

УДК 631.333

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

С.Н. Герук,

ст. науч. сотр. Национального научного центра «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства НААН Украины» (п. Глеваха); доцент Житомирского агротехнического колледжа (г. Житомир, Украина), канд. техн. наук, доцент

С.М. Хоменко,

доцент Житомирского агротехнического колледжа (г. Житомир, Украина), канд. техн. наук, доцент

И.С. Крук,

декан фак. механизации БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Мучинский,

доцент каф. экономики и организации предприятий АПК БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Свистун,

инженер БГАТУ

Предложена модернизация измельчающе-распределяющих барабанов разбрасывателей твердых органических удобрений с горизонтально расположенными рабочими органами. Обоснованы кинематические и технологические параметры работы опытного разбрасывателя, обеспечивающие требуемое качество выполнения процесса поверхностного внесения твердых органических удобрений.

Ключевые слова: органические удобрения, разбрасыватель, рабочие органы, исследования, равномерность.

Modernization of the grinding drums, distributing spreaders of solid organic fertilizers with horizontal working bodies is offered. Kinematic and technological parameters of the prototype spreader's operation ensuring the required quality of the process of surface application of solid organic fertilizers are grounded.

Keywords: organic fertilizers, spreader, working bodies, research, uniformity.

Введение

Известно, что внесение органических удобрений в почву обеспечивает высокую прибавку урожая сельскохозяйственных культур. Так, при внесении навоза в оптимальных дозах, нормативная прибавка урожая от 1 т для озимых зерновых составляет 25 кг зерна, картофеля – 105 кг клубней, сахарной свеклы – 125 кг корнеплодов, кормовых корнеплодов – 200 кг корней, кукурузы на силос – 190 кг зеленой массы, всех культур на пашне – 30 к.ед. [1]. Навоз обладает длительным последствием (5-6 лет и более). С учетом длительного последствия установлено, что каждая тонна навоза на дерново-подзолистых почвах дает в сумме прибавку урожая в 1 ц (в пересчете на зерно) [2]. Поэтому основное направление повышения плодородия почвы связано с систематическим внесением органических удобрений в соответствии с рекомендуемыми дозами и требуемым качеством. Некачественное распределение твердых удобрений по поверхности поля с последующей заделкой влечет за собой неравномерное содержание гумуса в почве, что приводит, к так называемой, пятнистости полей.

Качество внесения навоза определяется многими факторами, однако особое значение имеет техническое состояние, конструкция машины и ее рабочих органов. На протяжении последних десятилетий происходит интенсивное усовершенствование конструкций машин, позволившее существенно повысить равномерность внесения органических удобрений. Однако вопрос равномерного поверхностного внесения твердых органических удобрений (ТОУ) остается актуальным и важным для сельского хозяйства.

Наиболее широкое распространение до последнего времени имели разбрасыватели, включающие адаптер с двумя параллельно установленными измельчающе-распределяющими битерами (рис. 1,а), выполненными в виде шнековой поверхности, имеющей направление от центра к периферии. Первый барабан находится на сходе подающего транспортера, при вращении захватывает часть удобрений, измельчает и подает ее на второй, который доизмельчает и распределяет удобрения по полю. Битеры выполнены в виде прерывистой шнековой навивки с неровной кромкой для лучшего отрыва массы.

