

Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы

Сергей Иванович Старовойтов,
доктор технических наук, доцент, заведующий
лабораторией, e-mail: starovoytov.si@mail.ru;
Юлия Сергеевна Ценч,
кандидат педагогических наук, доцент;

Валерий Михайлович Коротченя,
кандидат экономических наук,
ведущий научный сотрудник;
Геннадий Иванович Личман,
доктор технических наук, главный специалист

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Производство почвообрабатывающей техники ориентировано на растущее применение почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия и использование принципов точного сельского хозяйства в почвообработке. Возникло понятие дифференцированной обработки почвы, которая занимает промежуточное положение между традиционной и противозероэрозийной (неглубокой) обработками. Провели анализ технических систем цифрового контроля качества обработки почвы с учетом указанных тенденций. Показали, что в научной литературе существует определенная несогласованность в наименованиях систем обработки почвы. (*Цель исследования*) Представить аналитический обзор технических систем цифрового контроля качества обработки почвы. (*Материалы и методы*) Использовали проспекты компаний-производителей почвообрабатывающей техники, патенты и научные работы. (*Результаты и обсуждение*) Рассмотрели существующие на мировом рынке коммерческие предложения в сфере дифференцированной обработки почвы и системы цифрового контроля качества. Представили анализ аналогичных решений, имеющихся в мировой научной литературе. Изучили вопросы контроля угла атаки дисков, глубины обработки почвы, гребнистости поверхности почвы, средних размеров комков почвы, количества пожнивных остатков, определения свойств почвы бесконтактным способом. Выявили разрозненность научных и производственных разработок в сфере контроля качества обработки почвы. Предложили объединить их в одну систему, чтобы автоматизировать процесс дифференцированной почвообработки. (*Выводы*) Показали, что почвообрабатывающая техника становится все более адаптируемой в плане выполнения специфических требований фермера к обработке почвы. Определили перспективные направления для будущего развития почвообрабатывающих машин: включение в одну систему разных подсистем цифрового контроля качества обработки почвы и автоматизация дифференцированной почвообработки. **Ключевые слова:** цифровой контроль качества обработки почвы, почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие, автоматизация дифференцированной обработки почвы.

■ **Для цитирования:** Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №1. С. 16-21. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.

Technical Systems for Digital Soil Quality Control

Sergey I. Starovoytov,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor,
head of the laboratory
e-mail: starovoytov.si@mail.ru;
Yulia S. Tsench,
Ph.D.(Ed.), associate professor;

Valery M. Korotchenya,
Ph.D.(Econ.), leading researcher;
Gennady I. Litchman,
Dr.Sc.(Eng.), chief specialist

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The production of tillage equipment is focused on the growing use of soil-protective and resource-saving farming and the use of the precision agriculture in tillage principles. The differentiated tillage concept arose, and occupied an intermediate position between traditional and anti-erosion (shallow) types of tillage. The authors conducted an analysis of technical systems for tillage quality digital control taking into account the indicated trends. They indicated that there was a certain inconsistency in the soil cultivation systems names in the scientific literature. (*Research purpose*) To provide an analytical overview of the tillage digital quality control technical systems. (*Materials and methods*) The authors used manufacturers' brochures of tillage equipment, patents and scientific works. (*Results and discussion*) The authors examined the commercial offers existing in the world market



in the differentiated tillage and digital quality control systems spheres. They presented an analysis of similar solutions available in the world scientific literature. They studied the issues of controlling the angle of disks' attack, the depth of tillage, the soil surface ridging, the average size of the soil lumps, the amount of crop residues, determining the soil properties in a non-contact way. They identified the fragmentation of scientific and industrial developments in the sphere of tillage quality control. They suggested combining them into one system to automate the process of differentiated tillage. (*Conclusions*) It was shown that tillage equipment is becoming more adaptable in terms of meeting the specific requirements of the farmer for tillage. The authors identified promising areas for the future development of tillage machines: the inclusion of different subsystems of tillage quality digital control in the same system and the automation of differentiated tillage.

Keywords: tillage digital quality control, soil-protecting and resource-saving agriculture, automation of differentiated tillage.

■ **For citation:** Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Lichman G.I. Tekhnicheskie sistemy tsifrovogo kontrolya kachestva obrabotki pochvy [Technical systems for digital soil quality control]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 16-21 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.

