

Полевые исследования культиватора-удобрителя с системой дифференцированного внесения минеральных удобрений

Алексей Иванович Дерепаскин¹,
доктор технических наук,
заведующий лабораторией,
e-mail: celinnii@mail.ru;

Антон Николаевич Куваев¹,
заведующий лабораторией,
e-mail: kuaevanthon@yandex.ru;
Иван Владимирович Токарев²,
докторант, e-mail: tokarev_ivan.v@mail.ru

¹Костанайский филиал Научно-производственного центра агроинженерии, г. Костанай, Республика Казахстан;

²Костанайский региональный университет имени А.Байтурсынова, г. Костанай, Республика Казахстан

Реферат. Провели полевые исследования системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор», установленной на культиватор-удобритель для внутрипочвенного внесения гранулированных минеральных удобрений в условиях Северного Казахстана. (*Цель исследований*) Определить влияние системы дифференцированного внесения удобрений на агротехнические, энергетические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели работы культиватора-удобрителя в производственных условиях. (*Материалы и методы*) Выполнили агрохимическое обследование почвы по официально утвержденной методике. Составили электронную карту-задание. Использовали методику определения условий производственных испытаний, агротехнической, энергетической, эксплуатационно-технологической и энергетической оценок, соответствующую требованиям действующей нормативной документации. Производственные испытания системы дифференцированного внесения удобрений проводили в ходе второй плоскорезной обработки парового поля с одновременным внутрипочвенным внесением гранулированных минеральных удобрений. (*Результаты и обсуждение*) Выявили, что применение системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» сократило фактическую дозу внесения с 95 до 40 килограммов на гектар. Определили, что наличие в исследуемой системе режима параллельного вождения уменьшило величину перекрытия смежных проходов, благодаря чему повысилась сменная производительность – с 4,25 до 4,32 гектара в час, удельные затраты энергии сократились с 88,1 до 86,6 мегаджоуля на гектар, а удельный расход топлива снизился с 14,41 до 14,16 килограмма на гектар. Экономический эффект от применения системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» составил 630,6 тысячи рублей в год. (*Выводы*) Доказали, что основное влияние система дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» оказала на фактическую дозу внесения удобрений, которая уменьшилась на 57,6 процента. Установили, что снижение величины перекрытия смежных проходов повысило сменную производительность, снизило удельный расход топлива и удельные затраты энергии на 1,7 процента. Рассчитали, что совокупные затраты денежных средств благодаря применению системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» сократились на 36 процентов.

Ключевые слова: система дифференцированного внесения удобрений, полевые исследования, культиватор-удобритель, минеральные удобрения, доза внесения удобрений, экономическая эффективность.

Для цитирования: Дерепаскин А.И., Куваев А.Н., Токарев И.В. Полевые исследования культиватора-удобрителя с системой дифференцированного внесения минеральных удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 46-52. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52.

Cultivator-Fertilizer Field Tests Using a Differential Fertilization System

Alexey I. Derepaskin¹,
Dr.Sc.(Eng.), head of the laboratory,
e-mail: celinnii@mail.ru;

Anton N. Kuaev¹,
head of the laboratory,
e-mail: kuaevanthon@yandex.ru;

Ivan V. Tokarev²,
doctoral student,
e-mail: tokarev_ivan.v@mail.ru

¹Kostanay branch of the Scientific Production Center of Agricultural Engineering, Kostanay, Republic of Kazakhstan;

