

**УДК 631.356.02****Адамчук В.В.***д.т.н., академік НААН**ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»**Глеваха, Україна***E-mail:** *vvadamchuk@gmail.com***Булгаков В.М.***д.т.н., академік НААН**Національний університет біоресурсів і природокористування**Київ, Україна***E-mail:** *vbulgakov@meta.ua***Головач І.В.***д.т.н., професор**Національний університет біоресурсів і природокористування**Київ, Україна***E-mail:** *golovach@nubip.edu.ua***Борис М.М.***к.т.н., доцент**Подільський державний аграрно-технічний університет**Кам'янець-Подільський, Україна***E-mail:** *mvark@pdatu.edu.ua***Ігнат'єв Є.І.***асистент, кафедра машиновикористання в землеробстві**механіко-технологічний факультет**Таврійський державний агротехнологічний університет**Мелітополь, Україна***E-mail:** *yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua*

## **ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ НОВОЇ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ**

### **Анотація**

На підставі математичного моделювання безкопійного зрізу основної маси гички здійснений числовий розрахунок відходів цукроносної маси і залишків гички на головках коренеплодів цукрових буряків. В результаті проведеного розрахунку процесу безкопійного зрізу на персональному комп'ютері з використанням необхідних програм побудовані графіки залежностей відходів цукроносної маси та залишків гички від параметрів нормального розподілу висот виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту та висоти зрізу відносно поверхні ґрунту. На основі зазначених залежностей доведено, що при дотриманні агротехнічних вимог досягти необхідної якості збирання гички одним лише безкопійним зрізом неможливо. Тому нами запропонована нова технологічна схема відокремлення гички у дві стадії – безкопійний зріз гички на рівні високоразтошованих головок коренеплодів і наступного доочищення головок коренеплодів від залишків на корені. Наведені результати польових експериментальних досліджень, розробленої згідно нової технологічної схеми, гичкозбиральної машини. Доведено, що оптимальним режимом роботи такої машини є поступальна швидкість, що близька до  $2,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ .

**Ключові слова:** коренеплід, головка коренеплоду, гичка, безкопійний зріз, математична модель, гичкозбиральна машина.

**Вступ.** Збирання гички цукрових буряків є однією з найбільш технічно складних операцій у вирощуванні цієї культури. Завданням вітчизняного машинобудування є випуск бурякозбиральних машин, якість роботи яких повинна відповідати агротехнічним вимогам, а функціональні та експлуатаційні показники – знаходитись на рівні кращих світових зразків.

Конструктивна схема машини визначається агрофізичними властивостями коренеплодів та посівів, рівнем розвитку технологічного процесу та конструкцій робочих органів. Тому необхідно створити теоретичну модель процесу, у якій параметри технологічного процесу, коренеплодів та посіву будуть взаємопов'язані. Дослідження даної моделі дозволить визначити раціональну схему та параметри процесу відокремлення гички.

Розробка нових наукових методик для обґрунтування технологічних схем машин та конструкцій робочих органів, що покращать експлуатаційно-технологічні показники процесу збирання гички цукрових буряків є науково-технічною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питання дослідження способів зрізу гички цукрових буряків вивчалось Булгаковим В.М., Зуєвим М.М., Погорелим Л.В. і Топоровським С.А. та ін. [1-5]. Визначалась висота безкопінного зрізу гички за оптимальними значеннями відходів цукроносної маси в гичку для діючих закупівельних цін. Розподіл висот виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту моделювався нормальним законом, а форма головки коренеплоду – конусом, зрізаним конусом та сферою. Але дані дослідження носять досить наближений характер і їх неможливо використати для моделювання процесу безкопінного зрізу.

**Мета.** Підвищення ефективності технологічного процесу відокремлення гички коренеплодів цукрових буряків на корені шляхом розробки нової технологічної схеми двох стадійного її збирання однією гичкозбиральною машиною.

**Методологія дослідження.** При проведенні даного дослідження використані методи математичного моделювання, теорії ймовірностей і математичної статистики, методи проведення польових експериментальних досліджень, а також методи складання програм та числових розрахунків на персональному комп'ютері з наступним аналізом отриманих графічних залежностей.

