 2006. – 304 с.
5. Малков Н.А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учебное пособие / Н.А. Малков, А.П Пудовкин // Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 88 с.
6. Технічна колекція Schneider-Electric: вып. 32. EMC - Электромагнитная совместимость, 2009, [Електронний ресурс] // – Режим доступу : <http://www.schneider-electric.com.ua>. (10.10.2015)
7. Концепція оцінювання втрат передачі для радіоліній // Рекомендації сектору радіозв'язку МСЕ-R P.341.
8. Процедура прогнозування для оцінки мікрохвильових завад між станціями, які знаходяться на поверхні Землі, на частотах вище за 0,1 ГГц // Рекомендації сектору радіозв'язку МСЕ-R P.452.
9. Дані про поширення радіохвиль і методи прогнозування, необхідні для проектування наземних ліній зв'язку прямої видимості // Рекомендації сектору радіозв'язку МСЕ-R P.530.
10. Цифрові топографічні бази даних для досліджень поширення радіохвиль // Рекомендації сектору радіозв'язку МСЕ-R P.1058.
11. Частотне і територіальне рознесення // Рекомендації сектору радіозв'язку МСЕ-R SM.337.
12. Розрахунок завад інтермодуляції в сухопутній рухомій службі // Рекомендації сектору радіозв'язку МСЕ-R SM.1134.
13. Порядок проведення сертифікаційних випробувань на відповідність вимогам електромагнітної сумісності // ГОСТ 29037-91. – 2004.

Автори статті

Розорінов Георгій Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем захисту інформації, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +38 063 248 95 27. E-mail: grozoryn@gmail.com

Лазаренко Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри систем захисту інформації, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +38 067 244 78 67. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Authors of the article

Rozorinov Georhiy Mykolayovych – sciences doctor (technic), professor, head of Department of Information Protection Systems, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 063 248 95 27. E-mail: grozoryn@gmail.com

Lazarenko Sergiy Volodymyrovych – candidate of science (technic), associate professor, associate professor of Department of Information Protection Systems, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 067 244 78 67. E-mail: lsv.serg2013@yandex.ru

Дата надходження в редакцію: 18.11.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Н.І. Чичикало