²A. Baitursynov Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan



Abstract. The authors carried out field tests of differentiated fertilization system "Agronavigator-Dozator" installed on a cultivator-fertilizer for intra-soil application of granular mineral fertilizers in the conditions of Northern Kazakhstan. (*Research purpose*) To determine the effect of differentiated fertilization system on agrotechnical, energy, operational and technological and economic indexes of the cultivator-fertilizer in field conditions. (*Materials and methods*) The authors carried out agrochemical soil survey according to the officially approved method. They made an electronic task map. They used the methodology for determining the conditions of field tests, agrotechnical, energy, operational and technological and energy assessments that met the current regulatory documentation requirements. Field tests of differentiated fertilization system were carried out during the second flat-cut processing of the steam field with simultaneous intra-soil granular mineral fertilizers application. (*Results and discussion*) The authors found out that the use of differentiated fertilization system "Agronavigator-Dozator" reduced the actual dose of application from 95 to 40 kilograms per hectare. It was determined that the presence of a parallel driving mode in the system under study reduced the amount of overlap of adjacent aisles, thereby increasing shift productivity - from 4.25 to 4.32 hectares per hour, unit energy consumption decreased from 88.1 to 86.6 megajoules per hectare, and the specific fuel consumption decreased from 14.41 to 14.16 kilograms per hectare. The economic effect of the use of differentiated fertilization system "Agronavigator-Dozator" amounted to 630.6 thousand rubles per year. (*Conclusions*) The authors proved that differential fertilization system "Agronavigator-Dozator" effect the actual dose of fertilization, which decreased by 57.6 percent. It was found that a decrease in the overlap of adjacent aisles increased shift productivity, reduced specific fuel consumption and specific energy consumption by 1.7 percent. It was calculated that the total sum of money was reduced by 36 percent due to the use of differentiated fertilization system "Agronavigator-Dozator".

Keywords: differentiated fertilization system, field tests, cultivator-fertilizer, mineral fertilizers, fertilizer application rate, economic efficiency.

For citation: Derpaskin A.I., Kuvaev A.N., Tokarev I.V. Polevye issledovaniya kul'tivatora-udobritelya s sistemoy differentsirovannogo vneseniya mineral'nykh udobreniy [Cultivator-fertilizer field tests using a differential fertilization system]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 46-52 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52.

Учитывая мировые тенденции по внедрению цифровых технологий в различные отрасли экономики, в Республике Казахстан приняли Государственную программу «Цифровой Казахстан». Одна из ее основных задач – внедрение геоинформационных систем в сельское хозяйство, или так называемого точного земледелия с целью получения максимально возможного урожая и экономической выгоды при минимизации финансовых вложений и воздействия на окружающую среду. Подтверждение экономической и экологической эффективности внедрения технологий точного земледелия можно найти в работах зарубежных [1-3] и российских исследователей [4-6]. В частности, использование технологий точного земледелия обеспечивает рост урожайности, повышение окупаемости удобрений в 1,5-1,7 раза, снижение агрохимической нагрузки на окружающую среду на 35,60% [6].

Центральное место в точном земледелии занимает технология дифференцированного внесения удобрений (ДВУ), которая позволяет изменять дозу удобрений на различных участках поля в зависимости от потенциального плодородия [7-9]. Ученые России и Казахстана активно работают над созданием как технологических основ ДВУ, так и соответствующих технических средств. Например, разработан алгоритм оценки точности геоинформационных систем при дифференцированном внесении удобрений [10]. Имеется технология ДВУ для беспилотных летательных

аппаратов [11]. Предложена методика создания электронных карт-заданий, необходимых для географической привязки доз внесения удобрений к элементарным участкам поля [12]. Обоснованы параметры дозирующего устройства [13]. Созданы рабочие органы для внутрисочвенного внесения минеральных удобрений, электронная схема системы ДВУ [14, 15].

В Костанайском филиале ТОО «НПЦ агроинженерии» в рамках выполнения прикладных научных исследований в области агропромышленного комплекса проводили работы по выбору и адаптации системы ДВУ с применением имеющихся машин для выполнения данной технологической операции.

На предыдущих этапах исследований мы выбрали оптимальную систему ДВУ – «Агронавигатор-Дозатор» [16]. Она состоит из навигационного комплекса с монтажным устройством, ГЛОНАСС/GPS антенны, исполнительных механизмов (актуаторов), кабелей питания и связи. Проверили работоспособность указанной системы ДВУ на машине для внутрисочвенного внесения гранулированных минеральных удобрений в лабораторных условиях. Установили, что система обеспечивает автоматическую регулировку дозы внесения удобрений в соответствии с электронной картой-заданием с отклонением фактической дозы от заданной на уровне 2,1-5,0%, что соответствует установленным агротехническим требованиям.

Для получения информации о работоспособности системы ДВУ «Агронавигатор-дозатор» в полевых ус-

ловиях провели производственные испытания в ТОО «НПЦЗХ им. Бараева» Акмолинской области.

Систему ДВУ установили на культиватор-удобритель для внутривспашечного внесения минеральных удобрений (рис. 1).



