

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА НА ФРАКЦИИ****RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF A MOBILE UNIT  
FOR LIQUID MANURE SEPARATION INTO FRACTIONS**

**Ключевые слова:** жидкий навоз, мобильная установка, жидкая фракция, влажность, щеточный шнек, экспериментальные исследования.

Проводимые ранее в нашей стране исследования были направлены в основном на решение проблемы рационального использования жидкого навоза, производимого в крупных свиноводческих предприятиях. Однако более 70% свинины производится на малых, средних и крупных фермах, представленных несколькими технологическими помещениями. В указанных предприятиях вопросы переработки жидкого навоза, как показывает опыт их функционирования в Южном федеральном округе, решены неудовлетворительно. Одним из передовых решений является использование для этой цели мобильной установки для разделения жидкого свиного навоза на фракции, базовым агрегатом которой является щеточный шнек. Процесс разделения в шнеке происходит в зонах фильтрования с получением осадка и дожима, с получением твердой фракции. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению влажности осадка на различных участках зоны фильтрования. Установлено, что данный показатель зависит от длины зон фильтрования и обезвоживания, угла наклона шнека к горизонту и частоты вращения витков шнека. Полученные результаты позволили определить длину зон фильтрования и обезвоживания, сумма которых не должна превышать 4 м, угол наклона шнека – до 30° и частота вращения в пределах 6,3-9,4 с<sup>-1</sup>. При этом влажность осадка на выходе из зоны обезвоживания составляет от 83,5 до 78,8%.

**Keywords:** liquid manure, mobile unit, liquid fraction, moisture, brush auger, experimental studies.

The research conducted earlier in our country was mainly aimed at solving the problem of rational use of liquid manure produced in large pig breeding enterprises. However, more than 70% of pork is produced on small, medium-size and large farms represented by several technological premises. In these enterprises, the issues of processing liquid manure as the experience of their operation in the Southern Federal District shows are resolved unsatisfactorily. One of the advanced solutions is the use of a mobile unit for the separation of liquid pig manure into fractions, the basic element of which is a brush auger. The separation process in the auger occurs in the filtration zones with the production of sediment and squeezing with the production of a solid fraction. The results of experimental studies to determine the moisture content of the sediment in various parts of the filtration zone are presented. It has been found that this indicator depends on the length of the filtration and dewatering zones, the angle of inclination of the screw to the horizon and the rotation frequency of the screw. The obtained results allowed determining the length of the filtration and dewatering zones, the sum of which should not exceed 4 m, the angle of inclination of the auger - up to 30° and the rotation frequency within 6.3-9.4 s<sup>-1</sup>. At the same time, the moisture content of the sediment at the exit from the dewatering zone is from 83.5% up to 78.8%.

**Барышников Алексей Владимирович**, соискатель, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Российская Федерация, e-mail: aleksey080283@yandex.ru.

**Baryshnikov Alexey Vladimirovich**, degree applicant, Azov-Black Sea Engineering Institute, Branch, Don State Agricultural University, Zernograd, Russian Federation, e-mail: aleksey080283@yandex.ru.

**Введение**

В последние десятилетия Россия и другие развитые страны ориентируют сельское хозяйство на производство экологически чистой продукции, что требует значительного снижения использования агрохимикатов при выращивании сельскохозяйственных культур [1-3]. Для воспроизводства органического земледелия важная роль отводится органическим удобрениям на

основе навоза животноводческих и птицеводческих предприятий [4-6]. Наиболее проблемным является производство органических удобрений на основе жидкого навоза [7, 8]. Проводимые ранее исследования были направлены, как правило, на разработку технологий и технических средств для переработки жидкого навоза свинокомплексов [9-11]. Однако в настоящее время более 70% свинины производится на малых,

средних и крупных свиноводческих фермах, представленных несколькими технологическими помещениями [6, 12, 13]. Производимый на них жидкий навоз создает проблемы, связанные с его переработкой, что негативно сказывается на экологической обстановке в местах его накопления и снижает рентабельность производства свинины [8].

Проведенные ранее исследования подтвердили целесообразность применения мобильных агрегатов с установками для разделения жидкого навоза на фракции на средних и крупных свиноводческих фермах [14, 15]. Установка для разделения навоза на фракции представляет собой щеточный шнек, расположенный в перфорированном желобе. По периметру витков шнека закреплены щетки для регенерации отверстий в перфорированном желобе. В нижнюю часть наклонного шнека подается жидкий навоз, который в процессе перемещения витками шнека сепарируется за счет прохода свободной влаги в емкость для накопления жидкой фракции, а образуемый осадок подается в специальный мундштук, где происходит дополнительное обезвоживание за счет его подпрессовки с последующей выгрузкой образующейся твердой фракции.