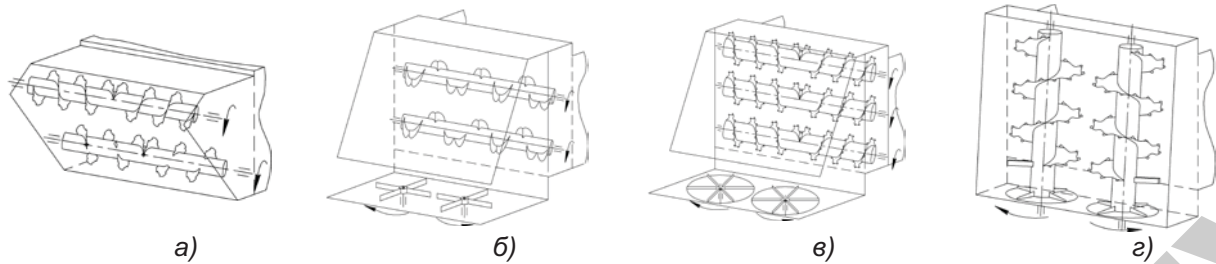


Рисунок 1. Схемы адаптеров разбрасывателей твердых органических удобрений

Одним из направлений усовершенствования машин для внесения твердых органических удобрений является установка дополнительных распределяющих рабочих органов, выполненных в виде вращающихся лопаток над неподвижной поверхностью (рис. 1,б) или дисков с лопатками (рис. 1,в). Принцип работы данных машин состоит в следующем: твердые органические удобрения измельчаются горизонтальными битерами и попадают на распределительные рабочие органы, где им передается кинетическая энергия вращающихся лопаток. После этого частицы навоза, имея неодинаковые скорости, распределяются по поверхности поля на различных расстояниях. При полевых испытаниях данной машины с вращающимися лопатками над неподвижной поверхностью, отмечено увеличение рабочей ширины захвата до 7,5-8,0 м. В настоящее время все большее распространение находят машины с вертикальным расположением измельчающих рабочих органов (рис. 1,г). В навозоразбрасывателе измельчающие битеры установлены под углом в направлении хода движения агрегата и имеют в нижней части диски с лопатками. Использование данных адаптеров в конструкциях навозоразбрасывателей не всегда обеспечивает требуемую неравномерность распределения удобрений по ширине захвата машины и в направлении ее движения при различных дозах внесения и ширине рабочей полосы [3]. Важными элементами, определяющими качество разбрасывания удобрений, являются измельчающие и распределяющие рабочие органы, которые подразделяются на роторные, фрезерные (барабанные), роторно-фрезерные, цепные, дисковые и лопастные [4].

Для обеспечения требуемого качества внесения удобрений, предложены конструкции рабочих органов разбрасывателей ТОУ [5,10,11,15], оснащаемые четверть- и полуэллипсными рабочими элементами (рис. 2).

Для проверки аналитических предположений работы предложенной конструкции рабочих органов и машины в целом, необходимо провести ряд экспериментальных

исследований. Анализ публикаций по данному вопросу показал, что в своих работах при разработке машин и их рабочих органов М.М. Марченко, И. Личман, А.Е. Шибалкин, А.Д. Лашук [6,7,14] использовали положения теории подобия. В частности, при планировании лабораторных исследований на физических моделях, применили методы анализа размерностей.

Согласно исследованиям [13] и анализу известных источников [6,7], приняли геометрический масштаб сходства $K_L = 3$, а в качестве материала использовали торфокрошку с влажностью 49 ... 52 %, объемной массой 470 – 500 кг / м³ и размерами частиц 15 – 20 мм (не менее 70 % объема).

Цель исследований – установление экспериментальной зависимости неравномерности внесения ТОУ от параметров физической модели и обоснование ее рациональных параметров, а также проверка работоспособности опытного образца в полевых условиях.

Основная часть

Для исследования физической модели была использована методика планирования некомпозиционного симметричного плана Бокса-Бенкина второго порядка для трех факторов [9]. Для обработки результатов эксперимента использовались пакеты прикладных программ *Statistica 7* (для рандомизации порядка проведения опытов), *MatCad 14* (для обработки результатов планирования плана Бокса-Бенкина второго порядка), *Maple 11* (для исследования уравнения регрессии и построения поверхностей отклика).

Коэффициенты регрессии модели, после реализации плана эксперимента, определяли согласно методике [9]. Для исследования уравнения регрессии использовали методику двумерных сечений [8, 9]. Для проведения исследований физической модели и опытного образца машины для внесения ТОУ использовали РД 10 7.2-89 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для внесения твердых органических удобрений. Программа и методы испытаний» [12].

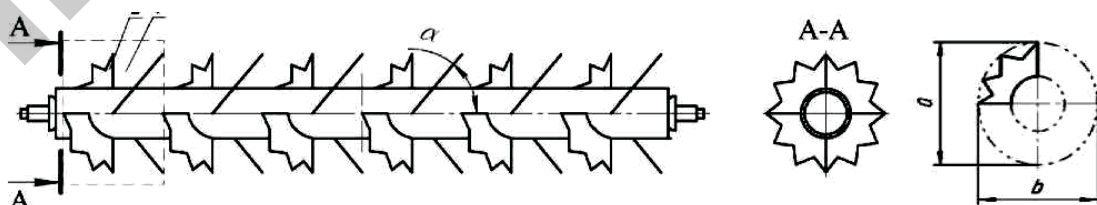


Рисунок 2. Дисковый рабочий орган разбрасывателя:
1 – четвертьэллипсный измельчитель; 2 – четвертьэллипсная зубчатая лопатка

Для проведения лабораторных исследований была разработана и изготовлена лабораторная установка для исследования физической модели (рис. 3а), схема работы которой представлена на рис. 3б.

