

9. Bondarenko A.M. Tekhnologiya glubokoi pererabotki zhidkogo navoza i navoznykh stokov svinovodcheskikh predpriatii / A.M. Bondarenko, B.N. Strogii, L.S. Kachanova, S.G. Ivashchenko // Vestnik APK Stavropolia. – 2015. – No. 1 (17). – S. 11-16.

10. Bondarenko A.M. Teoretiko-tekhnologicheskie podkhody k pererabotke zhidkikh organicheskikh otkhodov / A.M. Bondarenko, L.S. Kachanova // Izvestia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 6 (68). – S. 114-118.

11. Kachanova, L.S. Sistemnyi podkhod v upravlenii tekhnologicheskimi protsessami proizvodstva i primeneniia udobrenii / L.S. Kachanova // Vestnik OGAU. – 2016. – No. 2 (59). – S. 103-112.

12. Limarenko, N.V. Modelirovanie tekhnologicheskogo protsessa utilizatsii stokov zhivotnovodstva / N.V. Limarenko // Sovremennye problemy

matematicheskogo modelirovaniia, obrabotki izobrazhenii i paralelnykh vychislenii 2017: sb. trudov mezhdunar. nauch. konf. – pos. Divnomorskoe, 4-11 sentiabria, 2017. – S. 158-166.

13. Shigapov, I.I. Uborka i pererabotka navoza na baze spiralno-vintovykh mekhanizmov / I.I. Shigapov // Selskii mekhanizator. – 2017. – No. 5. – S. 22-23.

14. Kachanova L.S. Mobilnyi agregat dlia prigotovleniia i vneseniia zhidkikh kontsentririvannykh organicheskikh udobrenii / L.S. Kachanova // Izvestia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 3 (71). – S. 157-161.

15. Bondarenko A.M. Proizvodstvo zhidkikh kontsentririvannykh organicheskikh udobrenii / A.M. Bondarenko, L.S. Kachanova // Selskii mekhanizator. – 2017. – No. 11. – S. 30-31.



УДК 631.3

DOI: 10.53083/1996-4277-2021-205-11-103-111

**С.А. Васильев, С.А. Мишин, С.Е. Лимонов,
А.А. Васильев, А.А. Петров
S.A. Vasilev, S.A. Mishin, S.E. Limonov,
A.A. Vasilev, A.A. Petrov**

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ ТОЧНОГО НАЗЕМНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT MECHATRONIC SYSTEMS FOR ACCURATE GROUND SCANNING OF SLOPE LAND SURFACE

Ключевые слова: интеллектуальные мехатронные системы; точное наземное сканирование, поверхность, склоновые земли, мехатронный профилограф.

Описывается разработка интеллектуальных мехатронных систем точного наземного сканирования поверхности склоновых земель. Современное цифровое землепользование на склоновых землях предопределяет применение интеллектуальных подходов и устанавливает целый ряд требований, необходимых и связывающих между собой технические характеристики применяемых мехатронных систем и параметры, характеризующие агроландшафт склоновых земель. Цели научного исследования: обоснование интеллектуального метода спиралевидного сканирования подстилающей поверхности в сочетании с методами цифрового моделирования склоновых земель и ряда технологий точного землепользования на склоновых землях, обеспечивающих дифференцированное управлен-

ческое воздействие. Разработан полевой мехатронный профилограф оригинальной конструкции для реализации интеллектуальных технологий точного наземного сканирования поверхности склоновых земель. Описаны принцип работы и последовательность операций сканирования с применением полевого ноутбука и беспроводного соединения. Реализован интеллектуальный выбор схемы профилирования дневной поверхности почвы по спирали Ферма исходя из данных, полученных по окружности. Предварительные исследования дневной поверхности почвы, после ее основной обработки, позволили определить при сканировании по окружности комковатость и гребнистость, а также установить облако точек при сканировании всей исследуемой поверхности по спирали Ферма. Одновременно замерялись влажность почвы и геопозиция исследуемой элементарной площадки на сельскохозяйственном поле. Разработанные интеллектуальные мехатронные системы точного наземного сканирования поверхности склоновых земель позволяют повысить точность и до-

стоверность измерения параметров поверхности по всей исследуемой площадке, природно-климатических параметров окружающей среды в полевых условиях на склоновых землях за счет расширения функциональных возможностей устройства с учетом влияния совокупности побочных физических явлений и метеорологических условия.