Рис. 1. Культиватор-удобритель для внутривспашечного внесения минеральных удобрений (общий вид)

Fig. 1. Cultivator-fertilizer for intra-soil application of mineral fertilizers (general view)

Его технические характеристики:

- способ агрегатирования – прицепной;
- конструктивная ширина захвата – 7,2 м;
- тип рабочих органов – плоскорезущий;
- количество рабочих органов – 13 ед.;
- объем бункеров – 2 м³;
- рабочая скорость – 7-9 км/ч.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – определить влияние системы ДВУ «Агронавигатор-дозатор» на агротехнические, энергетические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели работы культиватора-удобрителя в производственных условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Система ДВУ обеспечивает выполнение технологии в соответствии с электронной картой-заданием, составленной по результатам агрохимического обследования почвы. Поле, подлежащее агрохимическому анализу (паровое поле), разделили на 76 элементарных участков площадью 5 га каждый.

Агрохимическое обследование почвы проводилось аккредитованной испытательной лабораторией в соответствии с «Правилами проведения агрохимического обследования почв».

Требуемую дозу азотсодержащих удобрений для каждого элементарного участка рассчитали по формуле:

$$D_{N_{\text{кг.д.в.}(i)}} = (N_{\text{опт}} - N_{\text{факт}}) \cdot K, \quad (1)$$

где $D_{N_{\text{кг.д.в.}}}$ – требуемая доза удобрений, кг д.в./га;

$N_{\text{опт}}$ – оптимальное содержание $N\text{-NO}_3$ в почве, мг/кг почвы ($N_{\text{опт}} = 12$ мг/кг почвы);

$N_{\text{факт}}$ – фактическое содержание $N\text{-NO}_3$ в почве i -го

элементарного участка, мг/кг почвы;

K – эквивалент азотных удобрений, необходимый для восполнения в почве 1 мг $N\text{-NO}_3$, кг почвы·кг.д.в./мг.га ($K = 7,5$ кг почвы·кг д.в./мг.га).

В ходе испытаний использовали методику оценки условий испытаний – по ГОСТ 20915, методику оценки агротехнических показателей – по ГОСТ 33687 и ГОСТ 28714, методику энергетической оценки – по ГОСТ Р 52777, эксплуатационно-технологическую оценку – по ГОСТ 24055, оценку экономической эффективности – по СТ РК ГОСТ Р 53056.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Элементарные участки поля распределили по классам в соответствии с обеспеченностью почвы подвижными формами питательных (рис. 2).

По степени обеспеченности P_2O_5 48 элементарных участков (63%) относятся к I и II классам (очень низкая и низкая) – 0-30 мг/кг почвы; 9 участков (12%) – к III классу (средняя или оптимальная) – 30-100 мг/кг почвы; 19 участков (25%) – к IV классу (повышенная) – более 100 мг/кг почвы.

По степени обеспеченности $N\text{-NO}_3$ 31 элементарный участок (41%) относится к I и II классам (очень низкая и низкая) – 0-12 мг/кг почвы; 19 участков (25%) – к III классу (средняя или оптимальная) – 12-20 мг/кг почвы; 26 участков (34%) – к IV классу (повышенная) – более 20 мг/кг почвы.

В качестве источника азотных удобрений использовали аммиачную селитру с содержанием азота в сухом веществе 34%. Дифференцированная доза внесения в зависимости от обеспеченности элементарных участков $N\text{-NO}_3$ составляла:

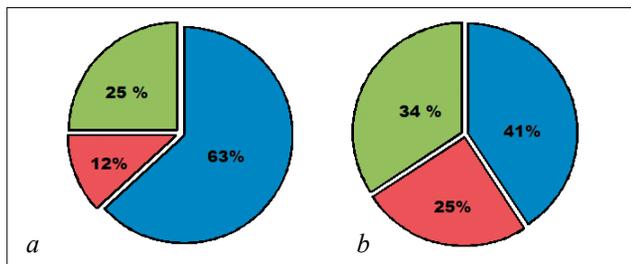
- для участков I и II классов – 10,4-83,2 кг д.в/га (30-240 кг физического веса);
- для участков III и IV классов – 0 кг д.в/га.