**Результати.** Гичкозбиральні машини призначені для зрізання основної маси гички з коренеплодів, доочищення головок від незрізаних залишків, видалення гички та рослинних решток із зони дії викопувальних робочих органів. При збиранні цукрових буряків необхідно якісно і без пошкоджень коренеплодів відокремити гичку.

Останнім часом в багатьох зарубіжних гичкозбиральних машинах широко застосовують ротаційні різальні апарати для безкопінного зрізу основної маси гички. При цьому є багато конструкцій таких машин, в яких ножі можуть обертатися у вертикальній чи горизонтальній площинах. При обертанні ножів в горизонтальній площині зрізуються в основному пучки гички, які можна використати на корм. Але це значно ускладнює конструкцію гичкозбиральної машини, тому що вимагає встановлення валу з ножем на кожен рядок. Кількість привідних валів з ножами відповідає рядності гичкозбиральної машини. Якщо ножі обертаються у вертикальній площині, то вони не лише зрізують пучки гички, а й подрібнюють її. Гичка в такому стані стає непридатною для згодовування вже через декілька годин після збирання. Крім цього гичка забруднюється ґрунтовими домішками. В цьому випадку її необхідно розподілити на зібраному полі і використати як добриво. Для гичкозбиральної машини з обертанням ножів у вертикальній площині достатньо одного валу для приводу робочих органів, що значно спрощує конструкцію машини. Машини з такими робочими органами можуть виконувати зріз гички на високих робочих швидкостях, що при створенні

високоєфективних очисників головок коренеплодів відкриває шлях до підвищення продуктивності процесу збирання [6, 8].

Для вивчення можливостей безкопінного зрізу створена математична модель цього процесу [5]. Суть цієї моделі полягає в підрахунку, за допомогою методів чисельного інтегрування і теорії ймовірностей, відходів цукроносної маси та маси гички, що залишилися на коренеплодах внаслідок безкопінного зрізу на одиниці площі [9, 10].

Під терміном “відходи цукроносної маси” розуміється втрата частин головок коренеплодів внаслідок зрізу. Під терміном “залишки гички” розуміється та частина гички, яка залишилася на головці коренеплоду після зрізу.

Згідно даної моделі, розподіл висот виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту відповідає закону нормального розподілу [10]. Форма головки коренеплоду моделюється зрізаним конусом, а форма залишків гички – циліндром.

Відходи цукроносної маси (*ВМ*) і залишки (*ГМ*) гички визначаються відповідно за виразами:

$$BM \ h, h_3 = \sum_{i=1}^n \left[ N \cdot F \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \cdot \left( \frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j \cdot f \ h \right) \right], \quad (1)$$

$$GM \ h, h_3 = \sum_{i=1}^n \left[ N \cdot F_c \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \cdot \left( \frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j \cdot f \ h \right) \right], \quad (2)$$

де  $n$  – кількість інтервалів, на які розбивається зона зрізу головки коренеплоду;

$N$  – кількість коренеплодів на одиниці площі;

$F = f(h, h_3)$  – функція, за якою визначаються відходи цукроносної маси в певному інтервалі висот виступання головок коренеплодів;

$F_c = f_c(h, h_3)$  – функція, за якою визначаються залишки гички в певному інтервалі висот виступання головок коренеплодів цукрових буряків;

$h_i$  і  $h_{i+1}$  – межі інтервалу;

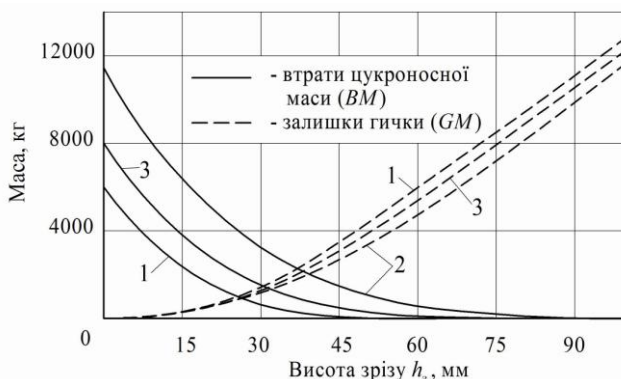
$c_j$  – члени ряду,  $c_j = 1, 4, 2, 4, 2, \dots, 2, 4, 1$ ;

$f(h)$  – функція щільності нормального розподілу.

