

УДК 631.353.7.001.41/.42

Корчак М.М.*к.т.н., доцент**кафедра ремонту машин та енергообладнання
Подільський державний аграрно-технічний університет
м. Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail : korchak07_80@mail.ru*

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОШУКОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ ГРУБОСТЕБЛОВИХ КУЛЬТУР

Анотація

В дослідженні визначено результати роботи подрібнювача, що показали динаміку впливу технологічних параметрів та режимів роботи на якісні показники. Визначено фактори, які найбільше впливають на показники якості роботи подрібнювача: глибина обробітку, частота обертання фрезерного барабана, швидкість руху агрегату. Обґрунтовано раціональні значення режимів роботи подрібнювача, за яких забезпечується максимальне значення ступеня кришення ґрунту, ступеня подрібнення та ступеня заробки рослинних залишків. Для обґрунтування приводу експериментальної установки подрібнювача досліджено залежність потужності на привод від його конструктивних параметрів та режимів роботи.

***Ключові слова:** комбінований подрібнювач, рослинні залишки грубостеблових культур, ґрунт, показники якості роботи подрібнювача, пошуковий експеримент, результати експериментальних досліджень.*

Вступ. Після збирання грубостеблових просапних культур важливе питання стоїть перед тим, як якісно провести обробіток ґрунту та підготувати поле під посів наступної культури, адже після збирання залишаються рослинні залишки, які потрібно вчасно і якісно заробити в ґрунт.

Обробіток полів, засмічених грубими рослинними рештками після збирання врожаю залишається проблемою, тому що: збільшились посіви грубостеблових культур; кукурудзу вирощують переважно на зерно без подрібнення стебел при збиранні врожаю; під час збирання зернових культур на полі залишається висока стерня (більше 20 см); з'явилося багато занедбаних або невчасно оброблених полів, які без подрібнення стебел обробити неможливо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз механізованих технологій обробітку ґрунту в різних ґрунтово-кліматичних зонах України показує, що обробіток ґрунту після збирання грубостеблових культур проводять переважно важкими дисковими боронами та лушильниками [1, 2], що призводить до негативних екологічних явищ, деградації структури ґрунту та зниження його родючості.

Теперішні технології передбачають окреме виконання подрібнення рослинних залишків на полі та основного обробітку ґрунту, що потребує значних енергетичних витрат, витрат часу та коштів [3-5].

За технологічним процесом та типами робочих органів засоби механізації обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур поділяють на дискові борони, лушильники, культиватори, фрези та комбіновані ґрунтообробні агрегати [6].

Вчені США розробили комбінований агрегат для обробітку ґрунту після збирання грубостеблових культур з подрібненням рослинних залишків (пат. США № 4522267 [7]), що складається з подрібнювача та чизельного культиватора. Привод здійснюється від ВВП трактора.

Для обробітку ґрунту після збирання грубостеблових культур у Південному відділенні УНДІМЕСГ створена комбінована фрезерна машина з активними і пасивними робочими органами, де основним робочим органом є двосекційний фрезерний барабан з двох'ярусним розміщенням ножів [8].

Відомий ґрунтообробний агрегат за а.с. 471075 [9], що містить фрезу, прикочувальний коток, пасивні робочі органи і регулюючий по висоті ротор з ножами, розміщеними між стійками пасивних робочих органів.

Розроблена ґрунтообробна машина за а.с. 523653 [10], що призначена для орієнтації рослинних залишків та подрібнення, складається з рами, опорних коліс з механізмом регулювання висоти, плоскорізальних робочих органів ножового ротора з горизонтальною віссю обертання, захисного кожуха та шлейф-волокуші. Привод роторів здійснюється від ВВП трактора.

Однак, існуючі комбіновані агрегати мають наступні недоліки:

- не повністю загортають подрібнені рослинні залишки в ґрунт;
- мають складну конструкцію та низьку технологічну надійність;
- маючи велику металомісткість, збільшують ущільнення ґрунту;
- не забезпечують екологічно чистої технології обробітку ґрунту.

Обробіток пасивними та активними робочими органами деяких агрегатів здійснюється на всю ширину захвату, що потребує додаткових затрат енергії. Агрегати не повністю пристосовані до деяких умов, які диктує стан аграрного сектору України (наприклад, такі умови як стан поля, можливість агрегатувати з тракторами нижчого класу, менші витрати пального на обробіток тощо).

Перспективним напрямком удосконалення існуючих комбінованих агрегатів є зменшення енергетичних витрат на виконання технологічного процесу та кількості проходів, зменшення металомісткості їх конструкцій, підвищення їх продуктивності, забезпечення необхідного обробітку без шкідливого впливу на екологію.

Метою даної публікації є аналіз пошукових експериментальних досліджень розробленого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур.

Результати. В основу розробки поставлена задача створення машини для обробітку поля після збирання грубостеблових культур шляхом поєднання пасивних розподільників, що працюють в зонах міжрядь, з фрезерними секціями в зонах рядків, що дозволяє забезпечити якісне подрібнення і загортання рослинних залишків по всьому фронту ширини захвату за один прохід агрегату; ефективне використання енергії, що витрачається на привод фрезерних барабанів, а тим самим досягти можливості збільшення ширини захвату агрегату та його продуктивності; залишити вирівняну поверхню поля.

У комбінованому подрібнювачі рослинних залишків грубостеблових культур, що містить раму, змонтовано фрезерні секції, розподільники, плоскі дискові ножі, прикочувальні котки та вирівнювальні щитки. Активні робочі органи розміщені лише на окремих ділянках – в зонах подрібнення (по рядках посіву). Подрібнення залишків по всьому фронту ширини захвату досягається за допомогою розподільників, які спрямовують розрізані стебла з міжрядь в зони подрібнення. Для втрамбування та ущільнення згорнутих рослинних залишків позаду розподільників по рядках посіву встановлені прикочувальні котки. Для запобігання забиванню розподільників встановлені дискові ножі.

Завдяки тому, що подрібнення відбувається в зонах рядків, енергія на фрезерування використовується ефективно (не використовується на обробіток в міжряддях). Вирівнювання поверхні поля досягається спрямуванням ґрунту фрезерними секціями по різні боки за допомогою вирівнювальних щитків.