**Целью** работы является определение рациональных конструктивных и режимных параметров щеточного шнека с учетом влажности осадка, получаемого в зонах фильтрования и обезвоживания.

Следовательно, процесс разделения жидкого навоза на фракции происходит в зонах фильтрования и обезвоживания, где отводится свободная и физико-механически связанная влага, а также в зоне дожима, где убираются остатки физико-механически связанной влаги [6, 7].

В **задачи** исследования входило определение влажности осадка по длине зон фильтрования и обезвоживания, в зависимости от угла наклона шнека к горизонту и частоты вращения витков шнека.

### Объекты и методы

Предварительными исследованиями установлено, что влажность осадка ( $W_{oc}$ ) зависит в разной степени от длины зоны фильтрования и обезвоживания ( $l_{\phi}$ ,  $l_{об}$ ), угла наклона шнека к

горизонту ( $\alpha$ ) и частоты вращения витков шнека ( $n$ ), то есть  $W_{oc} = f(l_{\phi}, l_{об}, \alpha, n)$ .

Зоны фильтрования и обезвоживания при проведении однофакторных экспериментов условно делились на участки забора проб на влажность осадка – 1, 2, 3, 4, 5 м (рис. 1). При этом угол наклона шнека  $\alpha$  изменялся с интервалом  $0^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , частота вращения витков шнека  $n$  принималась 20, 60, 90, 150 мин.<sup>-1</sup>.

Влажность осадка определялась по стандартным методикам.

### Результаты исследований и их обсуждение

На рисунках 2 и 3 представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию длины зоны фильтрования и угла наклона шнека на влажность получаемого осадка.

Из рисунка 2 видно, что с увеличением длины зоны фильтрования влажность осадка асимптотически снижается и достигает предельных значений от 87,2% (при  $n=150$  мин.<sup>-1</sup>) до 86,1% (при  $n=20$  мин.<sup>-1</sup>). При исходной влажности жидкого навоза 95,6% значительное удаление влаги происходит на первых четырех метрах зон фильтрования и обезвоживания. При частоте вращения шнека  $n=150$  мин.<sup>-1</sup> на первом метре зон фильтрования и обезвоживания интенсивность снижения влажности осадка составила 2,8% ( $W_{oc}^1=92,8\%$ ), на втором – 2,7% ( $W_{oc}^2=90,1\%$ ), на третьем – 2,6% ( $W_{oc}^3=88,5\%$ ), на четвертом – 1% ( $W_{oc}^4=87,5\%$ ) и на выходе из зоны обезвоживания – 0,3% ( $W_{oc}^{4,5}=87,2\%$ ).

При частоте вращения шнека  $n=90$  мин.<sup>-1</sup> на первом метре зон фильтрования и обезвоживания интенсивность снижения влажности осадка составила 3,5% ( $W_{oc}^1=92,1\%$ ), на втором – 3,8% ( $W_{oc}^2=88,3\%$ ), на третьем – 0,9% ( $W_{oc}^3=87,4\%$ ), на четвертом – 0,6% ( $W_{oc}^4=86,8\%$ ), на выходе из зоны обезвоживания – 0,2% ( $W_{oc}^{4,5}=86,6\%$ ).

При частоте вращения шнека  $n=20$  мин.<sup>-1</sup> на первом метре зон фильтрования и обезвоживания интенсивность снижения влажности осадка составила 6,1% ( $W_{oc}^1=89,5\%$ ), на втором – 1,9% ( $W_{oc}^2=87,6\%$ ), на третьем – 0,9% ( $W_{oc}^3=86,7\%$ ), на четвертом – 0,5% ( $W_{oc}^4=86,2\%$ ) и на выходе – 0,1% ( $W_{oc}^{4,5}=86,1\%$ ).