Keywords: *intelligent mechatronic systems, accurate ground scanning, surface, slope lands, mechatronic profiler.*

This paper describes the development of intelligent mechatronic systems for accurate ground scanning of slope land surface. Soil erosion causes a reduction in the areas acceptable for agricultural production, loss of soil fertility, creation of negative environmental situations and violation of the soil structure, which, in general, reduces crop yields. Modern digital land use on slope lands determines the use of intelligent approaches and establishes a number of requirements that are necessary and link the technical characteristics of the applied mechatronic systems and the parameters that characterize the agricultural landscape of slope lands. The research goal is to substantiate the intellectual method of spiral scanning of the underlying surface in combination with the methods of digital

modeling of slope lands and a number of technologies for accurate land use on slope lands that provide differentiated management impact. A field mechatronic profiler of an original design was developed for the implementation of intelligent technologies for accurate ground scanning of slope land surface. The principle of operation and the sequence of scanning operations using a field laptop and a wireless connection are described. An intelligent selection of the profiling scheme of the daily soil surface along Fermat's spiral is implemented based on the data obtained along the circle. Preliminary studies of the daily surface of the soil, after its main treatment, allowed determining crumbly condition and ridgeness when scanning along the circumference as well as to establish a point cloud when scanning the entire studied surface along the Fermat's spiral. At the same time, the soil moisture and the geoposition of the studied elementary site on an agricultural field were measured. The developed intelligent mechatronic systems for accurate ground scanning of slope land surface make it possible to increase the accuracy and reliability of measuring surface parameters throughout the studied site, natural and climatic parameters of the environment in the field on slope lands by expanding the functionality of the device, taking into account the influence of a set of side physical phenomena and meteorological conditions.

Васильев Сергей Анатольевич, д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Российская Федерация, e-mail: vsa_21@mail.ru.

Мишин Сергей Александрович, ассистент, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Российская Федерация, e-mail: supers.ya@yandex.ru.

Лимонов Сергей Евгеньевич, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Российская Федерация, e-mail: limonov.mbf@gmail.com.

Васильев Алексей Анатольевич, к.т.н., доцент, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Российская Федерация, e-mail: alexei.21@mail.ru.

Петров Александр Алексеевич, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева», г. Чебоксары, Российская Федерация, e-mail: sanekjan@mail.ru.

Vasilev Sergey Anatolevich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation, e-mail: vsa_21@mail.ru.

Mishin Sergey Aleksandrovich, Asst., I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation, e-mail: supers.ya@yandex.ru.

Limonov Sergey Evgenevich, I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation, e-mail: limonov.mbf@gmail.com.

Vasilev Aleksey Anatolevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University, Knyaginino, Russian Federation, e-mail: alexei.21@mail.ru.

Petrov Aleksandr Alekseevich, Asst. Prof., I. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University, Cheboksary, Russian Federation, e-mail: sanekjan@mail.ru.

Введение

Современное цифровое землепользование на склоновых землях предопределяет применение интеллектуальных подходов и устанавливает целый ряд требований, необходимых и связывающих между собой технические характеристики применяемых мехатронных систем и параметры, характеризующие агроландшафт склоновых земель [1, 2]. Отсутствие научно обоснованных подходов для разработки интеллектуальных технологий и мехатронных систем

контроля точных почвозащитных технологий на склоновых землях является актуальной и практически значимой научной проблемой.

Наши научные исследования выполняются в рамках общих тенденций развития нового направления – точная мелиорация. В проекте рассматривается «дифференциация условий» на самых опасных участках – склонах и развивается интеллектуальный подход, который основан на фундаментальных работах кафедры мелиорации и рекультивации земель РГАУ-

МСХА (А.И. Голованов, Ю.И. Сухарев и др.). Ландшафтная мелиорация – это не мелиорация ландшафтов, это управление с учетом ландшафтных особенностей, дающее возможность подходить к ландшафтным мелиорациям с позиций противозерозионной мелиорации – мелиорация как улучшение «опасных земель», мелиорация эрозионных ландшафтов.

Для количественной оценки поверхности почвенного покрова агроландшафта применяют различные способы и методы. Известны современные труды ученых [3-12]: по профилометрии – R.E. Burwell (1963 г.), по методу стереофотографий – W. S. Wagner (1995 г.), по методу теней – M. R. Garcia (2006 г.), по лазерному сканированию – отечественного ученого И.М. Киреева (2014 г.) и F. Darboux (2003 г.), по методу цепей – A. Saleh (1993 г.) и методу акустического рассеяния – M.L. Oelze (2003 г.). Известный профилометр ИП 250, предложенный учеными ФГНУ «РосНИИТиМ», не позволяет определять направление стока атмосферных осадков и имеет потенциально разрушительный эффект «булавок». В целом проанализированные приборы не имеют мехатронных модулей и интеллектуального управления.

Цель исследования – обоснование интеллектуального метода спиралевидного сканирования подстилающей поверхности в сочетании с методами цифрового моделирования склоновых земель и ряда технологий точного земледелия на склоновых землях, обеспечивающих дифференцированное управленческое воздействие.

