

Как видно из рисунков 2–4, качество просеивания сырого льновороха установкой с рабочими органами типа роторный соломотряс в значительной степени зависит от исходного состава обрабатываемого материала. Без использования предварительного разрыхления слоя в отходы в большом количестве уходили коробочки, застрявшие в исходном материале.

Заключение

В результате проведенных исследований получены уравнения регрессии, описывающие качественные показатели просеивания льновороха в зависимости от оборотов ротора соломотряса и исходной массы поступившего льновороха, как прошедшего предварительную обработку, так и без обработки.

При исследовании процесса выделения путанины из массы сырого льновороха установкой типа роторный соломотряс без предварительной обработки масса льновороха, попавшего в отходы, составляла порядка 400 г – примерно 30–40 % от общей массы, поступившей на доработку. При этом содержание семян и семенных коробочек в отходах могло достигать 50–70 %. При исследовании льновороха, прошедшего предварительную обработку, масса отходов составляла 150–200 г (15–25 %), содержание семян в массе отходов – порядка 20 %. Это объясняется тем, что значительная часть головок, поступающих в сепаратор, осталась неотторванной от стеблей.

Литература

06.06.2016

1. Кудрявцев, С.Н. Повышение эффективности переработки сырого льновороха путем применения сепаратора / С.Н. Кудрявцев // Энергоресурсосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Минск, 2010. – С. 141–144.
2. Венцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
3. Бортник, С.А. Выделение кормовых материалов из отходов льноводства на стационарных молотилках: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / С.А. Бортник; Белорусская с.-х. академия. – Горки, 1992. – 19 с.

УДК 631.352.022/.353.722

Н.Г. Бакач, И.Е. Мажугин
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

**ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ КОСИЛКИ ДЛЯ
УХОДА ЗА ЛУГОПАСТБИЩНЫМИ
УГОДЬЯМИ НА ВЫСОТУ СТЕРНИ**

Введение

Одним из способов ухода за лугами с целью подавления роста сорной растительности является использование скошенной травяной массы для мульчирования обрабатываемой площади. При этом способе травы срезаются, измельчаются и распределяются на окашиваемой площади, создавая мульчирующий слой, который впоследствии разлагается и переходит в объем почвы [1...5]. Для реализации данного способа относительно недавно стали выпускаться различные косилки, в которых совмещен процесс скашивания и измельчения растительности [6...8]. Наибольшее распространение получают полуприцепные роторные косилки-измельчители с осью вращения роторов, перпендикулярной окашиваемой поверхности, и с ножами, шарнирно прикрепляемыми к несущей части ротора [6...8]. С учетом области применения таких косилок их еще называют лугопастбищными.

Особенностью косилок данного типа является использование в качестве опор блоков сдвоенных колес, устанавливаемых на горизонтальных осях с возможностью поворота каждого колесного блока относительно оси. Это позволяет снизить вертикальные перемещения роторов косилки при ее движении по неровной

поверхности. Такие опоры называют балансирными или в некоторых источниках – шагающими.

Данная конструкция опор требует проведения теоретического анализа и экспериментального исследования влияния параметров косилки и высоты возможных неровностей на высоту стерни или высоту среза растений.

Анализ использованных источников. Процессу ротационного срезания растительности посвящен ряд работ. Исследования В.Н. Кондратьева [9, 10] посвящены ротационной косилке-измельчителю для скашивания откосов мелиоративных объектов. Однако в большинстве исследований рассматривались дисковые рабочие органы с жестко закрепленными сегментными ножами.

Исследования процесса скашивания растительности выполнены в УО «БГСХА» [11], однако они посвящены в основном скашиванию древесно-кустарниковой растительности на мелиоративных объектах многороторной косилкой, оснащенной трапециевидными ножами. Сходными проблемами занимался Э.А. Сухарев [12].

Нами ранее выполнено теоретическое обоснование параметров косилки и режущей части ножей [13].

Из проведенного анализа можно сделать вывод о том, что для роторных косилок-измельчителей существующие исследования не учитывают специфических условий, в которых работают лугопастбищные мульчирующие роторные косилки, в том числе полуприцепные многороторные косилки, имеющие балансирные колесные опоры. Поэтому актуальной задачей является изучение влияния геометрических параметров косилки на один из важнейших оценочных показателей качества скашивания растительности – высоту стерни или высоту среза растений.