Дослідний зразок подрібнювача залишків грубостеблових культур містить раму 1, на якій розташовані плоскі дискові ножі 2, розподільники 3, фрезерні секції 4, вирівнювальні щитки 5 та прикочувальні котки 6 (рис. 1).



Рис. 1. Дослідний зразок подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур КФП – 2,8

Фрезерні секції 4 включають приводи, фрезерні барабани з Г-подібними ножами та вирівнювальні щитки 5. Розподільники 3 – це розпушувальні лапи з напрямними стінками, які розміщені перед фрезерними секціями в міжряддях. Попереду машини встановлені закріплені на рамі 1 опорні колеса 7.

При переміщенні машини вздовж рядків поля після збирання грубостеблових культур, розподільники 3 рухаються в міжряддях, транспортуючи розрізані стебла в зони подрібнення (до рядків), де вони подрібнюються ножами фрезерних секцій 4 і перемішуються з ґрунтом. Забиванню розподільників 3 грубими залишками запобігають плоскі дискові ножі 2, що перерізують довгі стебла. Завдяки цьому рослинні залишки потрапляють на напрямні стінки розподільників, якими вони переміщуються. Прикочувальні котки 6 працюють по рядках посіву, ущільнюючи рослинні залишки, які були спрямовані розподільниками з міжрядь. Фрезерні барабани працюють в зонах подрібнення. Ґрунт і рослинні залишки, що відкидаються ножами, за допомогою напрямних ребер вирівнювальних щитків 5 розподіляються по фронту руху агрегату, вирівнюючи поверхню поля.

Запропонована схема комбінованого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур зменшує енерговитрати на обробіток, що дозволяє збільшити ширину захвату агрегату, підвищити його продуктивність, поліпшити показники якості обробітку, сприяє надійній роботі машини.

Для проведення пошукових досліджень було враховано можливість встановлення необхідних датчиків та можливості зміни рівнів факторів за допомогою набору змінних

деталей, позиційного встановлення окремих вузлів, а також введення дросельного управління гідроприводом подрібнювача.

Вибір елементів гідроприводу проводили виходячи із необхідної швидкості руху подрібнювача та розрахункової потужності на його привод. Після проведених розрахунків було прийнято наступні елементи гідроприводу (рис. 2): регулюючий пристрій 1 – дросель-витратомір ДР-70, 2 і 3 – датчики тиску тензометричні типу ТДД-100 та ТДД-200; силова установка 4 – гідромотор планетарний МГП-80.



Рис. 2. Елементи гідроприводу подрібнювача

Вигляд експериментального подрібнювача в транспортному положенні зображено на рис. 3. Привод фрезерних секцій подрібнювача здійснюється як від ВВП, так і від гідросистеми трактора.



Рис. 3. - Подрібнювач КФП – 2,8 в транспортному положенні

Новизну технічних рішень підтверджено деклараційними патентами України: №29342, № 31514, № 33819, № 33829, № 90538А, № 90535А [11–16].

Планування відсіюючого експерименту. Відсіюючий експеримент проводили на початковій стадії дослідження подрібнювача з метою виключення малозначущих факторів для скорочення послідуоучої кількості дослідів.

Суть експерименту полягає в тому, що, коли фактори розташувати в порядку зменшення долі, яку вносять в дисперсію критерію оптимізації, виникає ранжований ряд, що має вигляд зменшувальної експоненти.

Побудову ранжованого ряду проводили в два етапи. На початку проводили серію дослідів за складеною матрицею, а потім будували діаграму розсіювання для візуальної оцінки ступеню впливу факторів і оцінювали його кількісно. Перед побудовою матриці відсіюючого експерименту назначали рівні варіювання факторами і кодували їх знаками (+) та (-).

При побудові матриці відсіюючого експерименту методом випадкового змішування двох напівреплік, фактори, які розглядаються діляться на дві частини і з кожної частини будують напіврепліки. Для однієї половини факторів напіврепліка використовується повністю, а для других факторів строки матриці розподіляються по таблиці випадкових чисел. При цьому в першу половину слід розмістити ті фактори, які по апріорній інформації є найбільш вагомими. Це скорочує об'єм експериментів в послідуоучій стадії вирішення експериментальної задачі. Число дослідів (строк) в матриці відсіюючого експерименту вибирали кратним $2k$ і більшим числа $k+1$, де k – число факторів. Ця умова полегшує опрацювання і покращує аналіз результатів дослідів.

При складанні плану експерименту виділяли основні фактори, які впливають на досліджуваний процес, а також вибирали параметр оптимізації.

На основі проведеного аналізу результатів експериментальних досліджень засобів механізації та теоретичного дослідження подрібнювача, для проведення експериментальних досліджень були прийняті наступні змінні фактори, які в найбільшій мірі впливають на параметр оптимізації: частота обертання фрезерного барабана $n_{фр.бар}$, швидкість руху подрібнювача V_n , кут розкриття напрямних стінок розподільника 2α , кут нахилу вирівнювального щитка до ґрунтової поверхні α та глибина обробітку $H_{фр}$.

Вимірювання параметра оптимізації (ступеня подрібнення рослинних залишків) проводили у трьохкратній повторності.

На експериментальному зразку подрібнювача вивчався вплив різних факторів на робочий процес. Перелік взятих на облік факторів та їх рівнів зміни, показаний в таблиці 1.

Таблиця 1

Рівні та інтервали зміни факторів

Параметри	Глибина обробітку, $H_{фр}$, см	Частота обертання фрезерного барабана $n_{фр.бар}$, хв. ⁻¹	Швидкість руху агрегату V_n , м/с	Кут розкриття напрямних стінок розподільника, 2α , град	Кут нахилу вирівнювального щитка до ґрунтової поверхні α , град
Умовні позначення	X1	X2	X3	X4	X5
Верхній рівень (+1)	8,0	450	2,5	90	35
Нижній рівень (-1)	4,0	190	1,5	65	25

З метою скорочення загального об'єму дослідів ставили відсіюючий експеримент. Матрицю планування відсіюючого експерименту з п'яти факторів будували шляхом змішування систематичних дробних реплік від повного факторного експерименту (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця відсіюючого експерименту

№	Фактор в кодовому позначенні				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
1	–	–	–	+	+
2	+	–	–	–	+
3	–	+	–	+	–
4	+	+	–	–	–
5	–	–	+	–	–
6	+	–	+	+	–
7	–	+	+	+	+
8	+	+	+	–	+

За результатами середніх значень будували діаграму розсіювання результатів спостережень по рівнях факторів.