Методика исследований

В нашей интерпретации эффективность определения целого ряда параметров склоновых земель достигается интеллектуальным лазерным сканированием наклонной подстилающей поверхности [13-16]. Предварительные исследования нами были проведены путем кругового сканирования наклонной подстилающей поверхности с применением полевого бесконтактного профилографа, конструкция которого подробно раскрыта в патенте [17]. Также использовался мехатронный профилограф, пояснение о его конструкции и методе профилирования прописано в научном труде [18]. Реализовать процесс профилирования поверхности при таком его конструктивном исполнении, выполняя большое количество оборотов, технологически сложно вследствие использования различных

кабелей, соединяющих между собой электронный блок обработки сигналов, датчики, электродвигатели, ноутбук, дополнительное применение противовеса повышает массу устройства, а визуальная установка прибора по гидравлическому уровню снижает точность. Эту информацию сложно перевести в цифровые данные, особенно в процессе профилирования, причем, размещая профилограф в полевых условиях, невозможно установить его геопозицию – координаты профилографа с использованием спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС или GPS. В то же время необходимо определять природно-климатические параметры и метеорологические условия измерения, описывающие состояние окружающей среды и воздействующие на размер измеряемых величин и в итоге на результат измерения.

Согласно ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний» [19] к измеряемым показателям метеорологических условий относятся температура и влажность воздуха, которые влияют на точность конечного результата. Также не маловажно определять данные параметры для самой почвы, так как они определяют полевые условия измерения и описывают совокупность побочных физических явлений, влияющих на полевой мехатронный профилограф и результат измерений. В связи с этим задачей является создание полевого профилографа, который обеспечивает высокую точность измерений при учете влияния совокупности побочных физических явлений и метеорологических условий.

Разработанный полевой мехатронный профилограф (рис. 1) состоит из основания с установочными стержнями, стойки, на которой установлены угловой датчик, с помощью подшипников качения корпус с размещенными в нем блоком питания и блоком управления, неподвижное опорное колесо, взаимодействующий с ним сателлит, полевой ноутбук, а также программой приема и обработки, показателей датчиком и приборов, направляющей, каретки, лазерного датчика положения, винта, электродвигателей, приемника GPS, акселерометра, гироскопа, компаса, термогигрометра окружающего воздуха и влагомера почвы. Корпус установлен на стойке с помощью подшипников качения, для привода вращения которого используется неподвижное опорное колесо, сателлит и двигатель, распо-

ложенный на подвижном корпусе. Связь полевого ноутбука с блоком управления, датчиками, электродвигателями, приемником GPS и измерительными приборами обеспечивается через Bluetooth-соединение при помощи Bluetooth-радиомодулей, встроенных в лазерный датчик, блок управления и ноутбук.

Таким образом, для реализации профилирования поверхности используют мехатронную систему измерения, состоящую из полевого мехатронного профилографа, оснащенного информационной системой измерения.

При профилировании почвы в полевых условиях вначале размещают полевой мехатронный профилограф на дневную поверхность. Для точ-

ного определения горизонтальной поверхности, в которой перемещается лазерный датчик, например, недорогие компактные лазерные датчики серии РФ-605, в процессе исследования используют акселерометр и гироскоп. Акселерометр в состоянии покоя позволяет вычислить угол наклона относительно вектора силы тяготения земли. На экране монитора отображается отклонение поверхности вращения лазерного датчика от уровня в цифровом виде в двух перпендикулярных направлениях. Для корректирования горизонтального положения отклоняют стойку, добиваясь нулевых отклонений по горизонтали, используя, например, гироскоп-акселерометр MPU6050.