Методы исследования. Исследования выполнялись путем теоретического анализа зависимости высоты среза растений от основных геометрических параметров косилки. Проверка теоретических положений была реализована путем проведения эксперимента на естественном пастбище с использованием искусственных подкладок, имитирующих неровности поверхности пастбища.

Лабораторно-полевые исследования проводились на опытном образце лугопастбищной косилки КП-6,2 в агрегате с трактором «Беларус 2022».

Основная часть

Принятая за основную схема конструкции опорного аппарата с балансирными тележками уменьшает величину вертикальных перемещений роторов косилки, что обеспечивает при движении по неровной поверхности более стабильную высоту стерни и снижает вероятность зарывания роторов в землю. Это позволяет повысить качество работ и расширяет возможности применения косилки на участках с разного вида неровностями. В связи с этим необходимо проанализировать влияние основных размеров косилки на высоту стерни при движении косилки по участку с неровностями.

При условии движения косилки по неровной поверхности, имеющей беспорядочно расположенные выступы и понижения, опорные колеса и, соответственно, центр балансира будут отклоняться от какой-то основной прямой OZ , соответствующей геометрической поверхности поля. Схематически это показано на рисунке 1.

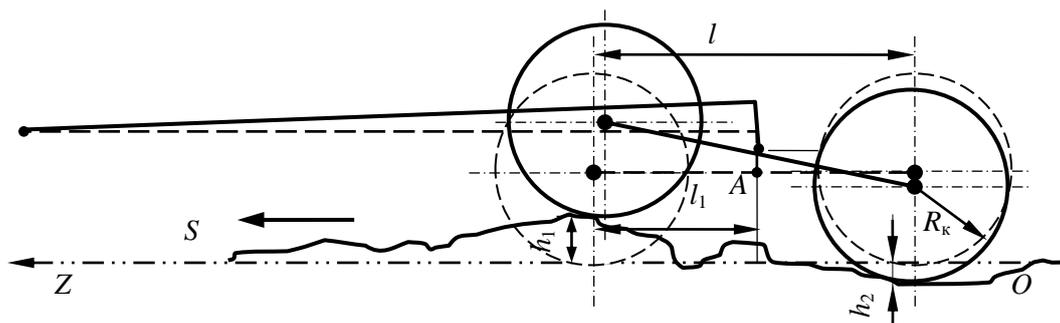


Рисунок 1. – Схема к анализу влияния неровностей поля на работу балансирной опоры

Профессор Сухарев [12] изучал принципиально сходную опору мелиоративного планировщика. Согласно его исследованиям, отклонения h реальной поверхности поля от прямой OZ будут рассчитываться как $h = z(S)$, если S – это величина перемещения опоры в направлении ее движения по полю от исходной точки. Для передней опоры $h_1 = z_1(S)$, для задней опоры $h_2 = z_2(S)$. Тогда для шарнира (точка A) уравнение движения будет иметь вид:

$$y(S) = z_1(S) \frac{l - l_1}{l} + z_2(S) \frac{l_1}{l}.$$

Дисперсия D_y вертикальных перемещений точки A

$$D_y = l^{-2} [D_{z1}(l - l_1)^2 + 2R'_z(l)(l - l_1)l_1 + D_{z2}l_1^2], \quad (1)$$

где D_{z1} и D_{z2} – соответственно дисперсии колебаний передней и задней осей опорных колес;

$R'_z(l)$ – взаимно корреляционная функция колебаний передней и задней осей.

При одинаковых по радиусу переднем и заднем колесах и допущении, что колебания осей стационарны, можно записать:

$$z_1(S) = z_2(S + l); D_{z1} = D_{z2} = D_z; R'_z(l) = R_z(l), \quad (2)$$

где $R_z(l)$ – автокорреляционная функция колебаний оси колеса.

Для этих условий

$$D_y = l^{-2} \{[(l - l_1)^2 + l_1^2]D_z + 2l_1(l - l_1)R_z(l)\}. \quad (3)$$

Допустив в первом приближении, что колесо линейно преобразует вертикальные отклонения поверхности передвижения $x(S)$ в вертикальные колебания $z(S)$ оси, можно записать:

$$D_z = D_x \int_{-\infty}^{\infty} |W(p)|^2 S_x(\lambda) d\lambda,$$

где D_x – дисперсия микронеровностей;

$S_x(\lambda)$ – нормированная спектральная плотность микрорельефа;

$W(p)$ – передаточная функция опорного колеса;

λ – дорожная частота.

