

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ. СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

УДК 004.056.5

Г.В. Ахмаметьєва,

здобувач Одеського національного політехнічного університету

СТЕГАНОАНАЛІТИЧНИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ЦИФРОВИХ КОНТЕЙНЕРІВ, ЗБЕРЕЖЕНИХ У ФОРМАТАХ ІЗ ВТРАТАМИ

У роботі запропонований стеганоаналітичний алгоритм на базі стеганоаналітичного методу, розробленого нами раніше, заснований на врахуванні відносних змін кількості блоків з однаковими значеннями яскравості кольорних матриць послідовності зображень/кадрів відеопослідовності в результаті первинної та повторної вбудови додаткової інформації. Запропонований стеганоаналітичний алгоритм здійснює аналіз просторової області цифрових контентів у форматах із втратами та направлений на виявлення наявності вбудови додаткової інформації методом модифікації найменшого значущого біта з незначною пропускнуою спроможністю прихованого каналу зв'язку (не більше 0.5 біт/пиксель). Наведені результати обчислювального експерименту.

Ключові слова: стеганоаналітичний алгоритм, метод модифікації найменшого значущого біта, просторова область контейнера, цифрове зображення, цифрова відеопослідовність, формат зберігання із втратами

В работе предложен стеганоаналитический алгоритм на базе разработанного нами ранее стеганоаналитического метода, основанный на учете относительных изменений количества блоков с одинаковыми значениями яркости цветowych матриц последовательности изображений/кадров видеопоследовательности в результате первичного и повторного встраивания дополнительной информации. Предложенный стеганоаналитический алгоритм осуществляет анализ пространственной области цифровых контентов в форматах с потерями и направлен на выявление наличия встроенной дополнительной информации методом модификации наименьшего значимого бита в скрытом канале связи с незначительной пропускной способностью (не больше 0.5 бит/пиксель). Приведены результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: стеганоаналитический алгоритм, метод модификации наименьшего значимого бита, пространственная область контейнера, цифровое изображение, цифровая видеопоследовательность, формат хранения с потерями.

The paper presents steganalytic algorithm, based on the steganalytic method, developed earlier by the author, based on the accounting of differences in the relative changes of the number of blocks with the equal color brightness values of color matrices of sequence of images / frames of a video sequence as a result of primary and repeated insertion of additional information. The proposed steganalytic algorithm analyzes digital content in losses

formats in the spatial domain and is aimed at the detection of the presence of the embedding of additional information by modification of the least significant bits with a small hidden capacity (not more than 0.5 bit / pixel). Results of computational experiment are shown.

Keywords: *steganalytic algorithm, method of modification of least significant bit, spatial domain of container, digital image, digital video sequence, format of store with losses.*

Вступ

Сучасні розробки в області стеганографії, новітні підходи до розробки стеганографічних систем, нетрадиційне використання наявних методів та алгоритмів сприяють їх широкому розповсюдженню в інформаційному просторі. Вільним доступом до мережі Інтернет та ресурсів з науковими розробками користуються і зловмисники з метою здійснити антидержавні дії та приховати сліди злочину, в тому числі за допомогою стеганографії, яка дозволяє передавати секретну інформацію по відкритому каналу зв'язку, забезпечуючи приховування самого факту її присутності в контейнері [1; 2]. У ролі контейнерів найчастіше виступають цифрові зображення (далі – ЦЗ), відеопослідовності (ЦВ), у які здійснюється вбудова додаткової інформації (ДІ), результатом такої вбудови є стеганоповідомлення (далі – СП). Тому не менш актуальним є розвиток стеганоаналізу, основним завданням якого є виявлення факту наявності або відсутності в будь-якому контенті інформації, яка передається таємно [2; 3].

Серед існуючих стеганографічних методів найбільше розповсюдження отримав метод модифікації найменшого значущого біта (LSB) завдяки простоті реалізації, можливості забезпечення високої пропускнуєї спроможності прихованого каналу зв'язку (ППС), використанню як у просторовій області, так і в області перетворень цифрового контейнера [2]. Тривалому використанню цього методу сприяє й можливість його нетрадиційного застосування, а саме вбудова ДІ виконується з малою ППС (не більше 0.5 біт/піксель), що значно ускладнює процес стеганоаналізу.