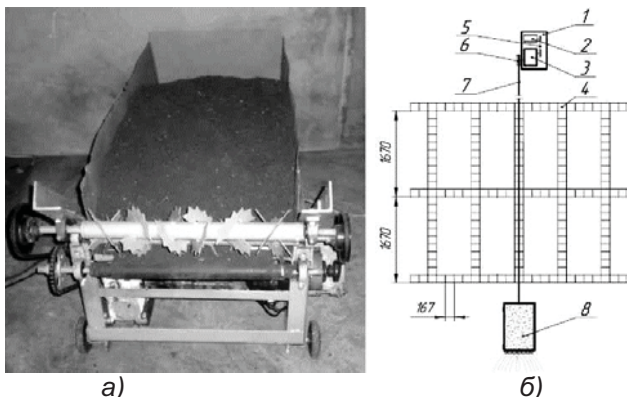


Рисунок 3. Лабораторная установка: конструкция (а) и схема работы (б): 1 – приводная станция; 2 – электродвигатель постоянного тока; 3 – редуктор; 4 – лента; 5 – ременная передача; 6 – приводной шкив ($B = 250$ мм); 7 – трос; 8 – физическая модель машины для внесения органических удобрений

Вдоль направления движения физической модели разложены ленты с размеченными краской квадратами размером 167×167 мм. Отрегулировав кинематические показатели работы установки в соответствии с номером опыта, запускали в работу транспортер и разбирающееся устройство. После определенного интервала времени, когда установка входила в устойчивый режим, включали электродвигатель приводной станции, начинали перемещать физическую модель.

После прохождения трех рядов лент установку выключали, удобрения собирали, взвешивали и обрабатывали результаты по методике [12]. В качестве целевой функции принята неравномерность внесения ТУ, критерий оптимизации – минимальная, допустимая агротехническими требованиями, неравномерность внесения. Принятые факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 1.

В соответствии с выбранной схемой провели 15 опытов по представленной матрице планирования (табл. 2) в трехкратной повторности.

В результате было получено уравнение регрессии в кодированном

$$y = 16,9614 + 6,1833x_1 + 4,4333x_3 + 28,1864x_1^2 + 6,7697x_2^2 + 3,6864x_3^2. \quad (1)$$

и раскодированном виде

$$v = 266,7504 - 0,4073n_{pb} - 15,7841v_m - 612,8947v_t + 0,00018n_{pb}^2 + 9286,2826v_t^2 + 10,5901v_m^2 \quad (2)$$

Данная модель адекватна, так как $F_{расч} < F_{табл}$ ($3,07 < 19,33$).

Для анализа уравнения регрессии были построены соответствующие поверхности отклика и их двумерные сечения (рис. 4, 5, 6).

На основании анализа приведенных рисунков можно сделать следующие выводы:

- из рисунка 4: неравномерность $v=15,29\%$ обеспечивается при $n_{pb}=1156$ об/мин, $v_t = 0,033$ м/с; неравномерность $v \leq 25\%$ обеспечивается при $n_{pb}=940 \dots 1390$ об/мин и $v_t = 0,006 \dots 0,060$ м/с;

Таблица 1. Факторы и уровни их варьирования

Факторы	X_1	X_2	X_3
	Количество оборотов раскидного барабана n_{pb} , об/мин	Скорость транспортера v_t , м/с	Рабочая скорость машины v_m , м/с
Основной уровень (X_{i0})	1200	0,033	1,1
Интервалы варьирования (ΔX_i)	400	0,027	0,59
Верхний уровень ($x_i = 1$)	1600	0,060	1,69

Таблица 2. Матрица планирования плана Бокса-Бенкен и результаты исследования неравномерности внесения удобрений физической моделью