При сплошном внесении без использования системы ДВУ в качестве базового варианта для сравнения применяли этот же культиватор-удобритель, работающий в идентичных условиях с отключенной системой ДВУ. Доза внесения была постоянной и составила 32,8 кг.д.в/га (95 кг физического веса).

В качестве энергетического средства задействовали трактор «Кировец» К-744Р2 тягового класса 6 (рис. 3). На агрегат установили компоненты системы ДВУ (рис. 4).

Производственные испытания проводили на этапе второй плоскорезной обработки парового поля с одновременным внутривспашечным внесением гранулированных минеральных удобрений. Сначала паровое поле обработали гербицидами. Основной вид сорняков представлен осотом, полынью и полевым вьюнком. Засоренность почвы сорняками составила 19 шт/м², пожнивными остатками – 51 шт/м².

Механический состав почвы представлен тяжелыми суглинками, тип почв – южный чернозем. Средняя твердость почвы в слое 0-20 см составила 3,2 МПа,



- участки I и II класса (низкая обеспеченность)
areas of I and II class (low supply)
- участки III класса (средняя обеспеченность)
area of III class (average supply)
- участки IV класса (повышенная обеспеченность)
area of IV class (increased supply)

Рис. 2. Распределение элементарных участков поля по степени обеспеченности почвы подвижными формами питательных веществ:

Fig. 2. Distribution of elementary field areas according to the degree of soil supply with mobile forms of nutrients:
a – P₂O₅; b – N-NO₃

влажность –13,7%, плотность – 1,3 г/см³.

Результаты сравнительной агротехнической оценки представлены в таблице 1, энергетической – в таблице 2, эксплуатационно-технологической – в таблице 3.

Агротехническая оценка показала, что по всем перечисленным показателям агрегат «Агронавигатор-дозатор», оснащенный системой ДВУ, обеспечивает качество выполнения технологического процесса в соответствии с требованиями нормативного документа (табл. 1). Система ДВУ из всех перечисленных по-



Рис. 3. Агрегат, состоящий из трактора «Кировец» К-744Р2 и культиватора-удобрителя, оборудованного системой ДВУ
Fig. 3. A unit consisting of the Kirovets K-744R2 tractor and a cultivator-fertilizer equipped with a differentiated fertilization system



Рис. 4. Общий вид компонентов системы ДВУ:
a – навигационный комплекс «Агронавигатор плюс»;
b – ГЛОНАСС/GPS антенна; c – актуатор
Fig. 4. General view of the components of differentiated fertilization system: a – navigation complex "Agronavigator plus";
b – GLONASS/GPS antenna; c – actuator

казателей оказывала наибольшее влияние на фактическую дозу внесения удобрений.

Соответствие фактической дозы внесения удобрений заданной с учетом допустимого отклонения при использовании системы ДВУ позволяет сделать вывод о том, что все компоненты системы, отвечающие за автоматическое изменение дозы внесения при дви-

Таблица 1	СРАВНИТЕЛЬНАЯ АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА			Table 1
COMPARATIVE AGROTECHNICAL ASSESSMENT				
Показатели Indicators	По НД* и ТЗ* According to regulatory documents and terms of reference	Агрегат без системы ДВУ* Unit without differentiated fertilization system	Агрегат с системой ДВУ* Unit with differentiated fertilization system	
Доза внесения заданная, кг/га Specified application rate, kg/ha	20-260	95,0	40,0	
Доза внесения фактическая, кг/га Actual application rate, kg/ha	–	98,3	41,2	
Отклонение фактической дозы от заданной, % Deviation of the actual dose from the specified, %	±5,0	3,5	2,7	
Неравномерность распределения удобрений по ширине захвата, % Uneven distribution of fertilizers across the working width, %	≤10,0	5,4	5,6	
Глубина обработки, см Processing depth, cm	12-20	15,5	15,6	
Крошение почвы, % Soil crumbling, %	≥60,0	65,1	64,5	
Высота гребней, см Combs height, cm	≤8,0	6,2	6,4	
Подрезание сорных растений, % Cutting of weeds, %	100	100	100	

* НД – нормативный документ; ТЗ – техническое задание; ДВУ – дифференцированное внесение удобрений