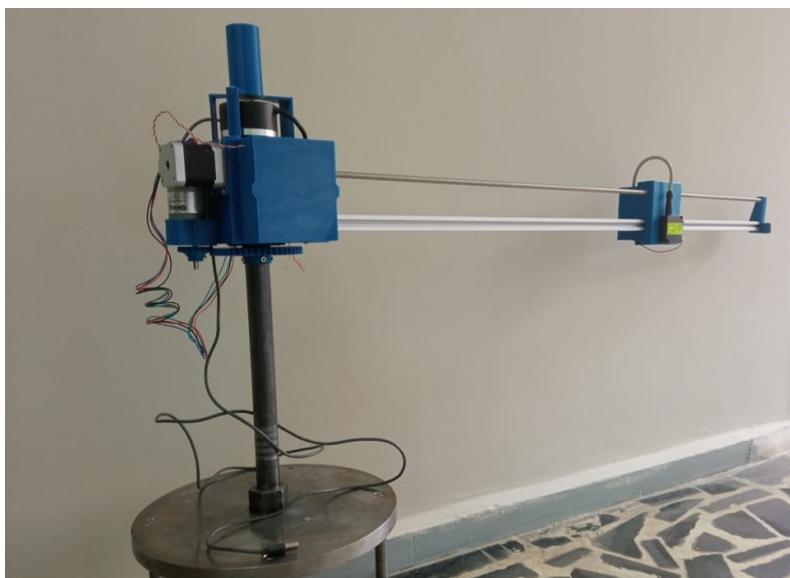


Рис. 1. Общий вид мехатронного профилографа

Координаты геопозиции профилографа на склоновых землях определяют с помощью приемника GPS, например, можно использовать GPS приемник GY-NEO6MV2. Применение приемника GPS позволяет привязать получаемые точные данные о профиле просканированной площадки на склоновых землях к координатам электронной карты в процессе исследования. Итоговая точность измерения достигает 0,025 (с РТК-базой), без нее – 3-5 м.

Для ориентирования на местности и установления начального положения лазерного датчика по азимуту, относительно географической северной стороны, используют компас. Определение азимута позволяет реализовать последовательное определение параметров поверхности на исследуемых площадках с одинаковой точкой отсчета и природно-климатических параметров

окружающей среды на склоновых землях. Термогигрометр окружающего воздуха и влагомер почвы, установленные в нижней части профилографа, измеряют природно-климатические параметры, определяющие полевые условия. Влагомер почвы имеет щуп, который заглубляется вместе с установочными стержнями в почву. Вначале определяют профиль дневной поверхности почвы по окружности (рис. 2), ограничивающей измеряемую площадку, заявляемым профилографом, оснащенным информационной системой. Для этого запускают программу на ноутбуке и включают профилограф. Опираясь на информацию от компаса, определение азимута позволяет реализовать последовательное определение параметров поверхности на исследуемых площадках с одинаковой точкой отсчета и природно-климатических параметров

окружающей среды на склоновых землях, датчики профилографа устанавливают в исходные положения. Через блок управления верхний двигатель перемещает с помощью винта на периферию измеряемой площадки лазерный датчик положения по направляющей, а нижний двигатель через блок управления поворачивает на необходимый угол направляющую до северного направления, перекачивая сателлит по неподвижному опорному колесу. Далее программа с ноутбука запускает только нижний двигатель, сканируется поверхность почвы по периферии площадки. С помощью Bluetooth-соединения информация с датчика с радиомодулем Bluetooth передается на радиомодуль Bluetooth блока управления и далее в ноутбук, где также имеется встроенный модуль Bluetooth. Компьютерная программа по полученной информации изображает построение профиля по окружности в полярных координатах. Информационная система измерения – это совокупность функционально-объединенных измерительных (датчики), контрольных (контроль и сравнение с моделями различных профилей), диагностических (акселерометр, гироскоп), вычислительных (ноутбук), управляющих (ноутбук, двигатели), регистрирующих (ноутбук, приемник GPS), отображающих (ноутбук), телекоммуникационных (ноутбук) технических средств, чтобы получить измеритель-

ную информацию, ее преобразовать, обработать и передать. Она формирует по признакам, характеризующим свойства профилей поверхностей (наклон, кривизну, волнистость, шероховатость), решение о принадлежности распознаваемого профиля к той или иной модели (гладкая, шероховатая или волнистая поверхность). Причем для каждой модели применяется соответствующая спираль или кривая измерения дневной поверхности почвы, установленная предварительно и экспериментально. Например, на рисунке 2 представлена схема профилирования дневной поверхности почвы последовательно, сначала первый шаг выполняется по окружности и второй шаг – по спирали Ферма. Траектория движения датчика по параболической спирали Ферма обеспечивает оптимальный охват площади участков заданным количеством точек замера, которые равномерно распределяются по всей исследуемой площади. Например, площадь участка между первым и вторым витками A_1 будет равна площади участка между вторым и третьим витками A_2 , равна площади участка между третьим и четвертым витками A_3 и т.д.

Информационная система измерения обеспечивает взаимосвязь элементов конструкции: диагностические средства (акселерометр, гироскоп), регистрирующие средства (ноутбук, приемник GPS).