$h_3$  – висота зрізу;

$h$  – висота розташування головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту.

В результаті використання виразів (1) і (2) були отримані нові теоретичні залежності для розрахунку відходів цукроносної маси та залишків гички на головках коренеплодів цукрових буряків при її збиранні. Було проведено моделювання процесу безкопінного зрізу на ПК з використанням програми Microsoft Office Excel та інтегрованого в неї середовища програмування VBA. За результатами числових розрахунків побудовано графіки залежностей відходів цукроносної маси та залишків гички від параметрів нормального розподілу висоти виступання головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту та висоти зрізу відносно поверхні ґрунту. Графіки залишків гички та відходів цукроносної маси при нормальному розподілі побудовано для реального математичного сподівання висот виступання головок коренеплодів  $m = 40$  мм і наведено на рис. 1.



**Рис. 1. Залежності втрат цукроносної маси (ВМ) та залишків гички (ГМ) на головках коренеплодів цукрових буряків при безкопінному зрізі гички від висоти зрізу ( $h_z$ ) над рівнем поверхні ґрунту з математичним сподіванням  $m = 10$  мм та для середньоквадратичного відхилення:  
1 –  $\sigma = 10$  мм; 2 –  $\sigma = 20$  мм; 3 –  $\sigma = 30$  мм**

Як видно з отриманих графіків, зі збільшенням висоти зрізу відносно поверхні ґрунту залишки гички на головках коренеплодів збільшуються, а втрати цукроносної маси при цьому, навпаки, зменшуються. При цьому, як видно з графіків залежності втрат цукроносної маси має тенденцію, близьку до експоненціальної залежності. Отримані графічні залежності також свідчать про те, що при висоті зрізу головок коренеплодів цукрових буряків над рівнем поверхні ґрунту 45 мм і більше втрати цукроносної маси будуть практичні відсутні.

Оскільки точка перетину графіків залежності втрат цукроносної маси та залишків гички поза межами агротехнічних вимог, по цих двох показниках, то можна зробити висновок, що досягти необхідної якості збирання гички при дотриманні агротехнічних вимог (допустимі відходи цукроносної маси, допустимі залишки гички на коренеплодах буряків) лише одним безкопінним зрізом неможливо. Тому необхідно використовувати додаткові пристрої для відокремлення гички, що залишилась на коренеплодах після зрізу.

В багатьох машинах іноземного та вітчизняного виробництва використовуються пасивні або активні дообрізчики головок коренеплодів. Використання цих робочих органів призводить до неповного дообрізання залишків гички і додаткових втрат цукроносної маси. Більш раціонально, на нашу думку, використовувати гнучкі доочищувальні робочі органи, виключаючи при цьому додаткові втрати цукроносної маси.

На основі проведених досліджень нами пропонується використовувати наступну технологічну схему відокремлення гички. Процес збирання гички здійснюється у дві стадії. Перша стадія – зрізання гички на рівні високорозташованих головок коренеплодів з одночасним її подрібненням і розкиданням по полю (або навантаженням у транспортний засіб, що рухається поряд). Друга стадія – доочищення головок коренеплодів. Першу стадію зрізання гички здійснюють роторні гичкорізи з горизонтальним валом і шарнірно підвішеними до нього ножами, другу – доочишники з високоефективними активними робочими елементами.