№ реализации	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	Результаты опытов			у
										у ₁	у ₂	у ₃	
										11	+	+	
7	-	-	0	+	0	0	+	+	0	41,6	39,8	47,4	42,9
5	+	-	0	-	0	0	+	+	0	52,8	59,1	60,2	57,4
13	-	+	0	-	0	0	+	+	0	48,1	45,8	51,9	48,6
3	+	0	+	0	+	0	+	0	+	62,8	54,6	59,1	58,8
6	-	0	-	0	+	0	+	0	+	35,7	41,5	32,4	36,5
15	+	0	-	0	-	0	+	0	+	50,5	55,8	47,5	51,3
14	-	0	+	0	-	0	+	0	+	43,3	48,9	54,1	48,8
1	0	+	+	0	0	+	0	+	+	31,4	32,8	41,5	35,2
8	0	-	-	0	0	+	0	+	+	21,5	29,1	25,4	25,3
9	0	+	-	0	0	-	0	+	+	23,4	21,2	20,5	21,7
2	0	-	+	0	0	-	0	+	+	25,6	25,3	31,5	27,5
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,4	12,5	25,1	18,3
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,6	17,2	12,9	15,2
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,2	15,7	22,1	17,3

– из рисунка 5: неравномерность $\nu = 15,29\%$ обеспечивается при $n_{рб} = 1156$ об/мин, $v_m = 0,75$ м/с; неравномерность $\nu \leq 25\%$ обеспечивается при $n_{рб} = 920 \dots 1405$ об/мин и $v_m = 0,510 \dots 1,690$ м/с;

– из рисунка 6: неравномерность $\nu = 15,29\%$ обеспечивается при $v_t = 0,033$ м/с, $v_m = 0,75$ м/с; неравномерность $\nu \leq 25\%$ обеспечивается при всех значениях v_t и для $v_m \leq 1,2$ м/с.

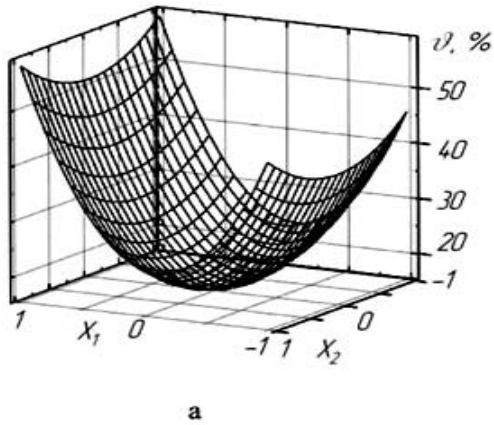


Рисунок 4. Поверхность отклика (а) и ее двухмерное сечение (б), определяющие неравномерности распределения удобрений в зависимости от факторов v_m и $n_{рб}$

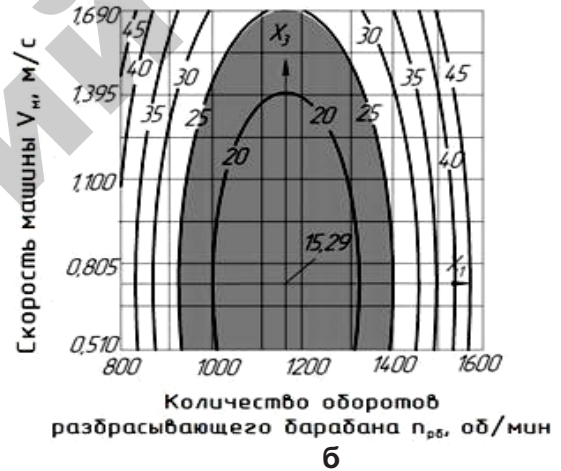
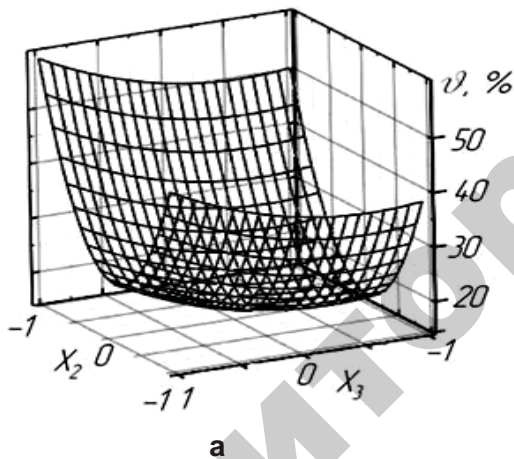


Рисунок 5. Поверхность отклика (а) и ее двухмерное сечение (б), определяющие неравномерности распределения удобрений в зависимости от факторов v_m и $n_{рб}$