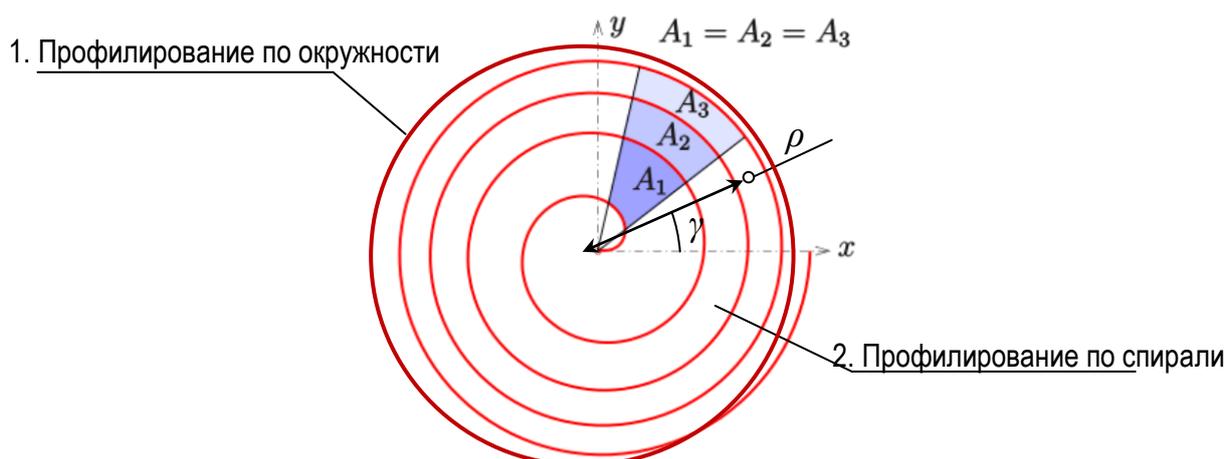


Рис. 2. Схема профилирования дневной поверхности почвы по окружности и спирали Ферма в 4 витка ($A_1=A_2=A_3$ – равные площади исследуемых участков 1, 2 и 3)

Далее определяют профиль дневной поверхности почвы по этой спирали или кривой, перемещая лазерный датчик положения от нулевой отметки и далее по заданной траектории (рис. 2, второй шаг). Для этого при подаче сигнала от ноутбука, через блок управления, начинают ра-

ботать два двигателя, которые с помощью приводов, перемещают датчик положения по направляющей, которая в свою очередь с корпусом поворачивается по опорному колесу. Радиальная координата может принимать значения от минимального до максимального значения, в

нашем случае при применении датчиков РФ-605 – от 150 до 500 мм, а угловая координата меняется в диапазоне от 0 до 360°.

Вследствие того, что информация с датчика передается с каждого витка спирали, то может происходить наложение кривых в полярных координатах.

Полученную информацию представляют при известном полярном уравнении *спирали*, *заложенном* в информационную систему измерения, *например*, для *спирали Ферма*

$$\rho = \sqrt{a^2 \gamma}, \quad (1)$$

где ρ – радиус-вектор, м;
 a – коэффициент спирали;
 γ – угол положения радиус-вектора от нулевой отметки в градусах.

В декартовой системе координат уравнение можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} x = \rho \cos \gamma, \\ y = \rho \sin \gamma, \\ z = z. \end{cases} \quad (2)$$

где x – координата вдоль обработки почвы, м;
 y – координата поперек обработки почвы, м;
 z – микрорельеф обработанной почвы для определенных координат, м.

Микрорельеф обработанной почвы для определенной точки можем определить по выражению

$$z = z_{\max} - z', \quad (3)$$

где z_{\max} – максимальное расстояние между датчиком положения и поверхностью почвы, м;

z' – действительное расстояние между датчиком положения и поверхностью почвы для определенной точки, м.

Результаты

Исследования проводили на пашне в Моргаушском районе Чувашской Республики. После первого шага полевой профилограф выполнил сканирование по окружности (рис. 2), информационно-измерительная система позволила получить информацию и построить ее в виде профиля поверхности почвы по окружности в полярных координатах по двум параметрам (рис. 3). Далее задали траекторию движения датчика по спирали Ферма до 4 витков. После второго шага полевой профилограф выполнил сканирование по спирали Ферма, траектория перемещения лазерного датчика 13 представляет собой плоскую кривую, а информационно-измерительная система позволила получить информацию и построить ее в виде профиля поверхности почвы по спирали Ферма для 4 витков в полярных координатах по двум параметрам (рис. 4).