Ступінь впливу фактора оцінювали за діаграмою розсіювання візуально, за різницею між середніми значеннями для рівнів (в якості середнього брали медіану значень) і за кількістю точок, що виділялися.

Ефекти факторів кількісно оцінювали за допомогою таблиць з двома входами. В клітинах записували фактори, які оцінюються з рівнями варіювання і результати дослідів (значення критерію оптимізації, отриманого в тому чи іншому поєднанні рівнів факторів). Величина ефектів факторів

$$x_i: x_i = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 + \dots + \bar{y}_n}{k_i} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 + \dots + \bar{y}_{n+1}}{k_i}, \quad (1)$$

де $\bar{y}_1, \bar{y}_3, \bar{y}_5, \dots, \bar{y}_n$ – середні значення параметра оптимізації в кожній клітинці таблиці для рівня фактора (+);

$\bar{y}_2, \bar{y}_4, \bar{y}_6, \dots, \bar{y}_{n+1}$ – середні значення параметра оптимізації в кожній клітині таблиці для рівня фактора (–);

k_i – число середніх значень параметра оптимізації \bar{y}_n .

Після розрахунку ефектів виділених факторів перевіряли їх значимість по t -критерію, який визначається за формулою:

$$t = \frac{(\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \dots + \bar{y}_n) - (\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \dots + \bar{y}_{n+1})}{S_R \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}}, \quad (2)$$

де S_R – середньоквадратична похибка розсіювання.

Значення S_R визначали за формулою:

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i}}{n_i - 1}}, \quad (3)$$

де n_i – кількість спостережень в i -й клітині таблиці з декількома входами.

Обчислення t -критерію проводили звівши усі результати у таблицю.

Після виявлення ефектів декількох факторів коректували результати відсіюючих експериментів для чіткішого виділення ефектів менш сильних факторів і парних взаємодій. Коректування проводили додаванням з протилежним знаком ефектів виділених факторів до результатів відсіюючих експериментів. При відсіючому експерименті дається груба, наближена оцінка впливу факторів.

Для вивчення агротехнічних та енергетичних показників роботи експериментальної установки подрібнювача у відповідності із методикою проведення дослідів після збирання кукурудзи на дослідному полі Інженерно-технічного факультету Подільського державного аграрно-технічного університету були проведені лабораторно-польові дослідження дослідного зразка та характеру засміченості поля [17]. Згідно методики експериментальних досліджень з метою зменшення трудомісткості та збільшення ефективності досліджень основним дослідженням передували відсіюючі експерименти.

В ході підготовки до проведення відсіюючих експериментальних досліджень була перевірена працездатність та надійність конструкції експериментальної установки та визначені допустимі конструктивні параметри та режими роботи подрібнювача. Вимірювання параметра оптимізації (коефіцієнта подрібнення рослинних залишків) проводились у трьохкратній повторності (табл. 3).

Таблиця 3

Результати відсіюючого експерименту

№	Фактор в кодовому позначенні					Значення параметра оптимізації			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y
1	-	-	-	+	+	0,4896	0,4794	0,4869	0,4853
2	+	-	-	-	+	0,7696	0,7539	0,7776	0,7738
3	-	+	-	+	-	0,6077	0,6136	0,6179	0,6131
4	+	+	-	-	-	0,9594	0,9671	0,9767	0,9676
5	-	-	+	-	-	0,8566	0,8655	0,8429	0,8550
6	+	-	+	+	-	0,5771	0,5687	0,5837	0,5765
7	-	+	+	+	+	0,5870	0,5921	0,5746	0,5846
8	+	+	+	-	+	0,9877	0,9745	0,9786	0,9803

Дані таблиці 3 свідчать про те, що подрібнення рослинних залишків відбувається досить активно, досягаючи максимального значення 0,98 %.

За результатами середніх значень побудована діаграма розсіювання (рис. 4). За діаграмою розсіювання візуально оцінювався ступінь впливу фактора, за різницею між середніми значеннями для рівнів і за кількістю точок, що виділяються [18]. Ефекти факторів кількісно оцінювались за допомогою таблиць з двома входами (табл. 4).

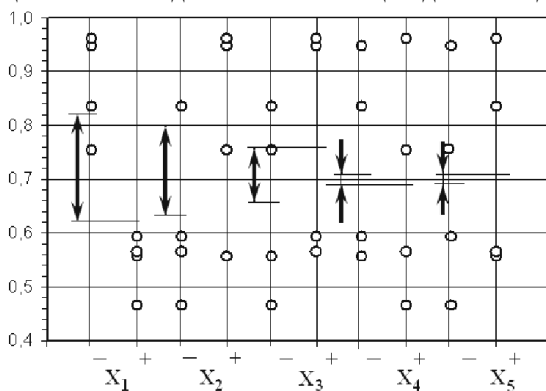


Рис. 4. Діаграма розсіювання результатів спостережень по рівнях факторів

Таблиця 4

Таблиця з двома входами для обчислення ефектів факторів X_1 та X_2

Оцінюваний фактор	+ X_1	- X_1
+ X_2	0,6131	0,4853
	0,5846	0,5765
	$\sum y_i = 1,1977$ $\bar{y}_1 = 0,5988$	$\sum y_i = 1,0618$ $\bar{y}_1 = 0,5309$
- X_2	0,9676	0,7738
	0,9803	0,8550
	$\sum y_i = 1,9479$ $\bar{y}_1 = 0,9739$	$\sum y_i = 1,6288$ $\bar{y}_1 = 0,8144$

Результати розрахунку t -критерію для факторів X_1 , X_2 та X_3 наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Таблиця для розрахунку t -критерію

№ клітинки	$\sum y_i$	$(\sum y_i)^2$	$\sum y_i^2$	n_i	S_R^2	$\frac{S_R^2}{n_i}$
1	1,1977	1,4344	0,7172	2	0,001309	0,00065
2	1,9479	3,7943	1,8971	2	0,006261	0,00313
3	1,0618	1,1274	0,5637	2	0,000062	0,00003
4	1,6288	2,6529	1,3264	2	0,003416	0,00170

Після виявлення ефектів декількох факторів проводили коректування результатів відсіюючих експериментів для того, щоб чіткіше виділити ефекти інших, менш сильних факторів і парних взаємодій. Коректування проводили шляхом додавання з протилежним знаком ефектів виділених факторів до результатів відсіюючих експериментів (табл. 6).