В мире прослеживаются несколько тенденций в области земледелия, которые определяют направления развития почвообработки. Самая главная, имеющая отношение к предмету нашего исследования, – это растущее применение в мире почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия (*conservation agriculture*) [1].

По данным ФАО (*The Food and Agriculture Organization of the United Nations*), в отношении сельскохозяйственных земель целью почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия выступает сохранение почвы как природного ресурса на основе принципов минимального механического разрушения структуры почвы, наличия постоянного органического почвенного покрова (не менее 30% поверхности почвы), соблюдения севооборотов. Минимальная обработка почвы представляет собой один из способов секвестрации углерода, что может смягчить проблему потепления климата [2]. Данный тезис представлен в обращении к человечеству в ноябре 2019 г. более 11 тыс. ученых из 153 стран, которые предупредили о чрезвычайной ситуации в изменении климата [3].

В научной литературе существует определенная несогласованность в наименованиях систем обработки почвы. В настоящей работе принят один из подходов ФАО, которая предлагает следующую классификацию [4, 5]:

- 1) традиционная обработка почвы (*conventional tillage*);
- 2) противоэрозийная/неглубокая обработка почвы (*conservation/low tillage*):
 - ограниченная/минимальная обработка почвы (*reduced/minimum tillage*);
 - полосная обработка почвы (*strip tillage*);
 - гребневая обработка почвы (*ridge tillage*);
- 3) нулевая/беспашотная обработка почвы (*zero/no tillage*).

Более детальная классификация систем обработки почвы изложена в руководстве ФАО [6].

ФАО приводит статистические данные о применении данных видов систем в ряде стран (*табл. 1*). Насколько нам известно, Росстат или Минсельхоз Рос-

сии не ведут статистики по таким показателям.

Согласно данным Минсельхоза США, в Америке используют несколько иную классификацию, чем у ФАО [7].

Следующая тенденция – это развитие точного сельского хозяйства, принципы которого не так давно стали применять и в почвообработке. Возникло понятие дифференцированной обработки почвы (*variable rate, variable depth, variable intensity, site-specific, precision tillage*).

В рамках одного поля уплотнение почвы и наличие пожнивных остатков различные, что требует дифференцированного, а не гомогенного подхода к пахоте.

Дифференцированная обработка снижает энергозатраты и повышает экономическую эффективность.

Наконец, сокращается механическое воздействие на почву, что предотвращает ее эрозию. Следовательно, представленные здесь и первая, и вторая тенденции развития земледелия взаимосвязаны.

Дифференцированный подход занимает промежуточное положение между традиционной и противоэрозийной (неглубокой) обработками почвы. Даже когда его используют в рамках традиционного варианта, механическое воздействие на почву сокращается, способствуя сохранению плодородия почвы. Его можно применять и при противоэрозийной обработке, например, изменяя глубину при полосной системе.

Машины для дифференцированной обработки почвы позволяют операторам варьировать не только глубину обработки, но и степень воздействия – от легкой вертикальной до агрессивной традиционной обработки почвы (и в промежутке между ними).

Изменение степени обработки почвы вызвано различным состоянием полей, включая почвенно-климатические (погодные) условия и количество пожнивных остатков, а также определенными предпочтениями фермеров в отношении агрономической политики их предприятия. Например, нулевая обработка почвы нецелесообразна на очень увлажненных почвах, а чрезмерно большое количество остатков на поле может потребовать более агрессивного воздействия.

Необходимость варьирования глубины и степени

Таблица 1 Table 1 ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В 2016 г., % ОТ ОБЩЕЙ ПЛОЩАДИ ТРЕХ СИСТЕМ APPLICATION OF SOIL TILLAGE SYSTEMS IN SOME COUNTRIES IN 2016, % OF THE THREE SYSTEMS TOTAL AREA			
Страны / Countries	Традиционная / Conventional	Противоэрозийная / Erosion control	Нулевая / Zero tillage
Австрия Austria	63,6	34,3	2,0
Бельгия* Belgium*	79,4	10,8	9,7
Германия Germany	56,7	42,4	0,8
Дания* Denmark*	88,1	10,5	1,3
Канада Canada	17,3	23,7	59,0
Нидерланды Netherlands	83,6	15,3	1,1
Норвегия Norway	36,8	6,4	56,8
Португалия Portugal	46,7	51,2	2,1
Финляндия Finland	61,7	28,8	9,5
Франция France	63,6	32,7	3,7

* 2017 г.