Тогда

$$R_z(l) = D_x \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha l} |W(p)|^2 S_x(\lambda) d\lambda.$$

Для определения $W(p)$ используется выражение:

$$W(p) = 1/(1 + 4pR_k),$$

где p – комплексная переменная;

R_k – радиус колеса.

Здесь же нормированную спектральную плотность микрорельефа предлагается определять, используя выражение:

$$S_x(\lambda) = \alpha / [\pi(\alpha^2 + \lambda^2)],$$

где α – коэффициент угасания.

Тогда из уравнения (3) после соответствующих подстановок в уравнения (1) и (2) и их последующего интегрирования получим:

$$D_y = \frac{D_x}{l^2} \left[\frac{(l - l_1)^2 + l_1^2}{1 + 4\alpha R_k} + \frac{2l_1(l - l_1)}{1 - 16\alpha^2 R_k^2} (e^{-\alpha l} - 4\alpha R_k e^{-l/4R_k}) \right]. \quad (4)$$

Приняв допустимое значение дисперсии вертикальных колебаний шарнира балансирной опоры, по уравнению (4) можно определить требуемые значения l , l_1 и R_k для поверхности с определенными характеристиками. Однако мы считаем, что для косилки более важным технологическим параметром является высота стерни. Кроме того, поверхность, по которой перемещается лугопастбищная косилка в процессе работы, как правило, является достаточно ровной, а колебания в вертикальном направлении вызываются кротовинами и кочками. Для этих условий может быть рассмотрена более простая схема.

Расчетная схема представлена на рисунке 2. Здесь основным исследуемым параметром является высота стерни h_2 в зависимости от высоты неровностей h_3 и основных геометрических параметров косилки.

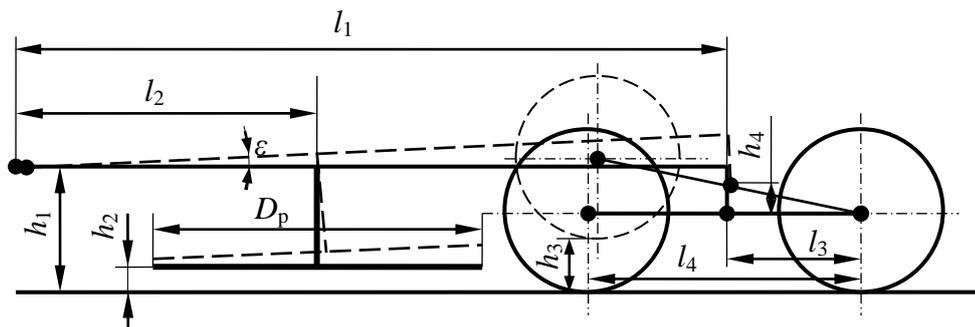


Рисунок 2. – Схема к анализу зависимости высоты стерни от параметров косилки

При движении по ровной поверхности высота стерни равна высоте расположения режущих кромок ножей ротора h_2 . При одновременном наезде передних колес опор на жесткую неровность высотой h_3 оси колес переместятся вверх на эту же высоту. Шарниры опор поднимутся на высоту h_4 , которую определим по формуле:

$$h_4 = h_3 l_3 / l_4.$$

При этом рама вместе с ротором наклонится на угол ε , равный

$$\varepsilon = \arcsin(h_4 / l_1) = \arcsin(h_3 l_3 / l_4 l_1).$$

Как правило, у подобных косилок $l_4 = 2 l_3$. В таком случае

$$\varepsilon = \arcsin(h_3 / 2 l_1).$$

Высоту стерни h_c , остающейся после наиболее удаленной от опоры части ротора, определим как $h_2 \pm \Delta h$. Отклонение высоты стерни от начальной при наезде на препятствие (кочку) определим на основании рассмотрения рисунка 2 следующим образом:

$$\Delta h = l_2 \sin \varepsilon + (h_1 - h_2)(1 - \cos \varepsilon) - D_p (\sin \varepsilon) / 2,$$

где D_p – диаметр ротора, м.

Отсюда

$$h_c = h_2 + \Delta h. \quad (5)$$

Уравнение (5) связывает основные геометрические параметры косилки и позволяет в зависимости от их значений и высоты неровности определить ожидаемую высоту стерни. Причем высота неровности не может быть выше h_2 , так как в противном случае она будет срезана ножами ротора.