Таблиця 6

Відкоректовані результати відсіюючого експерименту

№	Фактор в кодовому позначенні					Значення параметра оптимізації
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	
1	-	-	-	+	+	0,69264
2	+	-	-	-	+	0,98111
3	-	+	-	+	-	0,58326
4	+	+	-	-	-	0,93792
5	-	-	+	-	-	0,78694
6	+	-	+	+	-	0,50844
7	-	+	+	+	+	0,75366
8	+	+	+	-	+	0,94452

Аналіз відкоректованих результатів показує, що крім виділених факторів X_1 та X_2 досить високий вплив на параметр оптимізації має ще й фактор X_3 , а також парні взаємодії факторів X_1X_2 та X_2X_3 .

Отже, при плануванні та проведенні повного факторного експерименту, слід враховувати, що найбільший вплив на ступінь подрібнення рослинних залишків мають глибина обробітку – $H_{фр}$, частота обертання фрезерного барабана – $n_{фр.бар.}$, швидкість руху агрегату V_n та парні взаємодії цих факторів.

Результати впливу технологічних параметрів подрібнювача на якість роботи. Після проведення попередніх відсіюючих експериментів відповідно до методики проведення досліджень після збирання кукурудзи на дослідному полі ПДАТУ були проведені польові дослідження (рис. 5). В результаті складено акти проведення досліджень.



Рис. 5. Експериментальна установка подрібнювача під час проведення польових досліджень

Показниками якісної роботи подрібнювача є: ступінь кришення ґрунту, ступінь подрібнення та ступінь заробки рослинних залишків. Для виробітку рекомендацій по оптимальним і допустимим режимам роботи подрібнювача по критеріям кришення ґрунту, подрібнення та заробки рослинних залишків були проведені дослідження впливу на них глибини обробітку, швидкості руху та частоти обертання фрезерного барабана.

Відповідно агрономог рівень агродопуску по кришенню знаходиться в межах 71 – 90 % [19]. Межі варіювання факторів вибирались по умові реально можливих режимів роботи і по даним попередніх дослідів.

Аналіз дослідних даних показав, що ступінь кришення ґрунту збільшується в залежності від частоти обертання фрезерного барабана і для кожної передачі досягає максимуму при відповідному значенні. Так, при глибині фрезерування $H_{фр} = 8$ см і вологості $W = 17,4$ % для поступальних швидкостей $V = 1,0$ м/с; $V = 1,5$ м/с; $V = 2,0$ м/с оптимальна частота обертання становить $n_{фр.бар.} = 290$ хв⁻¹; $n_{фр.бар.} = 320$ хв⁻¹; $n_{фр.бар.} = 360$ хв⁻¹.

Збільшення поступальної швидкості в певних межах створює покращення кришення ґрунту. Але в цьому випадку також спостерігається оптимальна зона поступальної швидкості (рис. 6).

При частоті обертання фрезерного барабану $n_{фр.бар.} = 340$ хв⁻¹ оптимальна швидкість рівна $V = 1,6$ м/с. З графіка видно, що ступінь кришення залежить від глибини фрезерування. При збільшенні глибини кришення ґрунту покращується.

Проведені досліді дозволили вибрати межі варіювання факторів: частота обертання $n_{фр.бар.} = 240 - 430$ хв⁻¹, робоча швидкість $V = 1,0 - 2,2$ м/с, глибина фрезерування $H_{фр} = 2 - 8$ см.

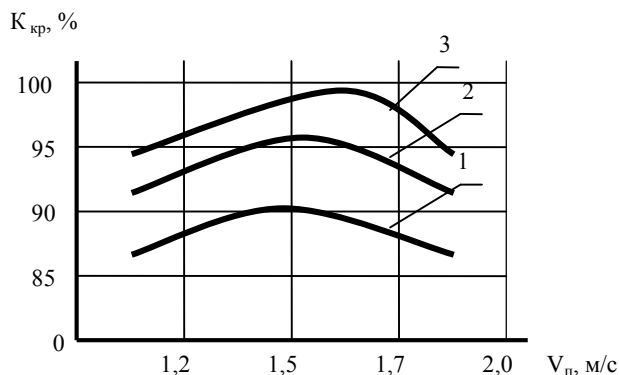


Рис. 6. Залежність ступеня кришення ґрунту $K_{кр}$ від поступальної швидкості подрібнювача V_p : 1 – $H_{фр} = 4$ см; 2 – $H_{фр} = 6$ см; 3 – $H_{фр} = 8$ см; $n_{фр.бар.} = 340$ хв⁻¹; $W = 17,4$ %

Таким чином, на ступінь кришення ґрунту найбільш інтенсивно впливає частота обертання фрезерного барабана.

Для створення нормального режиму ґрунту необхідно забезпечити подрібнення рослинних залишків та їх заробку. У комбінованому подрібнювачі це питання вирішується завдяки наявності фрезерних секцій та їх високій обертовій здатності.

Ступінь подрібнення та заробки рослинних залишків залежить в основному від кінематичного режиму роботи (частоти обертання фрезерного барабана і поступальної швидкості), а також глибини обробітку.