Більшість сучасних стеганоаналітичних розробок здійснюють аналіз цифрових контентів в області перетворень (частотній області, областях сингулярного / спектрального розкладання відповідних матриць тощо), основними недоліками яких є накопичення додаткової обчислювальної похибки та додаткові часові затрати при переході в область перетворень і назад [1; 4–7]. Стеганоаналіз у просторовій області дозволяє уникнути цих недоліків. Тому підвищення ефективності стеганоаналізу за рахунок забезпечення можливості його проведення в просторовій області при вбудові ДІ методом LSB є актуальним завданням для сучасної стеганографії.

Мета та постановка задач

Метою роботи є підвищення ефективності стеганоаналізу при виявленні наявності/відсутності ДІ, вбудованої методом LSB з незначною ППС (не більше 0.5 біт/піксель) у послідовність ЦЗ/кадрів відеопослідовності шляхом розробки стеганоаналітичного алгоритму на базі методу з [8], заснованого на аналізі відносних змін кількості блоків з однаковими значеннями яскравості в кольорних

компонентах цифрових контентів після повторної вбудови ДІ, у порівнянні з цифровими контентами після первинної вбудови ДІ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *задачі*:

1) визначити порогові значення відносних змін кількості 4×4 -блоків з однаковими значеннями яскравості в колірних складових послідовності ЦЗ/ЦВ, сформованих первинною вбудовою ДІ, у порівнянні з цифровим контентом, отриманим повторною вбудовою ДІ в СП;

2) розробити основні кроки стеганоаналітичного алгоритму детектування наявності/відсутності ДІ, вбудованої методом LSB з незначною ППС (не більше 0.5 біт/піксель), у цифрових відеопослідовностях;

3) оцінити ефективність розробленого стеганоалгоритму шляхом визначення помилок 1-го та 2-го роду на основі детектування ДІ з набору ЦВ;

4) визначити, чи залежить ефективність розробленого стеганоалгоритму від розміру ЦЗ/кадру ЦВ.

Основна частина

У роботі [8] був запропонований стеганоаналітичний метод, заснований на врахуванні різниці в кількості 4×4 -блоків з однаковими значеннями яскравості цифрового контенту, який аналізуємо, та цього ж цифрового контенту після вбудови в нього випадково сформованої бінарної послідовності – ДІ, для форматів із утратами визначені порогові значення відносних змін кількості блоків з однаковими значеннями яскравості при первинній та повторній вбудові ДІ на основі даних табл. 1.

Таблиця 1

Відносні зміни кількості блоків з однаковими значеннями яскравості у колірних складових ЦЗ-СП, сформованих шляхом повторної вбудови ДІ у СП, отримані методом LSB

4 × 4 Первинна ППЗ СП (біт/піксель)	ППЗ для повторної вбудови ДІ у СП (біт/піксель)	ЦЗ з [9]			ЦЗ з [10]			Непрофесійні ЦЗ		
		$\bar{R}$	$\bar{G}$ для різних значень ППЗ (%)	$\bar{B}$	$\bar{R}$	$\bar{G}$	$\bar{B}$	$\bar{R}$	$\bar{G}$	$\bar{B}$
0.5	0.5	3.7	3.9	3.6	3.1	3.3	5.2	3.3	1.9	2.2
	0.25	0.5	0.4	0.4	1	1.1	1.9	0.7	0.6	0.9
	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.4	0.8	0.3	0.2	0.4
0.25	0.5	1.2	1	1	2.3	2.3	4.3	1.8	1.1	2.1
	0.25	12.4	6.1	11.6	1.9	2.9	2.4	3.7	2.7	2.1
	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.8	0.3	0.2	0.4
0.1	0.5	30.8	32.3	34.7	4.1	6.8	1.2	15	10.5	9.4
	0.25	31.3	32.6	35.1	5.3	8	3.5	15.7	10.9	10.4
	0.1	45.6	68.2	38.4	5.1	5.6	5.9	18.8	6.9	9.5