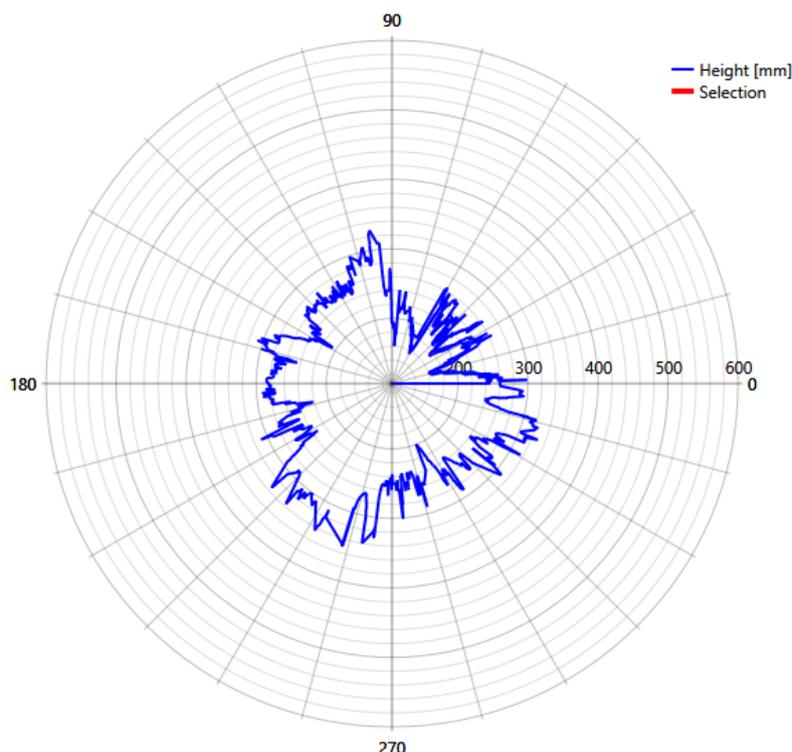


Рис. 3. Профиль поверхности почвы по окружности (после первого шага)

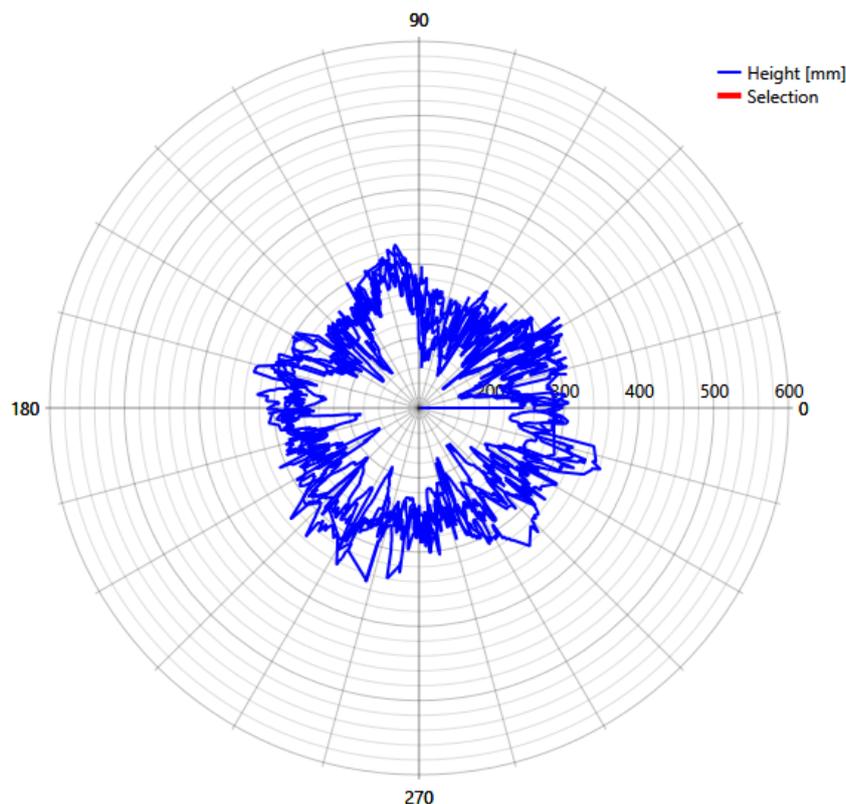


Рис. 4. Профиль поверхности почвы по спирали Ферма для 4 витков согласно рисунку 2 (после второго шага)

Анализ полученных данных позволил определить при сканировании по окружности комковатость и гребнистость, которые, соответственно, составили 4,07 см при среднеквадратичном отклонении – 4,75 и 12 см, а также установить облако точек при сканировании всей исследуемой поверхности по спирали Ферма.

Обсуждение

Предложенный метод определения параметров подстилающей поверхности в полевых условиях упрощает известные подходы и повышает точность полученных данных. Предварительные результаты подтверждают эффективность и перспективность данного способа, поскольку за один проход профилографа получаем три основных параметра подстилающей поверхности. Это и есть основа для дальнейших исследований склоновых сельскохозяйственных земель – интеллектуального лазерного сканирования, которое возможно при определенных схемно-конструктивных решениях разрабатываемых наземных мехатронных систем сканирования. С разработанным новым способом сканирования, когда мехатронная система задает определенный шаг для спирали, имеется

возможность получить не только три параметра, но и представить подстилающую поверхность в 3D виде, выявить направление склона, направление агротехнических воздействий и другие параметры на исследуемом объекте. Разрабатываемые интеллектуальные методы контроля обеспечивают достаточно высокую точность измерения агротехнических показателей при сканировании почвенного покрова с погрешностью до 1%. В то же время, в сочетании с методами цифрового моделирования, на цифровой карте местности рассчитываются линии, которые перпендикулярны горизонталям склона и совпадают с направлением движения водотока [14-16]. Далее для исследуемого участка с применением разработанной математической модели движения водного потока определяется объем или масса смываемой почвы за единицу времени. Таким образом, можно определить по почвенным характеристикам и условиям антропогенного воздействия общий твердый расход стока за рассчитываемое время, площади линейных каналов, подверженных водной эрозии почвы, спрогнозировать количество смывтой почвы при заданной интенсивности стока и другие параметры.