Спостерігається пряма залежність ступеня подрібнення та ступеня заробки рослинних залишків від частоти обертання фрезерного барабана (рис. 7, рис. 8) – максимальна, а в більшості випадків повне подрібнення та заробка органічної маси спостерігались для кожної швидкості руху при відповідній частоті обертання. Оптимальне значення частоти обертання по ступеню подрібнення, ступеню заробки та ступеню кришення ґрунту практично знаходяться в одних межах. Зниження ступеня заробки органічної маси після перевищення оптимального значення частоти обертання фрезерного барабана не спостерігалось і знаходилось на одному (максимальному) рівні. Це пояснюється тим, що навіть при зниженні активності взаємодії ножів фрезерного барабана з пластом при переході оптимальної зони, кінетична енергія подрібненого пласта достатня для часткового покриття частинками ґрунту рослинних залишків.

Ступінь заробки органічної маси в функції від поступальної швидкості подрібнювача апроксимується прямими математичними залежностями.

Аналізуючи графік (рис. 8), бачимо, що збільшення поступальної швидкості агрегату в певних межах покращує ступінь заробки рослинних залишків. На глибині 8 см. задовільна заробка спостерігається при більших швидкостях руху.

Енергетична оцінка роботи подрібнювача. Для визначення впливу експлуатаційних параметрів – робочої швидкості подрібнювача, частоти обертання фрезерного барабана і глибини фрезерування на енергетичні показники були проведені польові досліді з використанням тензообладнання, встановленого на польовій установці.

Таким чином по результатам тензометрування фрези отримані енергетичні показники.

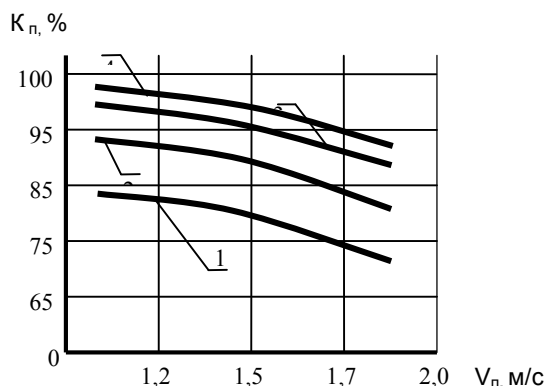


Рис. 7. Залежність ступеня подрібнення рослинних залишків K_n від поступальної швидкості подрібнювача V_n : 1 – $H_{фр} = 2$ см; 2 – $H_{фр} = 4$ см; 3 – $H_{фр} = 6$ см; 4 – $H_{фр} = 8$ см; $n_{фр.бар.} = 430$ хв⁻¹; $W = 17,4$ %

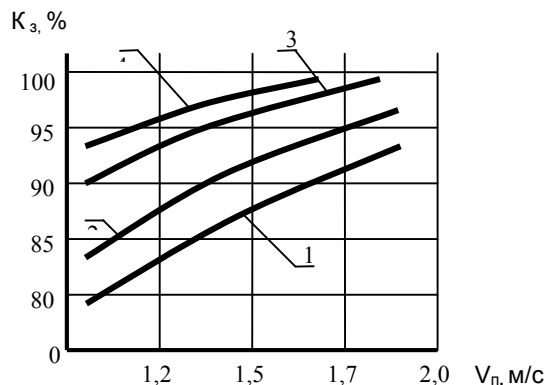


Рис. 8. Залежність ступеня заробки рослинних залишків K_z від поступальної швидкості подрібнювача V_n : 1 – $H_{фр} = 2$ см; 2 – $H_{фр} = 4$ см; 3 – $H_{фр} = 6$ см; 4 – $H_{фр} = 8$ см; $n_{фр.бар.} = 430$ хв⁻¹; $W = 17,4$ %

Потужність на привод фрези залежить від кінематичного режиму роботи і глибини фрезерування. Збільшення необхідної потужності на привод фрези при збільшенні глибини обробітку пояснюється зростанням кількості ґрунту, що поступає на фрезу (висота стружки).

Залежність потужності на привод фрезерного барабана від поступальної швидкості та глибини обробітку зображено на рис. 9 та 10. Максимальне значення потужності при максимальних агротехнічно допустимих значеннях поступальної швидкості, частоті обертання фрезерного барабана і глибини не перевищує 2,4 кВт.

Необхідна потужність для приводу фрезерних секцій збільшується із зростанням поступальної швидкості, частоти обертання і глибини обробітку. Крутний момент має максимальне значення по частоті обертання, що співпадає з оптимальним значенням по кришенню ґрунту. Максимальне значення моменту склало 65 Н·м, а потужність – біля 2,4 кВт.

При швидкостях руху V_n експериментальної установки подрібнювача 1,11 м/с, 1,58 м/с, 1,83 м/с, 2,17 м/с, 2,56 м/с тяговий опір $R_{агр}$ становив 4,586 кН, 5,214 кН, 6,104

кН, 6,948 кН, 8,247 кН відповідно.

Залежність тягового опору експериментальної установки подрібнювача $R_{азр.}$ від поступальної швидкості V_n та глибини обробітку $H_{фр.}$ зображено на рис. 11 та 12.

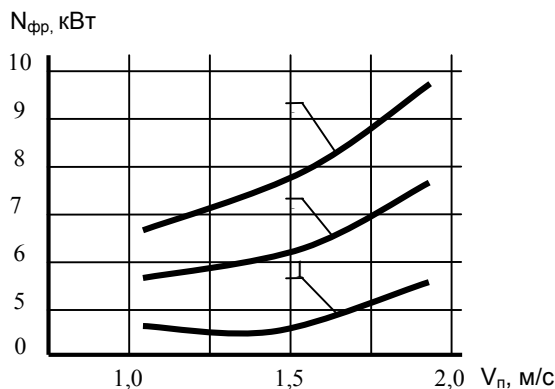


Рис. 9. Залежність потужності на привод фрезерних барабанів $N_{фр. заг.}$ від поступальної швидкості подрібнювача V_n : 1 – $H_{фр} = 4$ см; 2 – $H_{фр} = 6$ см; 3 – $H_{фр} = 8$ см; $n_{фр.бар.} = 430$ хв⁻¹; $W = 17,4$ %