У табл. 1 $\bar{R}$, $\bar{G}$, $\bar{B}$ – відносні зміни середнього значення кількості блоків з однаковими значеннями яскравості відповідно для червоної, зеленої та синьої колірної складової СП, отриманого первинною вбудовою ДІ, у порівнянні з СП, сформованим повторною вбудовою ДІ у дане СП, які обчислюються за формулами:

$$\bar{R} = \frac{|r^{(S)} - r^{(\bar{S})}|}{r^{(S)}} \cdot 100\%, \quad \bar{G} = \frac{|g^{(S)} - g^{(\bar{S})}|}{g^{(S)}} \cdot 100\%, \quad \bar{B} = \frac{|b^{(S)} - b^{(\bar{S})}|}{b^{(S)}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $r^{(S)}, g^{(S)}, b^{(S)}$ – середні значення кількості 4×4 -блоків з однаковими значеннями яскравості в послідовності СП, сформованих вбудовою ДІ з однаковою ППС в оригінальний контейнер, у червоній, зеленій та синій компоненті відповідно;

$r^{(\bar{S})}, g^{(\bar{S})}, b^{(\bar{S})}$ – середні значення кількості 4×4 -блоків з однаковими значеннями яскравості в послідовності СП, сформованих повторною вбудовою ДІ у ЦЗ-СП, у червоній, зеленій та синій компоненті відповідно.

На основі результатів обчислювального експерименту в роботі [8] були запропоновані значення порогів $T_R = 32$, $T_G = 33$, $T_B = 35.5$ для червоної, зеленої та синьої колірних складових відповідно, значення цих порогів обрані по максимальним значенням відносних змін кількості 4×4 -блоків з однаковими значеннями яскравості для ППС 0.5, 0.25 та 0.1 біт/піксель (табл. 1) по кожній колірній складовій. Проте при первинній ППС 0.1 біт/піксель для кожної групи характерний значний розкид параметрів $\bar{R}$ (від 4.1 до 45.6), $\bar{G}$ (від 5.6 до 68.2), $\bar{B}$ (від 1.2 до 38.4), що неминуче призведе до значних помилок при детектуванні, оскільки первинна вбудова ДІ в кожний десятій біт змінить значення колірної матриці на 10 % і в більшості випадків не ушкодить 4×4 -блоки з однаковими значеннями яскравості оригінального контейнера, а також може привести до додаткового виникнення помилок другого роду для первинної ППС 0.5 та 0.25 біт/піксель, що потребує уточнення обраних порогів.

З урахуванням концентрації детектування цифрових контентів з первинною ППС 0.5 та 0.25 біт/піксель можна прийняти значення порогів $T_R = 13$, $T_G = 7$, $T_B = 12$, однак якщо прийняти до уваги, що найбільш ймовірними контейнерами можуть стати непрофесійні фото та відеороліки, то значення порогів приймемо $T_R = 19$, $T_G = 11$, $T_B = 12$. Для остаточного визначення порогів T_R , T_G , T_B порівняємо ефективність стеганоаналітичного алгоритму для трьох наборів порогів.

Для послідовності з P ЦЗ/кадрів ЦВ $C_1, C_2, \dots, C_P$ з колірними складовими $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ основні кроки стеганоаналітичного алгоритму детектування наявності/відсутності ДІ, вбудованої методом LSB, такі:

Крок 1. Вбудова ДІ (випадково сформованої бінарної послідовності).

Для кожного C_i , $i = 1, P$:

1.1. Вбудувати в $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ – колірні складові C_i методом LSB ДІ з ППС 0.5 біт/піксель. Результат – $S_i^{0.5}$ з колірними складовими $R_i^{(0.5)}, G_i^{(0.5)}, B_i^{(0.5)}$;

1.2. Вбудувати в $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ – колірні складові C_i методом LSB деяку ДІ з ППС 0.25 біт/піксель. Результат – $S_i^{0.25}$ з колірними складовими $R_i^{(0.25)}, G_i^{(0.25)}, B_i^{(0.25)}$;

1.3. Вбудувати в $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ – колірні складові C_i методом LSB деяку ДІ з ППС 0.1 біт/піксель. Результат – $S_i^{0.1}$ з колірними складовими $R_i^{(0.1)}, G_i^{(0.1)}, B_i^{(0.1)}$.