Рассмотрения влияния неровностей на высоту стерни в поперечном сечении не выполняем, так как конструкция косилки предусматривает установку механических амортизаторов, позволяющих приподниматься или опускаться колесам боковых опор при движении по неровностям.

Экспериментальные исследования проводились на участках с ровным рельефом при максимальном уклоне не более 0,08. Агрофоном являлись естественные травы и сеяные травы культурного пастбища. На окашиваемом участке посторонние предметы, такие как проволока, сучья, камни, способные задеть ножи, удалялись с участка. Согласно требованиям, предъявляемым к подобного назначения машинам, допускалось наличие однолетних побегов древесно-кустарниковой растительности диаметром стебля до 10 мм, а также отдельных древесных остатков диаметром до 10 мм и длиной до 200 мм.

Каждый раз манометром МП-2,5 класса точности 0,01 перед проведением исследований контролировалось давление в шинах трактора и косилки. При необходимости оно доводилось до требуемых руководством по эксплуатации значений.

Контролировалась влажность растительности и почв. Влажность почв минеральных была не более 22 %, торфяных – не более 35 %.

Косилка представлена на рисунке 3. Она показана с правым поднятым крылом.

Привод роторов, скашивающих и измельчающих растительность, осуществляется от ВОМ через карданный вал 1, центральный редуктор 2, приводные карданные валы 3 и конические редукторы 4.

Необходимая высота стерни обеспечивается механизмом ее регулирования 5.

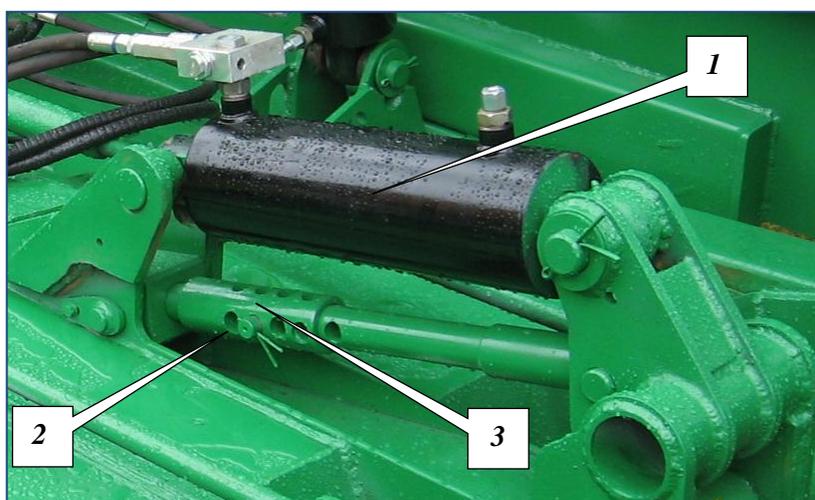
При поступательном движении косилки вперед с включенным ВОМ ножи роторов скашивают растительность, травяные кочки, кротовины и побеги кустарников, измельчая их. Работа косилки осуществляется преимущественно челночным способом.



1 – карданный вал; 2 – центральный редуктор; 3 – приводной карданный вал;
4 – конический редуктор; 5 – механизм регулирования высоты среза

Рисунок 3. – Общий вид исследуемой косилки КП-6,2

На рисунке 4 показан механизм регулирования опоры, от положения которой зависит высота среза растительности.



1 – гидроцилиндр; 2 – палец; 3 – втулка

Рисунок 4. – Механизм регулирования опоры

Установка высоты среза растительности осуществляется гидроцилиндром 1. Для этого необходимо приподнять косилку при помощи гидроцилиндра 1, вынуть палец 2 из втулки 3. Перемещая втулку 3 вперед или назад, увеличивают или уменьшают высоту среза. После того как выбрана необходимая высота среза, возвращают палец 2 во втулку 3 и опускают косилку с помощью гидроцилиндра 1.

Ширина прокоса, равная 6,2 м, условно разбивалась на отрезки, длина которых принималась с учетом параметров роторов и положения колея от опорных колес косилки, приминающих скошенную и измельченную растительность. С учетом этого на ширине захвата получилось тринадцать точек измерения.