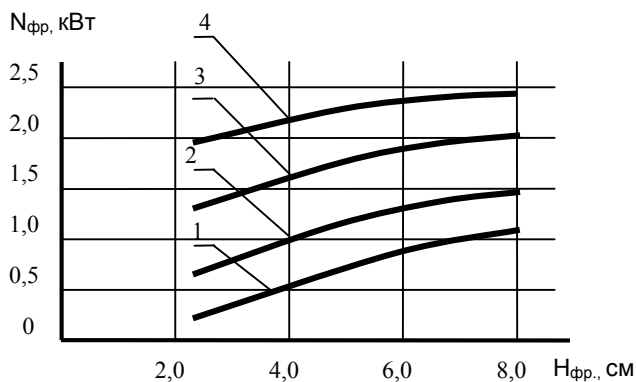


Рис. 10. Залежність потужності на привод фрезерного барабана $N_{фр.}$ від глибини фрезерування $H_{фр.}$: 1 – $V_n = 1,0$ м/с; 2 – $V_n = 1,5$ м/с; 3 – $V_n = 2,0$ м/с; 4 – $V_n = 2,5$ м/с; $n_{фр.бар.} = 430$ хв⁻¹; $W = 17,4$ %

Висновки і перспективи. 1. Аналіз існуючих механізованих технологій обробітку ґрунту в різних ґрунтово-кліматичних зонах України показав, що обробіток ґрунту після збирання грубостеблових культур проводять переважно дисковими боронами та лущильниками, що призводить до негативних екологічних явищ, деградації структури ґрунту та зниження його родючості. Крім того, одного обробітку стерні грубостеблових культур пасивними робочими органами недостатньо, а повторне дискування або лущення пов'язане із значними енергетичними витратами, витратами часу та коштів;

2. Проаналізовано наукові розробки комбінованих подрібнювачів рослинних залишків грубостеблових культур.

3. Створено нову технологію обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур та комбінований подрібнювач для її реалізації з

оптимально обґрунтованою конструкцією, яка дає змогу забезпечити якісний енергоощадний та економний обробіток, а також підвищити родючість ґрунту шляхом подрібнення та заробки рослинних залишків, які є важливою органічною сировиною для відтворення гумусу.

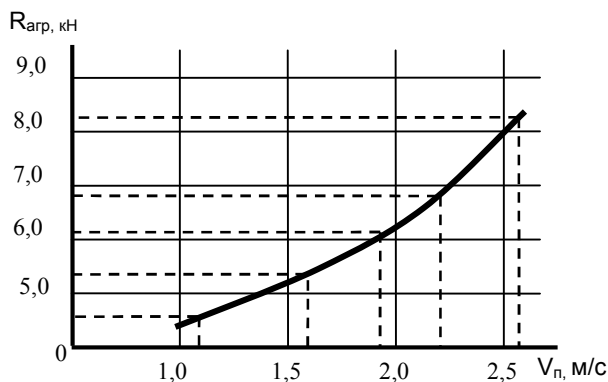


Рис. 11. Залежність тягового опору експериментальної установки подрібнювача $R_{арр}$ від поступальної швидкості V_p : $H_{фр} = 8$ см; $n_{фр.бар} = 430$ хв⁻¹

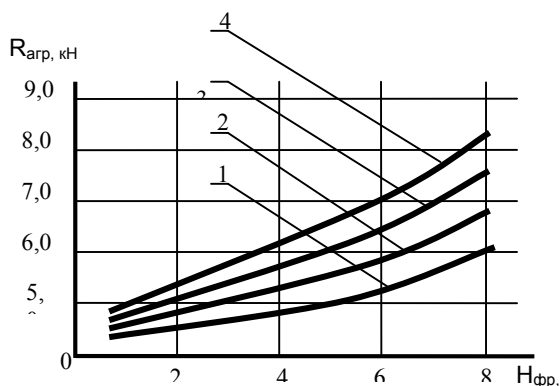


Рис. 12. Залежність тягового опору експериментальної установки подрібнювача $R_{арр}$ від глибини обробітку $H_{фр}$: 1 – $V_p = 1,0$ м/с; 2 – $V_p = 1,5$ м/с; 3 – $V_p = 2,0$ м/с; 4 – $V_p = 2,4$ м/с; $n_{фр.бар} = 430$ хв⁻¹

4. Визначено результати роботи подрібнювача, що показали динаміку впливу технологічних параметрів та режимів роботи на якісні показники.

5. Визначено фактори, які найбільше впливають на показники якості роботи подрібнювача: глибина обробітку $H_{фр}$, частота обертання фрезерного барабана $n_{фр.бар}$, швидкість руху агрегату V_a .

6. Отримано результати впливу робочих, конструктивних і експлуатаційних параметрів подрібнювача на агрономічні та енергетичні показники, які дозволили отримати межі реально можливих значень глибини обробітку, поступальної швидкості агрегату і частоти обертання фрезерного барабана.

7. Опрацювавши експериментальні дані обґрунтовано раціональні значення режимів роботи подрібнювача: глибина обробітку $H_{фр} = 6 - 8$ см, частота обертання фрезерного барабана $n_{фр.бар} = 275...450$ хв⁻¹, швидкість руху агрегату $V_a = 4,5...6,5$ км/год,

за яких забезпечується максимальне значення ступеня кришення ґрунту $K_{кр} = 96 - 98\%$, ступеня подрібнення рослинних залишків $K_{п} = 96 - 98 \%$ та ступеня заробки рослинних залишків $K_3 = 98 - 99 \%$.

8. Для обґрунтування приводу експериментальної установки подрібнювача досліджено залежність потужності на привод від його конструктивних параметрів та режимів роботи. Встановлено, що в області раціональних режимів роботи подрібнювача потужність на його привод N_n становить 8,5...9,5 кВт.