Для проведення польових досліджень нами розроблено і виготовлено трирядну машину, що здійснює відокремлення гички. Технологічний процес відокремлення гички складається з наступних операцій: 1) безкопінний зріз гички при відходах цукроносної

маси, що не перевищують 2% від загальної маси коренеплодів; 2) відокремлення решток гички копірним очисником. Машина складається з двох горизонтальних роторів (рис. 2). Передній, ріжучий ротор, виготовлений з використанням базових деталей та вузлів машини КДР - 1,5. На кожен рядок встановлено 8 П-подібних, шарнірно закріплених ножів для зрізання гички на фіксованій висоті відносно поверхні ґрунту.



**Рис. 2.** Дослідний зразок гичкозбиральної машини

За ріжучим ротором встановлено ротор доочисника з шарнірно встановленими прогумованими робочими елементами. Частота обертання ріжучого ротора  $1500 \text{ хв}^{-1}$ , очисного –  $950 \text{ хв}^{-1}$ . Конструкція машини передбачає можливість встановлення пасивних гичкопідіймників, що дещо покращує відокремлення гички. Гичка подрібнюється робочими органами ріжучого та очисного валів і розподіляється в рядках та міжряддях (рис. 3). Завдяки подрібненому стану легко просіюється на сепаруючих робочих органах коренезбиральної машини, не забруднюючи сировину зеленою масою. Напрямо обертання переднього і заднього валів проходить за рухом машини.



**Рис. 3.** Вигляд поля після проходу експериментальної машини для відокремлення гички цукрового буряку

Показники якості технології відокремлення гички визначали на залікових ділянках довжиною 20 м. Гичка з коренеплодів видалялася серійною та експериментальною машинами при швидкостях руху 1,3; 2,0; 2,5  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Швидкість руху коренезбиральної машини КС-6Б в обох випадках дорівнювала 2  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Проби для визначення якості роботи брали після КС-6Б на брезент, розташований у кузові транспортного засобу. Маса завалених коренеплодів визначалась після проходу очисників.

При дослідженні встановлено, що експериментальна гичкозбиральна машина, яка складається з гичкорізальної і доочисної частин, дозволяє здійснити технологічний процес відокремлення гички у більш широкому швидкісному діапазоні від 1,3 до 2,0 м·с<sup>-1</sup>. У той же час, при однакових умовах випробування, виробнича гичкозбиральна машина БМ-6Б задовільно здійснює технологічний процес збирання гички з показниками якості, близькими до агротехнічних вимог, при робочій швидкості до 1,3 м·с<sup>-1</sup>. Оптимальні швидкісні режими роботи дозволяють зробити висновок про те, що продуктивність експериментальної установки вища на 50...60% від гичкозбиральної машини типу БМ-6Б, що серійно виготовлялась.

Крім того, залишки зв'язаної гички на коренеплодах цукрових буряків після серійної гичкозбиральної машини типу БМ-6Б становлять 2,1%, що перевищує існуючий норматив. Відходи цукронової маси при зрізі гички становлять 3,6%, що також перевищує норматив на 2%. За показниками вибивання з ґрунту та пошкодження тіл коренеплодів якість роботи серійної гичкозбиральної машини близька до агротехнічних вимог.

Аналізуючи якість роботи експериментальної гичкозбиральної машини можна зробити висновок, що оптимальним режимом роботи є поступальна швидкість руху машини, близька до 2 м·с<sup>-1</sup>. При швидкості руху 1,3 м·с<sup>-1</sup> збільшується кількість взаємодій і пошкодження перевищують допустимі нормативні значення. При швидкості руху 2 м·с<sup>-1</sup> кількість зв'язаної гички збільшується до 2,9%, що перевищує норматив на 1,5%. Використання експериментальної гичкозбиральної машини на швидкостях руху, менших ніж 2 м·с<sup>-1</sup>, не є раціональним через збільшення питомих витрат енергії на одиницю забрудненості – відсоток зв'язаної гички на головках коренеплодів.

Кількість сильно пошкоджених коренеплодів цукрових буряків зменшується з 5,9 до 3,7% із збільшенням робочої швидкості експериментальної гичкозбиральної машини, а після проходження гичкозбиральної машини типу БМ-6Б, яка серійно виготовлялась, вона становить 6,0%.