Выводы

Разработанные интеллектуальные мехатронные системы точного наземного сканирования поверхности склоновых земель позволяют повысить точность и достоверность измерения параметров поверхности по всей исследуемой площадке, природно-климатических параметров окружающей среды в полевых условиях на склоновых землях за счет расширения функциональных возможностей устройства с учетом влияния совокупности побочных физических явлений и метеорологических условий.

Библиографический список

1. Калужский, В. А. Комплекс агролесомелиоративных мероприятия и его воздействие на сток и водную эрозию почв на Приволжской возвышенности: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Калужский В. А. – Саратов, 1970. – 21 с. – Текст: непосредственный.
2. Нестеренко, Ю. М. Влияние рельефа на режим влаги почв сельскохозяйственных угодий Южного Урала / Ю. М. Нестеренко. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 4 (78). – С. 15-18.
3. Аннотированный сборник средств измерения и испытательного оборудования. – Новокубанск: ФГНУ «РосНИИТиМ», 2012. – 51 с. – Текст: непосредственный.
4. Afrasyabi S., Tazeh M., Mehrjardi R.T., et al. (2019). Performance of two measurement methods of pin meter and laser disto meter in the measurement of microtopography. *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 8 (22): 1-14.
5. Melo, M., Tavares, L., Oliveira, T., et al. (2017). Methodology evaluation of pin microrelief meter. *Engenharia Agrícola*. 37. 1056-1061. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n5p1056-1061/2017.
6. Bemis, S., Micklethwaite, S., Turner, D., et al. (2014). Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for Structural Geology and Paleoseismology. *Journal of Structural Geology*. 69. DOI: 10.1016/j.jsg.2014.10.007.
7. Silva, M.L.N., Cândido, B.M., Quinton, J.N., James M.R. (2019). Use of Air-Based Photogrammetry for Soil Erosion Assessment. *Proceedings* 30, no. 1: 5. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019030005>.
8. Polyakov V.M., Nearing A. (2019). Simple Automated Laser Profile Meter. *Soil Science Society of America Journal*. 83: 327-331. doi: 10.2136/sssaj2018.10.0378.
9. Киреев, И. М. Измерение микрорельефа почвы бесконтактным методом / И. М. Киреев. – Текст: непосредственный // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 2. – С. 18-21.
10. Bertuzzi P., Caussignac J.M. Measuring In-Situ Soil Surface Roughness Using a Laser Profilometer. 4. Colloque international, Jan 1988, Aussois, France.
11. Контактные измерительные системы для координатно-измерительных машин / ООО Renishaw. – 2003-2006. Номер публикации H-1000-5170-16-B. – Текст: непосредственный.
12. Vasiliev, S. A., Fedorova A.A. Field non-contact profiler for spiral scanning // Patent of Russia. №2707907. 2019. Bul. №34.
13. Анализ траектории движения зубьев при создании экспериментального почвообрабатывающего рабочего органа / Д. Ю. Карташов, С. А. Васильев, Е. П. Алексеев. – Текст: непосредственный // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. – 2013. – № 4-2 (80). – С. 91-94.
14. Максимов, И. И. Безразмерный показатель для оценки гидравлических потерь на трение в руслах разной шероховатости / И. И. Максимов, С. А. Васильев, В. И. Максимов. – Текст: непосредственный // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 40-42.
15. Васильев, С. А. Особенности применения противоэрозионных мелиоративных мероприятий на различных по форме склоновых агроландшафтах / С. А. Васильев. – Текст: непосредственный // Природообустройство. – 2016. – № 4. – С. 86-92.
16. Метод определения направления движения водного потока на агроландшафте склоновых земель / С. А. Васильев, И. И. Максимов, Е. П. Алексеев, А. Н. Михайлов. – Текст: непосредственный // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 12, № 4 (46). – С. 72-77.
17. Патент РФ № 2707907. Полевой бесконтактный профилограф для спиралевидного сканирования / Васильев С. А., Федорова А. А., Александров Р. И. – Опубл. 02.12.2019, Бюл. № 34. – Текст: непосредственный.
18. Патент РФ № 2724386. Мехатронный профилограф / Васильев С. А., Александров Р. И. – Опубл. 02.12.2019, Бюл. № 34. – Текст: непосредственный.