Список використаних джерел

1. Циков В.С., Матюха Л.А. Интенсивная технология возделывания кукурузы. М.: Агропромиздат, 1989. 247 с.
2. Рубін С.С. Загальне землеробство. К. : Вища шк.: Гол. вид-во, 1976. 432 с.
3. Панов И.М., Орлов Н.М. Основные пути снижения энергозатрат при обработке почвы. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1987. № 8. С. 27–30.
4. Тудель В.Н., Шабала Н.А. [и др.]. Индустриальная технология производства кукурузы. М. : Россельхозиздат, 1983. 318 с.
5. Мельник І., Гречкосій В., Марченко В. Комплексна механізація виробництва соняшнику. Пропозиція . 2004. № 11. С. 40–41.
6. Антонов А.П., Кабаков Н.С., Щербина П.А., Гаврюшин В.И. Комбинированные сельскохозяйственные агрегаты. Альбом-справочник. М. : Россельхозиздат, 1975. 183 с.
7. Пат. 4522267, США, МКИ А01В 49/04. Shredder / plow combination / Lew son Richard A., Ronald D. Wetherell. – № 448937; Заявл. 13.12.82; Оpubл. 11.06.85; НКІ 172/28.
8. Кочев В.И. Комбинированные почвообрабатывающие машины. Техника в сельском хозяйстве. 1979. № 12. С. 13–14.
9. А.с. 471075, СССР, МКИ А01В49/02. Почвообрабатывающий агрегат / Спирин А.П., Яцук Е.П., Марченко О.С., Грицик М.И., Никонов П.К., Боронихин Г.И., Орлов В.П., Поляков А.Г., Пархоменко В.А., Шестопапов В.Г., Тарасов В.П. – № 1913771; заявл. 26.04.73; опубл. 25.05.75, Бюл. № 19.
10. А.с. 523653, СССР, МКИ А01В49/02, А01В31/00. Почвообрабатывающая машина / Жук А.Ф., Кабаков Н.С., Гогунский Г.Г., Гильштейн П.М., Сонис З.Г., Марченко О.В., Холяво Ч.А., Кирюхин В.Г., Панов И.М. – № 1907397; заявл. 13.04.73; опубл. 05.08.76, Бюл. № 29.
11. Пат. 29342, Україна, МПК А 01 В 33/00. Фрезерний подрібнювач кореневих та листостеблових залишків / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В., Говоров О.Ф. № u200710230; заявл. 14.09.2007; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.
12. Пат. 31514, Україна, МПК А 01 В 33/00. Подрібнювач кореневих та листостеблових залишків / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В., Говоров О.Ф. № u200714212; заявл. 18.12.2007; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.
13. Пат. 33829, Україна, МПК А 01 В 33/00. Комбінований культиватор-подрібнювач / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В. – № u200803382; заявл. 17.03.2008; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.
14. Пат. 33819, Україна, МПК А 01 В 33/00 Комбінований фрезерний культиватор-подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В. – № u200803323; заявл. 17.03.2008; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.
15. Пат. 90538, Україна, МПК А 01 В 33/00. Спосіб звільнення поля від рослинних залишків грубостеблових культур / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В., Яковенко А.І. – № a2008 04264; заявл. 04.04.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
16. Пат. 90535, Україна, МПК А 01 В 49/02 (2006.01). Комбінований подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В. № a2008 03070; заявл. 11.03.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
17. Корчак М.М., Єрмаков С.В. Дослідження характеру засміченості поля листостебловими та кореневими залишками після збирання кукурудзи. Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Кам'янець-Подільський, 2007. Вип. 15. С. 498–504.
18. Налимов В.В. Статистические методы планирования экспериментов. М. : Наука, 1970. 378 с.

19. Орманжи К.С. Правила производства механизированных работ в полеводстве [2-е изд., перераб. и доп.]. М. : Россельхозиздат, 1983. 285 с.

*Дата надходження статті до редакції: 10.10.2016
Рецензування 27.10.2016 Прийнято до друку: 23.11.2016*

Korchak M.M.

*Ph.D. (in Engineering), Associate Professor
Department of machines and power equipment repair
State Agrarian and Engineering University in Podilya
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail : korchak07_80@mail.ru*

RESEARCH ON ROUGH-STEM CULTURE SHREDDER

Abstract

The aim of given publication is to analyze the experimental researches on grinder residues of rough-stem crops.

When cultivating ground after harvesting rough-stem crops, the operation is complicated by rough-stem crops after cutting nearby root parts and stems, as a main object of cultivation isn't only soil but plant rests that are grinded as well. Improvement in cultivation of field littered with plant rests of rough-stem crops after their harvesting are carried out by means of combined consecutive processes of influence upon plant residues and soil that allows to ensure: qualitative field cultivation, grinding and burying plant residues on the entire front of width gripping per a single aggregate passing; effective utilization of energy that is spent for drive of devices for grinding residues and thus to achieve the possibility for increasing the width of gripping of aggregate and its productivity, to make field surface.

There was also elaborated power saving and ecologically effective technology of soil cultivation littered with plant residues of rough-stem crops, as well as a grinder for its realization. There was grounded a sequence of fulfillment and structure of technological processes of combined way in field cultivation littered with plant rests. The technology elaborated provides grinding and burying plant residues of rough-stem crops at effective energy utilization, that is spent for grinding, left levelled surface of field as it consists of combined technological processes of cutting and distributing of long and rough stems, compacting gathered mass, grinding plant residues together with the ground and levelling field surface. Processes of cutting and distributing long-and-rough plant residues are taken place in row widths where the processes of compaction, grinding and levelling in rows of sowings. Such sequence in carrying out the technological processes enables substantially reduce the power expenses and improve the cultivation quality. It identifies the factors that most affect the quality indicators grinder operation: depth of cultivation, milling drum speed, movement speed of the machine. As a result of analysis of experimental data justified rational values grinder modes, which provides a maximum degree of soil crumbling, fineness and degree of embedding plant rests.

A technology of cultivation where soil is littered with rough-stem crops residues and a mincing machine (grinder) for its utilization with basing construction that ensures a qualitative power saving, ecologically effective and economy cultivation, as well as improves soil fertility with the method of grinding and with plant rests burying was found.