Аналіз даних показує, що кількість високозрізаних коренеплодів після зрізу гички без копіювання їхніх голівок становила 37,3%, а при зрізі з копіюванням – 20,8%, що на 16,5% менше. Коренеплоди, на яких зрізана тільки гичка без голівок, менше ушкоджуються і при зберіганні менше піддаються впливу хвороботворних мікробів.

**Висновки і перспективи.** На підставі використання математичного моделювання проведені числові розрахунки відходів цукронової маси і залишків гички на головках коренеплодів цукрових буряків після суцільного безкопійного зрізу.

Теоретично обґрунтовано, що при дотриманні агротехнічних вимог до збирання гички неможливо досягти необхідної якості її збирання одним лише безкопійним зрізом.

Запропоновано нову технологічну схему двостадійного процесу відокремлення гички і розроблена та виготовлена відповідна експериментальна гичкозбиральна машина, яка складається з гичкозрізуючої і доочисної частин.

Польові експериментальні дослідження технологічного процесу відокремлення гички з головок цукрових буряків показали, що продуктивність експериментальної установки на 50-60% вища за гичкозбиральну машину марки БМ-6Б, що виготовляється серійно.

Оптимальним режимом роботи експериментальної гичкозбиральної машини є поступальна швидкість її руху, що близька до 2,0 м·с<sup>-1</sup>.

Кількість сильно пошкоджених коренеплодів цукрових буряків зменшується з 5,9 до 3,7% із збільшенням робочої швидкості експериментальної гичкозбиральної машини, а після проходження серійної машини БМ-6Б вона становить 6,0%. Кількість високозрізаних коренеплодів цукрових буряків після зрізу гички без копіювання їх голівок становить

37,3%, а при зрізі з копіюванням – 20,8%, тобто на 16,5% менше.

#### Список використаних джерел

1. Булгаков В. М. Бурякозбиральні машини. Київ : Аграрна наука, 2011. 352 с.
2. Погорельий Л. В. Татьяна Н. В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. Київ : Феникс, 2004. 232 с.
3. Хелемендик М. М. Напрями і методи розробки нових робочих органів сільськогосподарських машин. Київ : Аграрна наука, 2001. 280 с.
4. Зуев Н. М., Топоровский С. А. Бескопирный срез головок корнеплодов. *Сахарная свекла*. 1988. № 6. С. 42-45.
5. Топоровський С. А. Обґрунтування технологічного процесу і основних параметрів робочого органу для збирання гички цукрових буряків без копіювання голівок коренеплодів : автореф. на зд. вч. ступ. канд. техн. наук. Київ, 1988. 19 с.
6. Smith L. The effect of defoliation for flail configuration, speed and crown removal on sugarbeet yield, quality and profitability. *Sugarbeet Research and Extension Reports*. 1991. Vol. 22. P. 222-227.
7. Борис М. М. Моделювання процесу зрізу гички від коренеплодів цукрових буряків. *Збірник Наукових праць Національного аграрного університету. Перспективні технології вирощування та збирання цукрових буряків*. Том 2. Київ : НАУ, 1997. С. 77-80.
8. Ігнат'єв Є. І. Розробка нової конструктивно-технологічної схеми збирання гички цукрового буряку з використанням орно-просапного трактора. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 8. С. 67-71.
9. Фильчаков П. Ф. Справочник по высшей математике. Київ : Наукова думка, 1974. 743 с.
10. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва : Наука, 1964. 576 с.

*Дата надходження статті до редакції : 06.10.2017  
Рецензування 06.11.2017 Прийняття в друк: 14.12.2017*

#### **Adamchuk V.V.**

*Dr. Sc. (Technics), Professor, Academician  
National Scientific Centre "Institute of Agricultural Engineering and Electrification"  
Glevakha, Ukraine*

**E-mail:** *vvadamchuk@gmail.com*

#### **Bulgakov V.M.**

*Dr. Sc. (Technics), Professor, Academician  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
Kyiv, Ukraine*

**E-mail:** *vbulgakov@meta.ua*

#### **Golovach I.V.**

*Dr. Sc. (Technics), Professor  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
Kyiv, Ukraine*