ров Р. И., Федорова А. А. [и др.]. – Оpubl. 23.06.2020, Бюл. № 18.

19. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2020. – Текст: непосредственный.

References

1. Kaluzhskii V.A. Kompleks agrolesomeliativnykh meropriiatiia i ego vozdeistvie na stok i vodnuiu eroziiu pochv na Privolzhskoi vozvyshechnosti: avtoref. dis. ... kand. s-kh. nauk, 1970. – 21 s.

2. Nesterenko Iu.M. Vliianie relefa na rezhim vlagi pochv selskokhoziaistvennykh ugodii Iuzhnogo Urala // Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – No. 4 (78). – S. 15-18.

3. Annotirovannyi sbornik sredstv izmereniia i ispytatelnogo oborudovaniia. – Novokubansk: FGNU «RosNIITiM», 2012. – 51 s.

4. Afrasyabi S., Tazeh M., Mehrjardi R.T., et al. (2019). Performance of two measurement methods of pin meter and laser disto meter in the measurement of microtopography. *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 8 (22): 1-14.

5. Melo, M., Tavares, L., Oliveira, T., et al. (2017). Methodology evaluation of pin microrelief meter. *Engenharia Agricola*. 37. 1056-1061. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n5p1056-1061/2017.

6. Bemis, S., Micklethwaite, S., Turner, D., et al. (2014). Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for Structural Geology and Paleoseismology. *Journal of Structural Geology*. 69. DOI: 10.1016/j.jsg.2014.10.007.

7. Silva, M.L.N., Cândido, B.M., Quinton, J.N., James M.R. (2019). Use of Air-Based Photogrammetry for Soil Erosion Assessment. *Proceedings* 30, no. 1: 5. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019030005>.

8. Polyakov V.M., Nearing A. (2019). Simple Automated Laser Profile Meter. *Soil Science Society of America Journal*. 83: 327-331. doi: 10.2136/sssaj2018.10.0378.

9. Kireev I.M. Izmerenie mikrorelefa pochvy beskontaktnym metodom // Tekhnika i oborudovanie dlia sela. – 2017. – No. 2. – S. 18-21.

10. Bertuzzi P., Caussignac J.M. Measuring In-Situ Soil Surface Roughness Using a Laser Profilometer. 4. Colloque international, Jan 1988, Aussois, France.

11. Kontaktnye izmeritelnye sistemy dlia koordinatno-izmeritelnykh mashin // OOO Renishaw. – 2003-2006. Nomer publikatsii N-1000-5170-16-V.

12. Vasiliev, S. A., Fedorova A.A. Field non-contact profiler for spiral scanning // Patent of Russia. No. 2707907. 2019. Bul. No. 34.

13. Kartashov D.Iu., Vasilev S.A., Alekseev E.P., Vasilev A.A., Alekseev V.V. Analiz traektorii dvizheniia zubev pri sozdanii eksperimentalnogo pochvoobrabatyvaiushchego rabocheho organa // Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I.Ia. Iakovleva. – 2013. – No. 4-2 (80). – S. 91-94.

14. Maksimov I.I., Vasilev S.A., Maksimov V.I. Bezrazmernyi pokazatel dlia otsenki gidravlicheskikh poter na trenie v ruslakh raznoi sherokhovatosti // Melioratsiia i vodnoe khoziaistvo. – 2011. – No. 5. – S. 40-42.

15. Vasilev S.A. Osobennosti primeneniia protiverozionnykh meliorativnykh meropriiati na razlichnykh po forme sklonovykh agrolandshaftakh // Prirodoobustroistvo. – 2016. – No. 4. – S. 86-92.

16. Vasilev S.A., Maksimov I.I., Alekseev E.P., Mikhailov A.N. Metod opredeleniia napravleniia dvizheniia vodnogo potoka na agrolandshafte sklonovykh zemel // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – T. 12. – No. 4 (46). – S. 72-77.

17. Patent RF No. 2707907 «Polevoi beskontaktnyi profilograf dlia spiralevidnogo skanirovaniia» / S.A. Vasilev, A.A. Fedorova, R.I. Aleksandrov – Opubl. 02.12.2019, Biul. No. 34.

18. Patent RF No. 2724386. Mekhatronnyi profilograf / S.A. Vasilev, R.I. Aleksandrov, A.A. Fedorova, M.A. Vasilev, S.A. Mishin, S.E. Limonov. – Opubl. 23.06.2020, Biul. No. 18.

19. GOST 20915-2011 «Isipytaniia selskokhoziaistvennoi tekhniki. Metody opredeleniia uslovii isipytaniia». – Moskva: Standartinform, 2020.

Результаты были получены в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МД-1198.2020.8, соглашение № 075-15-2020-228.