Key words: *combined cutter, vegetable tailings of roughstem cultures, soil, indexes of quality of work of cutter, searching experiment, results of experimental researches.*

References

1. Cykov, V.S., & Matjuha, L.A (1989). *Yntensyvnaja tehnologyja vozdeljvanyja kukuruzы* [Intensive technology of cultivation of maize]. Moscow : Agropromyzdat.
2. Rubin, S.S. (1976). *Zagal'ne zemlerobstvo* [General farming]. Kyiv : Vyshha shkola: Gol. vyd-vo.
3. Panov, Y.M., & Orlov, N.M. (1987). *Osnovnye puty snyzhenyja energozatrat pry obrabotke*

почвы [Basic ways of reducing energy consumption when processing soil]. *Тракторы у sel'skoho zjajstvennyh mashyny*, 8, 27–30.

4. Tudel', V.N., Shabala N.A. et al. (1983). *Yndustrial'naja tehnologija proyzvodstva kukuruzy* [Industrial production technology of maize]. Moscow : Rossel'hozyzdat.

5. Mel'nyk, I., Grechkosij, V., & Marchenko, V. (2004). Kompleksna mehanizacija vyrobnyctva sonjashnyku [Mechanization production of sunflower]. *Propozycja*, 11, 40–41.

6. Antonov, A.P., Kabakov, N.S., Shherbyna, P.A., & Gavrjushyn, V.Y. (1975). *Kombynyrovannye sel'skoho zjajstvennyh agregaty*. Al'bom-spravochnyk [Combined agricultural units. Album directory]. Moscow : Rossel'hozyzdat.

7. Lew son Richard A., Ronald D. Wetherell (1985). U.S. Patent № 4522267. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

8. Kochev, V.Y. (1979). *Kombynyrovannye pochvoobrabatyvajushhye mashyny* [Combined tilling machine]. *Tehnyka v sel'skom hozjajstve*, 12, 13–14.

9. Spyrin, A.P., Jacuk, E.P., Marchenko, O.S., Grycyk, M.Y., Nykonov, P.K., Boronyhyn, G.Y. ... Tarasov V.P. *USSR Avtorskoe svydetel'stvo № 471075*, MKY A01V49/02. *Pochvoobrabatyvajushhyj agregat* [Cultivator/Spirin].

10. Zhuk, A.F., Kabakov, N.S., Gogunskij, G.G., Gyl'shtejn, P.M., Sonys, Z.G., Marchenko, O.V., Holjavo Ch.A., Kyruhyn V.G., & Panov Y.M. (1976). *USSR Avtorskoe svydetel'stvo № 523653*, MKY A01V49/02, A01V31/00. *Pochvoobrabatyvajushhaja mashyna* [Tillage machine/Beetle].

11. Korchak, M.M., Bendera, I.M., Jermakov, S.V., Govorov, O.F. (2008). *Ukraine Patent № 29342*, MPK A 01 V 33/00. *Frezernyj podribnjuvach korenevych ta lystosteblovyh zalyshkiv* [Milling cutter root and listosteblovyh residues]. Kyiv-42, Derzhavne pidpryjemstvo «Ukrai'ns'kyj instytut intelektual'noi' vlasnosti» (Ukrpatent).

12. Korchak, M.M., Bendera, I.M., Jermakov, S.V., & Govorov, O.F. (2008). *Ukraine Patent № 31514*, MPK A 01 V 33/00. *Podribnjuvach korenevych ta lystosteblovyh zalyshkiv* [The chopper top and listosteblovyh residues]. Kyiv-42, Derzhavne pidpryjemstvo «Ukrai'ns'kyj instytut intelektual'noi' vlasnosti» (Ukrpatent).

13. Korchak, M.M., Bendera, I.M., & Jermakov, S.V. (2008). *Ukraine Patent № 33829*, MPK A 01 V 33/00. *Kombinovanyj kul'tyvator-podribnjuvach* [A combined cultivator chopper]. Kyiv-42, Derzhavne pidpryjemstvo «Ukrai'ns'kyj instytut intelektual'noi' vlasnosti» (Ukrpatent).

14. Korchak, M.M., Bendera, I.M., & Jermakov, S.V. (2008). *Ukraine Patent № 33819*, MPK A 01 V 33/00. *Kombinovanyj frezernyj kul'tyvator-podribnjuvach roslynyh zalyshkiv grubosteblovyh kul'tur* [Combined milling cultivator-Shredder residues of crops]. Kyiv-42, Derzhavne pidpryjemstvo «Ukrai'ns'kyj instytut intelektual'noi' vlasnosti» (Ukrpatent).

15. Korchak, M.M., Bendera, I.M., Jermakov, S.V., & Jakovenko, A.I. (2010). *Ukraine Patent № 90538*, MPK A 01 V 33/00. *Sposib zvil'nennja polja vid roslynyh zalyshkiv grubosteblovyh kul'tur* [Way to release the field of residues of crops]. Kyiv-42, Derzhavne pidpryjemstvo «Ukrai'ns'kyj instytut intelektual'noi' vlasnosti» (Ukrpatent).

16. Korchak, M.M., Bendera, I.M., & Jermakov, S.V. (2010). *Ukraine Patent № 90535*, MPK A 01 V 49/02 (2006.01). *Kombinovanyj podribnjuvach roslynyh zalyshkiv grubosteblovyh kul'tur* [Combined Shredder residues of crops]. Kyiv-42, Derzhavne pidpryjemstvo «Ukrai'ns'kyj instytut intelektual'noi' vlasnosti» (Ukrpatent).

17. Korchak, M.M., & Jermakov S.V. (2007). *Doslidzhennja harakteru zasmichenosti polja lystosteblovyh ta korenevych zalyshkamy pislja zbyrannja kukurudzy* [Research of the nature of the debris field listosteblovyh and root remains after harvesting corn]. *Zbirnyk naukovyh prac' Podil's'kogo derzhavnogo agrarno-tehnichnogo universytetu*, V. 15, 498–504.

18. Nalymov, V.V. (1970). *Statystycheskye metody planyrovanyja eksperimentov* [Statistical methods of planning of experiments]. Moscow : Nauka.

19. Ormanzhy, K.S. (1983). *Pravyla proyzvodstva mehanyzovanyh rabot v polevodstve* [Rules mechanized works in the fields]. Moscow : Rossel'hozyzdat.

Received: 10/10/2016

I review 10/27/2016 Accepted 11/23/2016