Таблица 2 Table 2 ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В США, % ОТ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПЛОЩАДИ THE USE OF SOIL TILLAGE SYSTEMS IN THE USA, % OF THE CULTIVATED AREA					
Культуры Crop	Традиционная Conventional	Мульчирующая Mulching	Нулевая Zero	Не установлено Not determined	Год Year
Пшеница Wheat	31,5	22,4	44,6	1,6	2017
Кукуруза Corn	32,6	37,4	27,4	2,6	2016
Соя Soybeans	28,7	30,6	39,9	0,8	2012
Хлопок Cotton	56,9	22,7	18,3	2,2	2015

обработки почвы привела в итоге к созданию универсальных почвообрабатывающих машин, оснащенных электронными устройствами для мониторинга и контроля процесса почвообработки, в том числе его качества.

Хотя подход к дифференцированной обработке почвы возник еще в 60-70-х годах XX века, разработка цифрового контроля обработки почвы пришлось на эпоху точного земледелия.

Рассмотрим несколько существующих на рынке коммерческих предложений в сфере дифференцированной обработки почвы и систем контроля качества. А затем представим ряд аналогичных решений, имеющих в мировой научной литературе. Отметим, что со стороны отечественных производителей пока отсутствует внедрение элементов электроники в процесс почвообработки.

Цель исследования – представить аналитический

обзор технических систем цифрового контроля качества обработки почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Использовали проспекты компаний-производителей почвообрабатывающей техники, патенты и научные работы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Компания *Summers Manufacturing* (США) пришла к дифференцированной обработке почвы, соединив в одной машине возможность вертикальной и традиционной обработки.

Обычная обработка почвы происходит в горизонтальной плоскости, в результате чего в почве создаются слои повышенной плотности от различных орудий (плуга, бороны, культиватора и других агрегатов), и корни растений растут в большей степени горизонтально. При вертикальной обработке рабочие органы почвообрабатывающей техники входят в почву вертикально и также вертикально выходят, исключая движение земли в горизонтальном направлении.



В этом случае слои повышенной плотности не возникают, и корневая система растений развивается вглубь. Такой агрономический прием ведет к повышению урожайности.

Впервые компания представила агрегат для вертикальной обработки почвы в 1999 г. В нем используются специальные диски, называемые турбоколлекторами. В 2015 г., учитывая спрос со стороны фермеров, на рынок поступила универсальная машина, сочетающая в себе возможности как вертикальной, так и обычной почвообработки: регулирование параметров осуществляется цифровым способом из кабины трактора. Так, с помощью бортового компьютера оператор может на ходу регулировать угол атаки передних и задних дисков (от 0 до 19°), гидравлическое сцепное устройство, глубину обработки почвы, копирующие колеса, давление прижима выравнивающей доски и прижимное усилие прикатывающего катка.

Регулируют и настраивают параметры работы почвообрабатывающих машин через специальное программное обеспечение *iControl* и расположенные на агрегате сенсоры. В качестве связи используют *Wi-Fi*. Система поддерживает протокол *ISOBUS*.

В настоящее время компания задумывается над автоматической обработкой почвы, когда необходимые параметры подбираются и варьируются от участка поля к участку автоматически.

Фирма *Topcon Positioning Systems* (США) в 2018 г. представила совместимую с протоколом *ISOBUS* систему контроля глубины обработки почвы (*NORAC Tillage Depth Control system*) на основе ультразвуковых сенсоров. Они размещены над передними и задними дисками, симметрично – слева и справа. Система автоматически поддерживает заданную глубину в условиях различных типов почв и рельефов. Сенсоры посредством ультразвука точно определяют глубину исходя из имеющихся на пути препятствий. Они четко отличают почву от остатков. Глубина обработки задается через бортовой компьютер (в том числе на ходу). На почвообрабатывающих агрегатах, оборудованных гидравликой, возможна установка автоматического контроля движения вперед/назад, что обеспечивает параллельность агрегата почве.