Крок 2. Визначення відносної кількості 4×4 -блоків у кожній колірній складовій стосовно загальної кількості 4×4 -блоків у матриці (в %) відповідно.

Для кожного $C_i, i = \overline{1, P}$:

1.1. Обчислити $r_i^{(C)}, g_i^{(C)}, b_i^{(C)}$ – відносна кількість 4×4 -блоків у $R_i^{(C)}, G_i^{(C)}, B_i^{(C)}$ відповідно (в %);

1.2. Обчислити $r_i^{(0.5)}, g_i^{(0.5)}, b_i^{(0.5)}$ – відносна кількість 4×4 -блоків у $R_i^{(0.5)}, G_i^{(0.5)}, B_i^{(0.5)}$ відповідно (в %);

1.3. Обчислити $r_i^{(0.25)}, g_i^{(0.25)}, b_i^{(0.25)}$ – відносна кількість 4×4 -блоків у $R_i^{(0.25)}, G_i^{(0.25)}, B_i^{(0.25)}$ відповідно (в %);

1.4. Обчислити $r_i^{(0.1)}, g_i^{(0.1)}, b_i^{(0.1)}$ – відносна кількість 4×4 -блоків у $R_i^{(0.1)}, G_i^{(0.1)}, B_i^{(0.1)}$ відповідно (в %).

Крок 3. Визначити:

$$\begin{aligned} r^{(C)} &= \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P r_i^{(C)}, \quad g^{(C)} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P g_i^{(C)}, \quad b^{(C)} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P b_i^{(C)}; \\ r^{(0.5)} &= \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P r_i^{(0.5)}, \quad g^{(0.5)} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P g_i^{(0.5)}, \quad b^{(0.5)} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P b_i^{(0.5)}; \\ r^{(0.25)} &= \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P r_i^{(0.25)}, \quad g^{(0.25)} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P g_i^{(0.25)}, \quad b^{(0.25)} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P b_i^{(0.25)}; \\ r^{(0.1)} &= \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P r_i^{(0.1)}, \quad g^{(0.1)} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P g_i^{(0.1)}, \quad b^{(0.1)} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P b_i^{(0.1)}. \end{aligned}$$

Крок 4. Обчислити:

$$\begin{aligned} \bar{R}_{0.5} &= \frac{|r^{(C)} - r^{(0.5)}|}{r^{(C)}} \cdot 100\%, \quad \bar{G}_{0.5} = \frac{|g^{(C)} - g^{(0.5)}|}{g^{(C)}} \cdot 100\%, \quad \bar{B}_{0.5} = \frac{|b^{(C)} - b^{(0.5)}|}{b^{(C)}} \cdot 100\%; \\ \bar{R}_{0.25} &= \frac{|r^{(C)} - r^{(0.25)}|}{r^{(C)}} \cdot 100\%, \quad \bar{G}_{0.25} = \frac{|g^{(C)} - g^{(0.25)}|}{g^{(C)}} \cdot 100\%, \quad \bar{B}_{0.25} = \frac{|b^{(C)} - b^{(0.25)}|}{b^{(C)}} \cdot 100\%; \\ \bar{R}_{0.1} &= \frac{|r^{(C)} - r^{(0.1)}|}{r^{(C)}} \cdot 100\%, \quad \bar{G}_{0.1} = \frac{|g^{(C)} - g^{(0.1)}|}{g^{(C)}} \cdot 100\%, \quad \bar{B}_{0.1} = \frac{|b^{(C)} - b^{(0.1)}|}{b^{(C)}} \cdot 100\%. \end{aligned}$$

Крок 5. Детектування наявності ДІ.