Таблица 2		Table 2	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА COMPARATIVE ENERGY ASSESSMENT			
Показатели Indicators	Агрегат без системы ДВУ* Unit without differentiated fertilization system	Агрегат с системой ДВУ* Unit with differentiated fertilization system	
Скорость движения, км/ч Motion speed, km/h	8,0	8,0	
Часовой расход топлива, кг/ч Fuel consumption per hour, kg/h	61,2	61,2	
Мощность на преодоление тягового сопротивления, кВт Power to overcome traction resistance, kW	132,8	133,0	
Тяговое сопротивление, кН Traction resistance, kN	53,1	53,2	
Обороты вентилятора, мин ⁻¹ Fan speed, min ⁻¹	2400	2400	
Мощность, затрачиваемая на привод вентилятора, кВт Power consumed to drive the fan, kW	1,8	1,8	
Мощность, потребляемая орудием, кВт Power consumed by the tool, kW	134,6	134,8	
Удельные энергозатраты, МДж/га Specific energy consumption, MJ/ha	88,1	86,6	
Производительность за 1 ч основного времени, га Productivity for 1 hour of main time, ha	5,5	5,6	
* ДВУ – дифференцированное внесение удобрений			

жении агрегата по полю, а также высеваящие аппараты орудия откалиброваны и отрегулированы с достаточной степенью точности.

По результатам энергетической оценки установлено, что в целом система ДВУ не оказывает существенного влияния на такие показатели, как тяговое сопротивление, тяговая мощность (табл. 2). При этом

за счет уменьшения величины перекрытия и увеличения производительности удельные энергозатраты снижаются на 1,7% – с 88,1 до 86,6 Мдж/га.

Входящий в состав системы ДВУ навигационный комплекс с функцией параллельного вождения позволил уменьшить величину перекрытия смежных проходов агрегата с 0,30 до 0,18 м, благодаря чему рабо-

Таблица 3		Table 3	
ПОКАЗАТЕЛИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ INDICATORS OF COMPARATIVE OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL ASSESSMENT			
Показатели Indicators	Агрегат без системы ДВУ* Unit without differentiated fertilization system	Агрегат с системой ДВУ* Unit with differentiated fertilization system	
Рабочая скорость, км/ч Working speed, km/h	8,0	8,0	
Конструктивная ширина захвата, м Constructive capture width, m	7,2	7,2	
Рабочая ширина захвата, м Working capture width, m	6,90	7,02	
Величина перекрытия, м Overlap size, m	0,30	0,18	
Производительность за 1 ч, га/ч: Productivity for 1 hour, ha/h: основного времени / main time сменного времени / shift time эксплуатационного времени / operational time	5,52 4,25 4,25	5,62 4,32 4,32	
Коэффициенты использования времени: Time utilization rates: сменного / shift time эксплуатационного / operational time	0,77 0,77	0,77 0,77	
Удельный расход топлива, кг/га Specific fuel consumption, kg/ha	14,41	14,16	
* ДВУ – дифференцированное внесение удобрений			



чая ширина захвата агрегата возросла на 1,7% (табл. 3). В результате на 1,7% повысилась сменная производительность и снизился удельный расход топлива.

Коэффициенты использования сменного и эксплуатационного времени в двух сравниваемых вариантах составили 0,77, поскольку за время проведения производственных испытаний технических отказов в работе агрегата и системы ДВУ не наблюдалось.

Результаты сравнительной экономической оценки, проведенной в 2020 г., показали, что применение системы ДВУ позволяет получить годовой экономический эффект в размере 630,6 тыс. рублей (3518,8 тыс. тенге), снизить совокупные затраты на 36%, при этом срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет не более 1 года.

Выводы. Установили, что в условиях Северного Казахстана основной экономический эффект от применения системы ДВУ «Агронавигатор-дозатор» получен благодаря снижению фактической дозы внесения минеральных удобрений на 57,6% (с 95 до 40 кг/га). Применение электронных карт-заданий с дифференцированной дозой внесения минеральных удобрений позволило сократить их расход и, соответственно, затраты денежных средств на закупку.