Компания *Gates Manufacturing* (США) в 2017 г. получила патент (*US 9668399 B2* от 06.06.2017) на динамическую адаптивную систему крошения почвы (*Dynamic Adapt Soil Conditioning System*). Ее устанавливают на определенные модели почвообрабатывающей техники, что позволяет осуществлять дифференцированную обработку почвы на ходу. Так, система отправляет сигналы от сенсорных цилиндров на блок управления, который передает данные по *Wi-Fi* в режиме реального времени на планшет в кабине. В свою очередь, система обрабатывает информацию и передает обратно в контроллер через *Wi-Fi*, который сигнализирует пропорциональным клапанам о необхо-

димости регулировки угла атаки.

С помощью установленных впереди фотосенсоров система поддерживает просмотр перед обработкой почвы, а ее программное обеспечение контролирует пропорциональные клапаны на агрегате, чтобы отрегулировать угол наклона диска для регулирования желаемого количества пожнивных остатков после прохода. В настоящее время угол атаки изменяется в пределах от 0 до 15° с размером шага в 0,5°.

Кроме того, компания думает о добавлении в их систему дополнительной опции машинного зрения.

В 2015 г. собственную технологию дифференцированной обработки почвы – *TruSet™ Tillage Technology* – предложила *John Deere* (США). У оператора появилась возможность изменять из кабины трактора глубину погружения в почву лап, дисковых ножей и прижимное усилие прикатывающего катка. Можно также заранее составить задание, и трактор будет выполнять его автоматически. Поддерживается как вертикальная, так и обычная обработка. Точность определения глубины – до 2,5 мм. Во время работы машины осуществляется сбор данных, которые можно представить в виде карт. В технологии применяются сенсоры положения и давления (патент *US 8573319 B1* от 05.11.2013).

На выставке сельскохозяйственной техники *Agritechnica* в Ганновере в 2015 г. сканер почвы *Topsoil Mapper* компании *Geoprospectors* (Австрия) удостоен серебряной медали. На основе принципа электромагнитной индукции установленный впереди трактора или автомобиля сканер бесконтактным способом измеряет электропроводность почвы (до глубины в 1,1 м), на основании чего определяются ее уплотнение, структура и влажность (патент *US 10345284 B2* от 09.07.2019 и др.). Сканер позволяет строить карты, а также в реальном режиме времени через *ISOBUS* осуществлять дифференцированную обработку почвы, управляя подключенной к трактору почвообрабатывающей машиной. Данная разработка заинтересовала компанию *CNH International*, и она добавила *Topsoil Mapper* в свой ассортимент продуктов.

Теперь рассмотрим научные разработки.

Австрийские ученые предложили систему управления скоростью вращения дисков бороны на основе определения гребнистости поверхности почвы с помощью машинного зрения – стереокамеры, установленной на передней части орудия [9]. Обработка ведется таким образом, чтобы после воздействия гребнистость поверхности почвы была одинаковой. Для измерения гребнистости используют стереокамеру, которая воспроизводит данный параметр в режиме реального времени. В ходе контроля процессом работы бороны найдена причинно-следственная связь между гребнистостью поверхности почвы, процентным содержанием комков определенного размера, измеренным с помощью анализа сухого просеивания

образцов почвы из посевного ложа и интенсивностью обработки почвы. Система интегрирована в приложение *ISOBUS* класса 3, которое контролирует частоту вращения ВОМ трактора, чтобы обеспечить однородную гребнистость поверхности почвы.

Оценка качества обработки почвы посредством машинного зрения заинтересовала группу иранских ученых [10]. Для исследования полученных фотографий почвы после ее механической обработки они применяли методологию текстурного анализа с использованием искусственных нейронных сетей (много-слойного перцептрона). Предложенный ими способ оценки качества обработки почвы состоял в том, что нейронная сеть классифицировала обработанную почву согласно 9 классам качества, под которыми понимались соответствующие средние размеры комков почвы (от самых мелких до самых крупных). Предполагается возможность достижения желаемого качества обработки почвы в режиме реального времени: во время выполнения операции оператор получает информацию о размерах комков почвы, и если есть необходимость скорректировать их величину, производится изменение параметров, таких как скорость движения трактора и глубина обработки почвы. Можно автоматизировать данный процесс также через соответствующее программное обеспечение и протокол *ISOBUS* (класс 3), когда согласно введенным оператором требованиям к почвообработке агрегат будет сам контролировать необходимые параметры своей работы и подчинять им движение трактора.