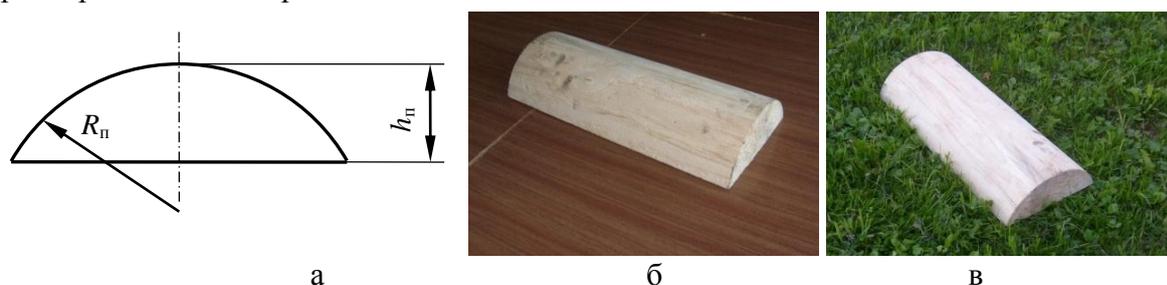
Характеристика травянистой растительности (живого надпочвенного покрова) участка определялась визуально по преобладающей растительности и покрытию почвы ею.

Высота стерни (высота среза) определялась линейкой с ценой деления один миллиметр (рисунок 5).



Рисунок 5. – Измерение высоты стерни

Для оценки влияния возможных неровностей на высоту стерни были изготовлены деревянные подкладки (рисунок 6), параметры которых приведены в таблице 1. Их размеры обусловлены техническими возможностями косилки и наиболее вероятными размерами кочек и кротовин.



а – схема с размерами; б – вид подкладки; в – подкладка на стерне

Рисунок 6. – Деревянная подкладка

Таблица 1. – Размеры деревянных подкладок

Длина, мм	400				
Радиус $R_{п}$, мм	120				
Высота $h_{п}$, мм	20	40	60	80	100

Деревянные подкладки перед запуском и троганием косилки с места подкладывались под колеса косилки. При размещении подкладки под колесом опоры крыла измерялась высота стерни по траектории движения осей роторов.

Максимальное значение высоты стерни определялось перед подкладкой на расстоянии, равном расстоянию от высшей точки подкладки до наиболее удаленной точки соответствующего ротора.

Равномерность высоты стерни по ширине захвата косилки определялась в принятых точках примерно через каждые 10 м, но не менее трех измерений по пути движения косилки. Высота стерни по ширине прокоса определялась как средняя арифметическая из этих замеров. Перед измерением измельченная растительная масса с места измерения убиралась вручную.

Высота стерни в зоне, примятой колесами косилки, условно принималась равной высоте срезанной травы, находившейся рядом с примятой колесами травой. Следует отметить, что растения, примятые колесами трактора, в основном не скашиваются, однако растения оказываются сильно поврежденными, сплюснутыми или разорванными почвозащитами шин, поэтому можно считать, что роль мульчи эти растения выполняют. Замеры высоты стерни показали, что по ширине захвата высота стерни является практически постоянной, но несколько меньше величины настройки. Это можно объяснить тем, что настройка высоты стерни производится на ровной площадке с прочной поверхностью, тогда как при скашивании растительности почва под колесами деформируется, что приводит к уменьшению высоты стерни. Ее значение составило в среднем $7,5 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см}$ при регулировке на высоту 7 см. Высота стерни в зоне, примятой колесами косилки, условно принималась равной средней высоте срезанной травы, находившейся рядом с примятой колесами.

Результаты обработки измерений высоты стерни адекватно описываются линейными зависимостями, которые получены с использованием программы Excel и приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Графики зависимости высоты стерни от высоты подкладок

Условия определения	График зависимости	Значение R^2
Теоретическая зависимость	$h_2 = 0,158 h_n + 7,0$	1
Для центрального ротора при одновременной укладке двух подкладок одной высоты под колеса балансирных опор	$h_2 = 0,151 h_n + 6,2$	0,885
Для крайних роторов боковых секций при укладке двух подкладок под колеса боковой опоры	$h_2 = 0,153 h_n + 6,5$	0,971

Анализ результатов показал, что высота стерни оказалась несколько ниже расчетной. Это объясняется деформацией шин при их переезде через подкладки, а также образованием колеи вследствие проседания почвы под колесами. В остальном, как следует из зависимостей, приведенных в таблице 2, характер изменения высоты стерни близок к рассчитанному.