Управление агрегатом в режиме параллельного вождения сузило величину перекрытия смежных проходов с 0,30 до 0,18 м, что повысило сменную производительность на 1,7% (с 4,25 до 4,32 га/ч), сократило расход удобрений на уже обработанную площадь, уменьшило удельный расход топлива на 1,7% (с 14,41 до 14,16 кг/га), снизило удельные затраты энергии на 1,7% (с 88,1 до 86,6 Мдж/га). Результатом стала экономия денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала, горюче-смазочные материалы, амортизацию, ремонт и техническое обслуживание.

Экономический эффект от применения системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» составил 630,6 тыс. рублей в год. Совокупные затраты снизились на 36%. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет не более 1 года.

Благодарности. Авторы статьи выражают благодарность лаборатории точного земледелия ТОО «НПЦЗХ им. Бараева» (Республика Казахстан, Акмолинская область, пос. Научный), Скобликову В.Ф., Заболотских В.В. и Лисеновичу А.И. за оказание помощи при подготовке и проведении производственных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vecchio Y., De Rosa M., Adinolfi F., Bartoli L., Masi. M. Adoption of precision farming tools: A context-related analysis. *Land use policy*. 2020. N94(C).
2. Finger R., Swinton S.M., Benni N., Walter A. Precision Farming at the nexus agricultural production and the environment. *Annual Review of Resource Economics*. 2019. N11. 313-335.
3. Vecchio Y., Agnusdei G., Miglietta P., Capitanio F. Adoption of precision farming tools: The case of Italian farmers. *International journal of environmental research and public health*. 2020. N17(3). 869.
4. Якушев В.В. Точное земледелие. Теория и практика. Спб.:АФИ. 2016. 364 с.
5. Анищенко А.Н. «Умное» сельское хозяйство как перспективный вектор роста аграрного сектора экономики России // *Продовольственная политика и безопасность*. 2019. N2. С. 97-108.
6. Якушев В.П., Якушев В.В. Перспективы «умного сельского хозяйства» в России // *Вестник Российской Академии Наук*. 2018. Т. 88. N9. С. 773-784.
7. Еремин Д.И., Кибук Ю.П. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия // *Вестник КрасГАУ*. 2017. N8. С. 17-26.
8. Труфляк Е.В. Дифференцированные технологии. Краснодар: КубГАУ. 2016. 44 с.
9. Труфляк Е.В. Основные элементы системы точного земледелия. Краснодар: КубГАУ. 2016. 39 с.
10. Личман Г.И., Колесникова В.А., Марченко Н.М., Марченко А.Н. Разработка алгоритма оценки точности систем позиционирования ГЛОНАСС/GPS при дифференцированном внесении удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. N2. С 4-8.
11. Марченко Л.А., Артюшин А.А., Смирнов И.Г. Технология внесения пестицидов и удобрений беспилотными летательными аппаратами в цифровом сельском хозяйстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N5. С. 38-45.
12. Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение удобрений с использованием спутниковой навигации // *Агрехимия*. 2018. N9. С. 40-49.
13. Sugirbay A.M., Zhao J., Nukeshev S.O., Chen J. Determination of pin-roller parameters and evaluation of the uniformity of granular fertilizer application metering devices in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 179. 105835.
14. Nukeshev S., Eskhozhin K., Rammaniuk M., Tleumbetov K., Kosatbekova D. Technological and technical solutions to the problem of soil compaction and depletion in the system of precision farming in the conditions of northern Kazakhstan. *Mechanization in agriculture & conserving of the resources*. 2019. N3. 95-99.
15. Канаев М.А., Карпов О.В., Васильев С.А., Фатхудинов М.Р. Разработка системы автоматизации дифференцированного внесения удобрений при посеве // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. N1. С. 58-62.
16. Токарев И.В., Куваев А.Н., Дерепаскин А.И., Бобков С.И. Выбор системы дифференцированного внесения удобрений и результаты лабораторных испытаний в Северном Казахстане // *Тракторы и сельхозмашины*. 2020. N3. С. 28-35.