Сохранение или заделка пожнивных остатков на поле относятся к сфере качества обработки почвы. В условиях противозероэрозийной обработки почвы не менее 30% поверхности должно быть покрыто органическим покровом из растительных остатков. В свою очередь, традиционная обработка почвы предполагает заделку пожнивных остатков вплоть до 95%. Для оценки необходимой степени сохранения или заделки пожнивных остатков используют различные способы: от традиционных, таких как метод линейной трансекты, до самых продвинутых – с использованием смартфонов, дронов и дистанционного зондирования [11-15].

Мобильные устройства, оснащенные камерой и приложениями, могут выполнять адекватный цифровой анализ остатков урожая, особенно для полей с невысоким уровнем остатков (менее 30% поверхности), то есть преимущественно в случае традиционной обработки почвы [12].

Доступность высококачественных спутниковых данных (*Landsat 8*, *Sentinel-1*) и использование дронов, оснащенных системами технического зрения для получения мультиспектральных и гиперспектральных данных, позволяют провести относительно точную оценку площади поля, покрытой пожнивными остатками [13-15].

Существует также возможность осуществлять подобную оценку остатков на поле с помощью камер, установленных на тракторе. Предполагается корректировка данного показателя в ручном или автоматическом режиме. Заявка на данное изобретение подана компанией *John Deere* (US 2017/0112043 A1 от 27.04.2017).

Представленные аспекты цифрового контроля качества обработки почвы желательно объединить в одну автоматизированную систему. Это позволит осуществить автоматизацию процесса дифференцированной почвообработки.

Выводы

1. Принципы почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия вместе с дифференцированной обработкой почвы характеризуют современные тенденции развития почвообрабатывающей техники.
2. Дифференцированная обработка почвы занимает промежуточное положение между видами традиционной и противозероэрозийной (неглубокой) обработки почвы.
3. Почвообрабатывающая техника становится все более адаптируемой в плане выполнения специфических (дифференцированных) требований к обработке почвы, предъявляемых со стороны фермера.
4. Просматриваются перспективные направления для будущего развития почвообрабатывающих машин: включение в одну систему разных подсистем цифрового контроля качества обработки почвы и автоматизация дифференцированной почвообработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. 163.
2. Meena R.S., Kumar S., Yadav G.S. Soil Carbon Sequestration in Crop Production. Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production. Edited by R.S. Meena. Singapore: Springer. 2020. 1-39.
3. Ripple W.J., Wolf C., Newsome T.M., Barnard P., Moomaw W.R. World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience*. 2019. Vol. XX. NX. 1-5.
4. FAO. World programme for the census of agriculture 2020. Vol. 1. Programme, concepts and definitions. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. 190.
5. FAO. Программа всемирной сельскохозяйственной переписи 2020 года. Т. 1. Программа, понятия и определения. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. 2016. 210 с.
6. FAO. Manual on integrated soil management and conservation practices. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2000. 214.
7. Claassen R., Bowman M., McFadden J., Smith D., Wallander S.



Tillage Intensity and Conservation Cropping in the United States. Washington DC: United States Department of Agriculture. 2018. 21.

8. Bishop J.C., Grimes D.W. Precision tillage effects on potato root and tuber production. *American Potato Journal*. 1978. Vol. 55. N2. 65-71.

9. Riegler-Nurscher P., Moitzi G., Prankl J., Huber J., Karner J., Wagentristl H., Vincze M. Machine vision for soil roughness measurement and control of tillage machines during seedbed preparation. *Soil and Tillage Research*. 2020. Vol. 196. February. 1-9.

10. Ajdadi F.R., Gilandeh Y.A., Mollazade K., Hasanzadeh R. PR. Application of machine vision for classification of soil aggregate size. *Soil and Tillage Research*. 2016. Vol. 162. September. 8-17.

11. Daughtry C.S.T., McMurtrey J.E. III, Chappelle E.W., Hunter W.J., Steiner J.L. Measuring crop residue cover using remote sensing techniques. *Theoretical and Applied Climatology*. 1996. Vol. 54. N1-2. 17-26.

12. Laamrani A., Lara R.P., Berg A.A., Branson D., Joosse P. Using a mobile device “app” and proximal remote sensing technologies to assess soil cover fractions on agricultural fields. *Sensors*. 2018. Vol. 18. N3. 708.