5.1. Якщо

$$\begin{aligned} &(\bar{R}_{0.5} < T_R \text{ AND } \bar{R}_{0.25} < T_R) \text{ OR } (\bar{R}_{0.5} < T_R \text{ AND } \bar{R}_{0.1} < T_R) \text{ OR} \\ &(\bar{R}_{0.25} < T_R \text{ AND } \bar{R}_{0.1} < T_R) \text{ OR } (\bar{R}_{0.5} < T_R \text{ AND } \bar{R}_{0.25} < T_R \text{ AND } \bar{R}_{0.1} < T_R), \end{aligned}$$

то $C_1, C_2, \dots, C_P$ містять вбудовану ДІ в червоній колірній складовій;

5.2. Якщо

$$(\bar{G}_{0.5} < T_G \text{ AND } \bar{G}_{0.25} < T_G) \text{ OR } (\bar{G}_{0.5} < T_G \text{ AND } \bar{G}_{0.1} < T_G) \text{ OR} \\ (\bar{G}_{0.25} < T_G \text{ AND } \bar{G}_{0.1} < T_G) \text{ OR } (\bar{G}_{0.5} < T_G \text{ AND } \bar{G}_{0.25} < T_G \text{ AND } \bar{G}_{0.1} < T_G),$$

то $C_1, C_2, \dots, C_p$ містять вбудовану ДІ в зеленій колірній складовій;

5.3. Якщо

$$(\bar{B}_{0.5} < T_B \text{ AND } \bar{B}_{0.25} < T_B) \text{ OR } (\bar{B}_{0.5} < T_B \text{ AND } \bar{B}_{0.1} < T_B) \text{ OR} \\ (\bar{B}_{0.25} < T_B \text{ AND } \bar{B}_{0.1} < T_B) \text{ OR } (\bar{B}_{0.5} < T_B \text{ AND } \bar{B}_{0.25} < T_B \text{ AND } \bar{B}_{0.1} < T_B),$$

то $C_1, C_2, \dots, C_p$ містять вбудовану ДІ в синій колірній складовій.

Для апробації запропонованого алгоритму в середовищі MatLAB був проведений обчислювальний експеримент для 367 відеопослідовностей розміром кадру 320×240 , збережених у форматі з утратами, отриманих непрофесійною відеокамерою, а також відеороликів, знятих на мобільний телефон. Первинна вбудова ДІ здійснювалась лише в одну колірну компоненту, довільно обрану для кожного ЦВ, з ППС 0.5 (у кожний другий біт), 0.25 (у кожний четвертий біт), 0.167 (у кожний шостий біт), 0.125 (у кожний восьмий біт), 0.1 (у кожний десятий біт) біт/піксель. Результати обчислювального експерименту представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Ефективність детектування наявності/відсутності ДІ в цифрових контентах, %

Порогові значення	Помилки	ППС, біт/піксель				
		0.5	0.25	0.167	0.125	0.1
$T_R = 32, T_G = 33,$ $T_B = 35.5$	1- го роду	0	0	12.53	65.67	75.48
	2- го роду	1.23	1.23	1.23	0.82	0.95
$T_R = 13, T_G = 7,$ $T_B = 12$	1- го роду	0	1.09	14.17	68.12	87.74
	2- го роду	0.14	0.14	0.14	0	0.14
$T_R = 19, T_G = 11,$ $T_B = 12$	1- го роду	0	0	13.62	67.30	85.56
	2- го роду	0.14	0.14	0.14	0	0.14

Як видно з табл. 2, стеганоаналітичний алгоритм є неефективним при ППС 0.125 та 0.1 біт/піксель, оскільки має значний відсоток помилок першого роду. Задовільною можна вважати ефективність алгоритму для ППС 0.167 біт/піксель. Для ППС 0.5 та 0.25 біт/піксель стеганоалгоритм дає найкращі результати. Як порогові значення приймемо $T_R = 19, T_G = 11, T_B = 12$, оскільки для ППС 0.5 та 0.25 біт/піксель при відсутності помилок першого роду помилки другого роду мінімальні.

Перевіримо, чи залежить ефективність розробленого стеганоалгоритму від розміру ЦЗ/кадру ЦВ. Для цього проаналізуємо 49 відеопослідовностей розміром кадру 176×144 , отриманих камерою застарілої моделі мобільного телефону. Пороговими значеннями в обчислюваному експерименті прийняті $T_R = 19, T_G = 11, T_B = 12$. Результати детектування представлені в табл. 3.