В производственных условиях на участках с кочками и кротовинами проводились испытания косилки, которые подтвердили закономерности, полученные с использованием подкладок.

Заключение

В результате теоретического анализа получены зависимости, позволяющие установить влияние высоты неровностей поверхности почвы, по которой перемещается лугопастбищная косилка, на высоту стерни.

Проведенные эксперименты подтвердили теоретические положения.

Литература

13.04.2016

1. Современные технологии и машины для улучшения естественных и окультуренных сенокосов и пастбищ: аналит. обзор / В.В. Азаренко [и др.]. – Минск: Белорусский институт внедрения новых форм хозяйствования в АПК, 2003. – 46 с.
2. Бирюкович, А.Л. Пути повышения продуктивности лугового кормопроизводства / А.Л. Бирюкович // Мелиорация. – 2011. – № 1(65). – С. 157–164.
3. Азаренко, В.В. Улучшение мелиоративных угодий путем создания роторной косилки для ухода за лугопастбищными угодьями / В.В. Азаренко, Н.Г. Бакач, А.Н. Басаревский,

- И.Е. Мажугин // Актуальные проблемы мелиоративного и водохозяйственного строительства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Горки, 27–29 сентября 2012 г. / Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол.: А.Л. Казаков [гл. ред.]. – Горки, 2013. – С. 61–64.
4. Басаревский, А.Н. Подкашивание как технологический способ повышения продуктивности пастбищ / А.Н. Басаревский, И.Е. Мажугин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 октября 2012 г. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – В 3 т., т. 2. – С. 214–219.
 5. Басаревский, А.Н. Улучшатели земли / А.Н. Басаревский, С.П. Кострома, И.Е. Мажугин // Белорусское сельское хозяйство. – 2014.– №7 (147). – С. 86–89.
 6. Бакач, Н.Г. Конструктивные особенности косилок с ротационными рабочими органами по уходу за лугопастбищными угодьями / Н.Г. Бакач, С.П. Кострома, И.Е. Мажугин // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований. – Минск, 2011. – Ч. 1. – С. 183–186.
 7. Бакач, Н.Г. Аналитический обзор конструкций косилок по уходу за лугопастбищными угодьями / Н.Г. Бакач, И.Е. Мажугин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2011. – Вып. 45. – С. 161–166.
 8. Бакач, Н.Г. Механизация процессов подкашивания лугопастбищных угодий: современные технические решения / Н.Г. Бакач, А.Н. Басаревский, И.Е. Мажугин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 116–122.
 9. Кондратьев, В.Н. Косилки бильного типа: вопросы проектирования и эксплуатации: пособие / В.Н. Кондратьев. – Минск: НП РУП «БелНИИ мелиорации и луговодства», 2002. – 40 с.
 10. Кондратьев, В.Н. Особенности конструкций отечественных и зарубежных косилок для ухода за мелиоративными системами / В.Н. Кондратьев // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – №1. – С. 31–39.
 11. Рубец, С.Г. Скашивание древесно-кустарниковой растительности на мелиоративных объектах многороторной косилкой с трапециевидными ножами: дис. ... канд. техн. наук. 05.20.01 / С.Г. Рубец. – Минск, 2013. – 154 с.
 12. Сухарев, Э.А. Основы теории машин для обслуживания и ремонта мелиоративных систем: учеб. пособие / Э.А. Сухарев. – Киев: ИСИО, 1994. – 360 с.
 13. Бакач, Н.Г. Выбор параметров ножей роторной косилки, влияющих на эффективность ее работы / Н.Г. Бакач, А.Н. Басаревский, И.Е. Мажугин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 16–17 октября 2014 г. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2014. – В 3 т., т. 2. – С. 111–119.

УДК 631.879:631.3

Л.Я. Степук, В.В. Микульский
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси
 по механизации сельского хозяйства»,
 г. Минск, Республика Беларусь)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСЕВАЮЩЕГО
 АППАРАТА КАТУШЕЧНОГО ТИПА
 ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ
 УДОБРЕНИЙ**

Введение

Высокая неравномерность распределения твердых минеральных удобрений по полю существующими машинами с дисковыми распределяющими рабочими органами, доля которых в парке сельхозтехники нашей страны составляет почти 100 %, приводит к недобору от 2 до 4 ц зерна с каждого гектара [1, с. 17].