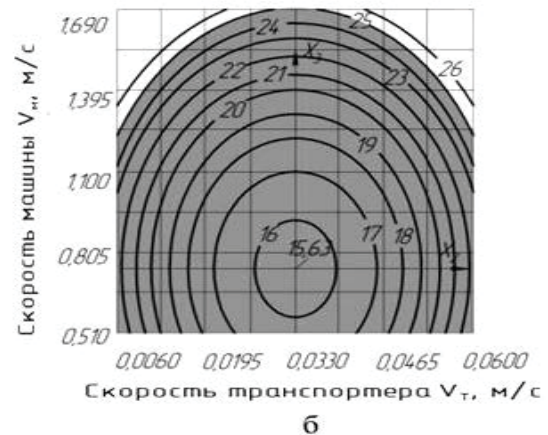
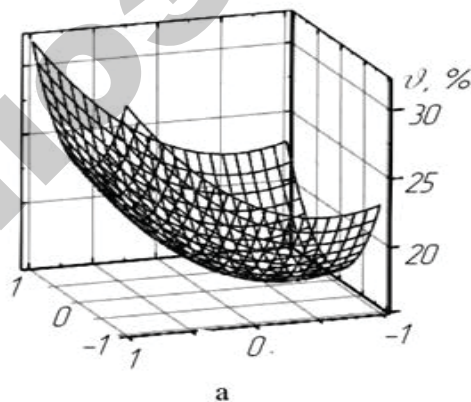


Рисунок 6. Поверхность отклика (а) и ее двухмерное сечение (б), определяющие неравномерности распределения удобрений в зависимости от факторов v_m и v_m

Для проведения полевых исследований разработанное разбрасывающее устройство было установлено на опытном образце разбрасывателя (рис. 7). В процессе испытаний проверяли обеспечение машины агротехнических требований при внесении удобрений, а также сравнивали с работой серийных разбрасывателей, работавших в таких же условиях.



а



б

Рисунок 7. Загрузка (а) и внесение (б) твердых органических удобрений опытным агрегатом

Результаты испытаний экспериментального образца и серийных разбрасывателей приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты полевых испытаний

Показатель	Значения показателя	
	Опытный образец	МТО-6
Грузоподъемность, т	6	6
Агрегируется с трактором класса	1,4	
Число оборотов вала отбора мощности трактора, об/мин	540	540
Доза внесения, т/га	20	20
Рабочая ширина внесения удобрений, м	8	6
Неравномерность внесения дозы удобрений, %		
- по ширине захвата	20,7	35,2
- в направлении движения	12,8	26,4

Из табл. 3 видно, что опытный образец обеспечивает требуемые показатели качества внесения удобрений в сравнении с серийными машинами (рис. 8, 9).

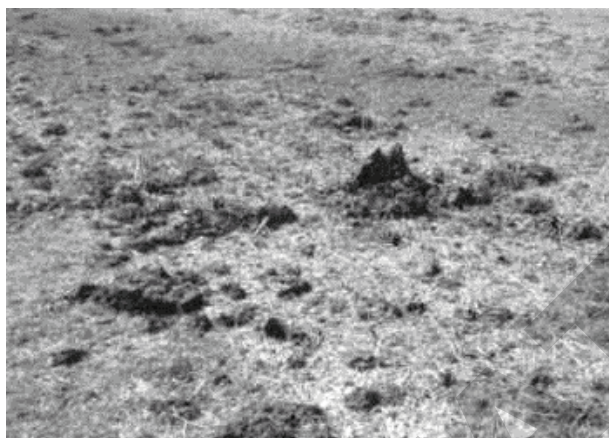


Рисунок 8. Определение неравномерности внесения твердых органических удобрений базовым разбрасывателем

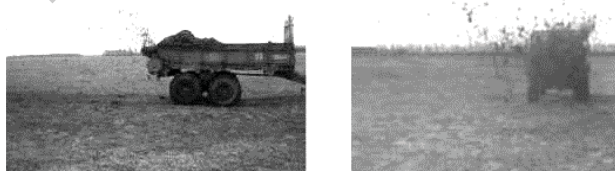


Рисунок 9. Определение ширины захвата и неравномерности внесения твердых органических удобрений опытным образцом разбрасывателя

Заключение

Предложена модернизация измельчающих рабочих органов разбрасывателя твердых органических удобрений с двумя горизонтально расположенными

битерами.