Таблиця 3

**Ефективність детектування наявності/відсутності ДІ у ЦВ
з малим розміром кадру, %**

Порогові значення	Помилки	ППС, біт/піксель				
		0.5	0.25	0.167	0.125	0.1
$T_R = 19, T_G = 11,$	1-городу	0	0	0	0	0
$T_B = 12$	2-городу	93.88	92.86	93.88	90.82	91.84

З табл. 3 видно, що стеганоповідомленнями були визнані майже всі колірні складові, навіть незаповнені. Це можна пояснити незначною кількістю 4×4 -блоків у матриці колірної складової (для розміру кадру 176×144 загальна кількість 4×4 -блоків складатиме 1 584, для розміру 320×240 загальна кількість 4×4 -блоків вже буде дорівнювати 4 800, що достатньо для коректного детектування). У цьому випадку відрізнити пустий контейнер від заповненого неможливо, тому стеганоаналітичний алгоритм не працює на цифрових контентах малого розміру. У зв'язку з цим, приймемо, що областю застосування стеганоалгоритму будуть такі ЦВ, для яких загальна кількість 4×4 -блоків у матриці колірної складової кадру перевищить 4 000.

Висновки

У роботі запропонований стеганоаналітичний алгоритм детектування наявності/відсутності вбудови ДІ в послідовності ЦЗ/відеопослідовності, сформованої методом LSB з малою ППС (не більше 0.5 біт/піксель). Уточнені порогові значення для цифрових контейнерів, збережених у форматах із втратами, які дорівнюють $T_R = 19, T_G = 11, T_B = 12$ відповідно для червоної, зеленої та синьої колірних складових. Алгоритм є ефективним для ППС 0.5 та 0.25 біт/піксель, але критичним є розмір ЦЗ/кадру ЦВ. Встановлено, що при малих розмірах цифрового контейнеру стеганоалгоритм є неефективним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бобок И.И. Стеганоаналитический метод для цифрового сигнала-контейнера, хранящегося в формате с потерями / И.И. Бобок // Сучасний захист інформації. – 2011. – № 2. – С. 50–60.
2. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ : монография / А.В. Аграновский, А.В. Балакин, В.Г. Грибунин и др. – М. : Вузовская книга, 2009. – 220 с.
3. Bohme R. Advanced statistical steganalysis / R. Bohme. – Springer, 2010. – 302 p.
4. Alimoradi D. The effect of correlogram properties on blind steganalysis in JPEG images / D. Alimoradi, M. Hasanzadeh // Journal of computing and security. – 2014. – Vol. 1, No.1. – Pp. 39–46.
5. Visavalia S.R. Improving blind image steganalysis using genetic algorithm and fusion technique / Sarita R. Visavalia, Amit Ganatra // Journal of computer science. – 2014. – Vol. 1. – Pp. 40–46.
6. Yamini B. Blind steganalysis : to analyse the detection rate of stego images using different steganalytic techniques with support vector machine classifier / B. Yamini, R. Sabitha // International journal of computer applications. – 2014. – No. 2. – Pp. 22–25.
7. Manjunath C. Added and subtracted feature level video steganalysis in neighbor adaptive embedded / C. Manjunath, Mis. B. Sowjanya // International journal of professional engineering studies. – 2015. – Vol. 5. – Issue 2. – Pp. 308–316.

8. Ахметметьева А.В. Усовершенствование стеганоаналитического метода, основанного на анализе пространственной области цифровых контейнеров / А.В. Ахметметьева // Информатика и математические методы в моделировании. – 2015. – Т. 5. – № 4. – С. 367–375.

9. NRCS Photo Gallery // United States Department of Agriculture. Washington, USA [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://photogallery.nrcs.usda.gov>.

10. WallpapersCraft // Широкоформатные обои на рабочий стол, картинки, фото [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://wallpaperscraft.ru>.

Отримано 05.09.2016

Рецензент Рибальський О.В., д.т.н