13. Kosmowski F., Stevenson J., Campbell J., Ambel A., Tsegay A.H. On the ground or in the air? A methodological experiment on crop residue cover measurement in Ethiopia. *Environmental Management*. 2017. Vol. 60. N4. 705-716.

14. Kavosi Z., Raoufat M.H., Dehghani M., Jafari A., Kazemeini S.A., Nazemossadat M.J. Feasibility of satellite and drone images for monitoring soil residue cover. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2020. Vol. 19. N1. 56-64.

15. Zheng B., Campbell J.B., Serbin G., Galbraith J.M. Remote sensing of crop residue and tillage practices: Present capabilities and future prospects. *Soil and Tillage Research*. 2014. Vol. 138. May. 26-34.

REFERENCES

1. FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. 163 (In English).

2. Meena R.S., Kumar S., Yadav G.S. Soil Carbon Sequestration in Crop Production // Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production. Edited by R.S. Meena. Singapore: Springer. 2020. 1-39 (In English).

3. Ripple W.J., Wolf C., Newsome T.M., Barnard P., Moomaw W.R. World Scientists’ Warning of a Climate Emergency. *BioScience*. 2019. Vol. XX. NX. 1-5 (In English).

4. FAO. World programme for the census of agriculture 2020. Volume 1. Programme, concepts and definitions. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. 190 (In English).

5. FAO. Programma vseмирnoy sel’skokhozyaystvennoy perepisi 2020 goda. Vol. 1. Programma, ponyatiya i opredeleniya. Rim: Prodoval’stvennaya i sel’skokhozyaystvennaya organizatsiya Obedinennykh Natsiy [2020 World Agricultural Census Program. Vol. 1. Program, concepts and definitions. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations]. 2016. 210 (In Russian).

6. FAO. Manual on integrated soil management and conservation practices. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2000. 214 p. (In English).

7. Claassen R., Bowman M., McFadden J., Smith D., Wallander S. Tillage Intensity and Conservation Cropping in the United States. Washington DC: United States Department of Agriculture. 2018. 21 (In English).

8. Bishop J.C., Grimes D.W. Precision tillage effects on potato root and tuber production. *American Potato Journal*. 1978.

Vol. 55. N2. 65-71 (In English).

9. Riegler-Nurscher P., Moitzi G., Prankl J., Huber J., Karner J., Wagentristl H., Vincze M. Machine vision for soil roughness measurement and control of tillage machines during seedbed preparation. *Soil and Tillage Research*. 2020. Vol. 196. February. 1-9 (In English).

10. Ajdadi F.R., Gilandeh Y.A., Mollazade K., Hasanzadeh R. PR. Application of machine vision for classification of soil aggregate size. *Soil and Tillage Research*. 2016. Vol. 162. September. 8-17 (In English).

11. Daughtry C.S.T., McMurtrey J.E. III, Chappelle E.W., Hunter W.J., Steiner J.L. Measuring crop residue cover using remote sensing techniques. *Theoretical and Applied Climatology*. 1996. Vol. 54. N1-2. 17-26 (In English).

12. Laamrani A., Lara R.P., Berg A.A., Branson D., Joosse P. Using a mobile device “app” and proximal remote sensing technologies to assess soil cover fractions on agricultural fields. *Sensors*. 2018. Vol. 18. N3. 708 (In English).

13. Kosmowski F., Stevenson J., Campbell J., Ambel A., Tsegay A.H. On the ground or in the air? A methodological experiment on crop residue cover measurement in Ethiopia. *Environmental Management*. 2017. Vol. 60. N4. 705-716 (In English).

14. Kavosi Z., Raoufat M.H., Dehghani M., Jafari A., Kazemeini S.A., Nazemossadat M.J. Feasibility of satellite and drone images for monitoring soil residue cover. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2020. Vol. 19. N1. 56-64 (In English).

15. Zheng B., Campbell J.B., Serbin G., Galbraith J.M. Remote sensing of crop residue and tillage practices: Present capabilities and future prospects. *Soil and Tillage Research*. 2014. Vol. 138. May. 26-34 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 04.12.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 04.12.2019

Статья принята к публикации 27.02.2020
The paper was accepted
for publication on 27.02.2020