#### **Boris M.M.**

*PhD (Technics), Associate Professor,  
State Agrarian and Engineering University in Podilya  
Kamianets-Podilskyi, Ukraine*

#### **Ihnatiev Ye.I.**

*Assistant, Department of Machine Use in Agriculture  
Tavria State Agrotechnological University  
Melitopol, Ukraine*

**E-mail:** *yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua*

## THEORETICAL JUSTIFICATION AND FIELD RESEARCH ON CONSTRUCTIVE SCHEME OF A NEW TOP HARVESTER

### Abstract

Digital calculation of sugar-bearing mass losses and remnants of tops at sugar beet crowns on the basis of mathematical modeling of non-sensing topping was carried out. The results of calculation of non-sensing topping are represented in dependency diagrams. Dependency diagram display a graphical view of relationships between sugar-bearing mass losses, remnants of tops and the parameters of normal distribution of sugar beet crown height over soil surface and cutting height according to soil surface. The study demonstrates that it is impossible to get the quality of beet tops harvesting with the help of non-sensing cut provided that the agro technical requirements are met. The author suggests a new technological scheme for a two-stage top separation. The first stage concerns non-sensing of high level sugar beet crowns. And the second stage is after-cleaning of beet roots. The results of field experimental studies on top harvester were developed according to new technological scheme. It can be concluded that optimal operation mode for such type of car is the travelling speed of about  $2.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Keywords:** sugar beet, root crop heads, beet tops, non sensing cut, mathematical model, defoliator unit.

### References

1. Bulhakov, V. M. (2011). Buriakozbyralni mashyny [Beet harvesters]. Kyiv : Ahrarna nauka, [in Ukr.]
2. Pogorelyj, L. V., & Tat'janko, N. V. (2004). *Sveklouborocnyje mashyny: istorija, konstrukcija, teorija, prognoz* [Beet harvesters: history, construction, theory, forecast]. Kyiv : Feniks [in Rus.]
3. Khelemendyk, M. M. (2001). Napriamy i metody rozrobky novykh robochykh orhaniv silskohospodarskykh mashyn [Directions and methods of developing new working bodies of agricultural machinery]. Kyiv : Ahrarna nauka. [in Ukr.]
4. Zuev, N. M., & Toporovskij, S. A. (1988). Beskopirnyj srez golovok korneplodov. *Saharnaja svekla*, 6, 42-45. [in Rus.]
5. Toporovskiy, S. A. (1988). Obgruntuvannia tekhnolohichnoho protsesu i osnovnykh parametriv robochoho orhanu dlia zbyrannia hychky tsukrovykh buriakiv bez kopiiuvannia holivok koreneplodiv : avtoref. na zdob. vchenoho stupenia kand. tekhnichn. nauk. Kyiv. [in Ukr.]
6. Smith, L. (1991). The effect of defoliator flail configuration, speed and crown removal on sugarbeet yield, quality and profitability. *Sugarbeet Research and Extension Reports*, Vol. 22, 222-227.
7. Borys, M. M. (1997). Modeliuvannia protsesu zrizu hychky vid koreneplodiv tsukrovykh buriakiv. *Zbirnyk Naukovykh prats Natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Perspektyvni tekhnolohii vyroshchuvannia ta zbyrannia tsukrovykh buriakiv*, 2, 77-80. [in Ukr.]
8. Ihnatiev, Ye. I. (2016). Rozrobka novoi konstruktyvno-tekhnolohichnoi skhemy zbyrannia hychky tsukrovoho buriaku z vykorystanniam orno-prosapnoho traktora. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 8, 67-71. [in Ukr.]
9. Fil'chakov, P. F. (1974). *Spravochnik po vyshej matematike*. Kyiv : Naukova dumka. [in Rus.]
10. Ventcel', E. S. (1964). *Teorija verojatnostej*. Moskow : Nauka. [in Rus.]

Received: October 06, 2017

Revision: November 6, 2017 Accepted: December 14, 2017