В результате проведенных лабораторных исследований определены рациональные кинематические и технологические параметры работы опытного разбрасывателя, при которых обеспечиваются агротехнические требования выполнения процесса ($v \leq 25\%$): число оборотов разбрасывающего рабочего органа $n_{рб} = 920...1405$ об/мин, рабочая скорость агрегата – $v_m = 0,510...1,2$ м/с, скорость движения транспортера – $v_t = 0,006...0,060$ м/с. Для обеспечения неравномерности внесения удобрений $v = 15,29...15,63\%$ рациональные значения кинематических и технологических параметров физической модели составляют: $n_{рб} = 1156$ об/мин, $v_t = 0,033$ м/с, $v_m = 0,75$ м/с (при коэффициенте геометрического подобия физической модели $K_L = 3$).

Производственные испытания опытного образца подтвердили достоверность полученных в лабораторных условиях результатов. Применение опытного образца разбрасывателя в сравнении с машиной МТО-6 позволяет увеличить рабочую ширину захвата с 6 до 8 м и при этом уменьшить неравномерность внесения удобрений по ширине захвата с 35,2 до 20,7 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Бел. наука, 2007. – 390 с.
2. Авдонин, Н. С. Научные основы применения удобрений / Н. С. Авдонин. – М.: Колос, 1972. – 320 с.
3. Результаты сравнительных испытаний машин для внесения твердых органических удобрений с различными адапторами / В. Романюк [и др.] // Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych, ochrony środowiska i standardów UE»: дклады Междунар. науч.-практ. конф., Warszawa, сентябрь 2011 / Instytut Technologiczno-Przyrodniczy. – Warszawa, 2011. – С. 163 – 167.
4. Рабочие органы машин для внесения твердых органических удобрений / В. Романюк [и др.] // Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych, ochrony środowiska i standardów UE»: дклады Междунар. науч.-практ. конф., Warszawa, сентябрь 2009 / IBMER. – Warszawa, 2009. – С. 227 – 230.
5. Герук, С.М. Удосконалення машин для внесення твердих органічних добрив / С.М. Герук,

С.М. Хоменко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Вип. 59: механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – Т. 2. – С. 103-108.

6. Лашук, А.Д. Внесение органических удобрений машиной с эллипсо-дисковыми рабочими органами: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / А.Д. Лашук. – Минск, 1990. – 203 с.

7. Марченко, Н.М. Механизация внесения органических удобрений / Н.М. Марченко, Г.И. Личман, А.Е. Шебалкин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 207 с.

8. Мельников, С.В. Планирование экспериментов в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Родин. – 2-е изд., пер. и доп. – Л.: Колос; Ленингр. отд-ние, 1980. – 168 с.

9. Новик, Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

10. Розкидач органічних добрив: пат. 83293 України, МПК А01С 3/06. / А.С. Малиновський, С.М. Герук, С.М. Хоменко [та ін.]; заявник Державний агрокологічний університет. – № а 2006 10636; заявл. 07.11.2006; опублік. 25.06.2008 // Бюл. №7.

11. Розкидач органічних добрив: пат. 88754 України, МПК А01С 3/06. / С.М. Герук, С.М. Хоменко, С.С. Герук. – № а200901541; заявл. 23.02.2009; опублік. 10.11.2009 // Бюл., 2009. – № 21.

12. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для внесения твердых органических удобрений. Программа и методы испытаний: РД 10 7.2-89. – 76 с.

13. Хоменко, С.М. Обґрунтування швидкості руху фізичної моделі машини для внесення органічних добрив / С.М. Хоменко // Вісник ЖНАЕУ. – Житомир, 2009. – Вип. 1. – С. 278-282.

14. Шебалкин, А.Е. Выбор типа и обоснование параметров дозирующих и распределяющих устройств большегрузных машин для внесения твердых органических удобрений: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.Е. Шебалкин. – М.: ВИМ, 1986. – 15 с.

15. Комбинированная машина для выгрузки и разбрасывания навоза: пат. 7746 Респ. Беларусь, МПК А 01С 3/06, А 01С 3/02 / И.С. Крук, А.В. Свистун, Ю.С. Биза, И.С. Назаров, Н.Г. Бакач, А.С. Назаров, А.А. Новиков; заявл. Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u20110261; заявл. 07.04.2011; опубл. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – Бюл. № 6.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 23.11.2016