REFERENCES

1. Vecchio Y., De Rosa M., Adinolfi F., Bartoli L., Masi. M. Adoption of precision farming tools: A context-related analysis. *Land use policy*. 2020. N94 (In English).
2. Finger R., Swinton S.M., Benni N., Walter A. Precision Farming at the nexus agricultural production and the environment. *Annual Review of Resource Economics*. 2019. N11. 313-335 (In English).
3. Vecchio Y., Agnusdei G., Miglietta P., Capitanio F. Adoption of precision farming tools: The case of Italian farmers. *International journal of environmental research and public health*. 2020. 17(3) (In English).
4. Yakushev V.V. Tochnoe zemledelie. Teoriya i praktika. [Precision farming. Theory and practice]. SPb.: FGBNU AFI. 2016. 364 (In Russian).
5. Anishchenko A.N. «Umnoe» sel'skoe khozyaistvo kak perspektivnyy vektor rosta agrarnogo sektora ekonomiki Rossii [«Smart» agriculture as a promising vector of growth of agrarian sector of economy in Russia]. *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'*. 2019. N2. 97-108 (In Russian).
6. Yakushev V.P., Yakushev V.V. Perspektivy «umnogo sel'skogo khozyaistva» v Rossii [Prospects for "smart agriculture" in Russia]. *Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk*. 2018. N9. 773-784 (In Russian).
7. Eryomin D.I., Kibuk Yu.P. Differentsirovannoe vnesenie udobreniy kak innovatsionnyy podkhod v sisteme tochnogo zemledeliya [Differentiated application of fertilizers as an innovative approach in the system of precision farming]. *Vestnik Kras GAU*. 2017. N8. 17-26 (In Russian).
8. Truflyak E.V. Differentsirovannyye tekhnologii [Differentiated technologies]. Krasnodar: KubGAU. 2016. 44 (In Russian).
9. Truflyak E.V. Osnovnye elementy sistemy tochnogo zemledeliya [The main elements of the precision farming system]. Krasnodar: KubGAU. 2016. 39 (In Russian).
10. Lichman G.I., Kolesnikova V.A., Marchenko N.M., Marchenko A.N. Razrabotka algoritma otsenki tochnosti sistem pozitsionirovaniya GLONASS/GPS pri differentsirovannom vnesenii udobreniy [Algorithm development for assessment of accuracy positioning systems GLONASS/GPS with differentiated application of fertilizers]. *Sel'skohozyajstvennyye mashiny I tekhnologii*. 2017. N2. 4-8 (In Russian).
11. Marchenko L.A., Artyushin A.A., Smirnov I.G. Tekhnologiya vneseniya pestitsidov i udobreniy bespilotnymi letatel'nymi apparatami v tsifrovom sel'skom khozyaistve [Technology of pesticides and fertilizers application with unmanned aerial vehicles in digital agriculture]. *Sel'skohozyajstvennyye mashiny I tekhnologii*. 2019. N13. 38-45 (In Russian).
12. Abramov N.V., Sherstobitov S.V. Differentsirovannoe vnesenie udobreniy s ispol'zovaniem sputnikovoy navigatsii [Differential Application of Nitrogen Fertilizers using Satellite Navigation]. *Agrohimiya*. 2018. N9. 40-49 (In Russian).
13. Sugirbay A.M., Zhao J., Nukeshev S.O., Chen J. Determination of pin-roller parameters and evaluation of the uniformity of granular fertilizer application metering devices in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 179. 105835 (In English).
14. Nukeshev S., Eskhozhin K., Rammaniuk M., Tleumbetov K., Kosatbekova D. Technological and technical solutions to the problem of soil compaction and depletion in the system of precision farming in the conditions of northern Kazakhstan. *Mechanization in agriculture & conserving of the resources*. 2019. N3. 95-99 (In English).
15. Kanaev M.A., Karpov O.V., Vasil'ev S.A., Fathudinov M.R. Razrabotka sistemy avtomatizatsii differentsirovannogo vneseniya udobreniy pri poseve [Development of a differentiated automation system application of fertilizers during sowing]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skohozyaystvennoy akademii*. 2017. N1. 58-62 (In Russian).
16. Tokarev I.V., Kuvaev A.N., Derepaskin A.I., Bobkov S.I. Vybory sistemy differentsirovannogo vneseniya udobreniy i rezul'taty laboratornykh ispytaniy v Severnom Kazakhstane [Selection of the optimal system of differentiated application of mineral fertilizers for soil and climatic conditions of Kostanay region]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2020. N3. 28-35.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 10.02.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 10.02.2021**

**Статья принята к публикации 09.03.2021
The paper was accepted
for publication on 09.03.2021**