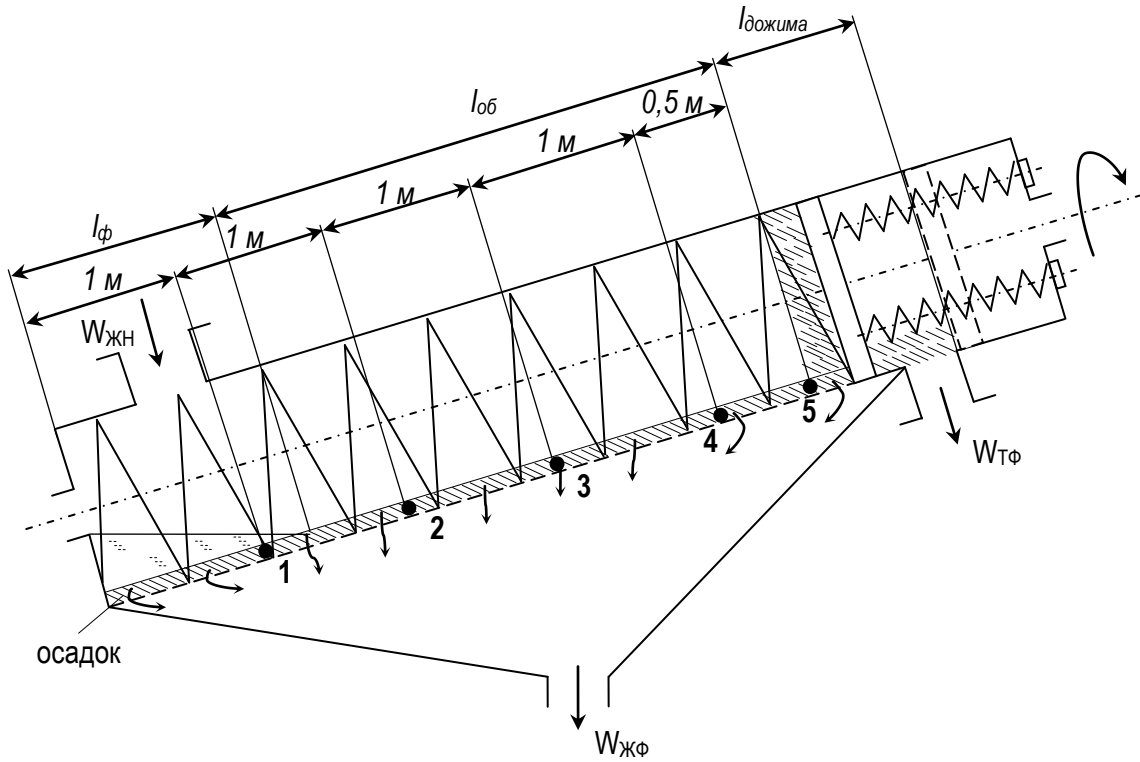


Рис. 1. Схема участков отбора проб на влажность в зонах фильтрации ( $l_{\phi}$ ) и обезвоживания осадка ( $l_{об}$ )

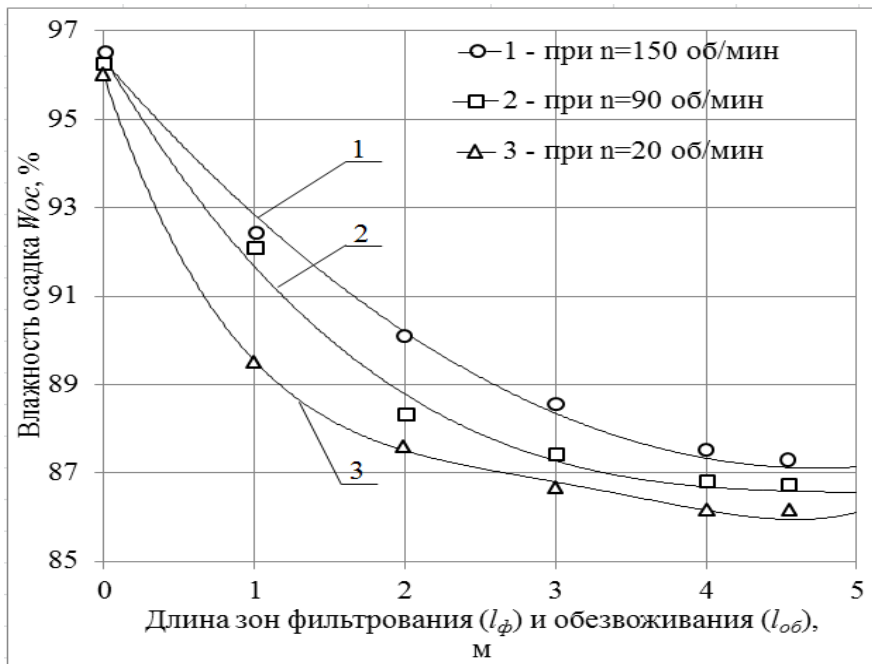


Рис. 2. Влияние длины зон фильтрации и обезвоживания на влажность осадка при угле наклона шнека  $20^\circ$

Из представленных кривых 1-3 (рис. 2) также видно, что уменьшение частоты вращения витков шнека способствует получению более низкой влажности осадка, что связано увеличением времени экспозиции осадка в зонах фильтра-

ции и обезвоживания, способствующих удалению большего количества влаги. Из представленных данных также следует, что увеличение зон фильтрации и обезвоживания (длины шнека) более 4 м не целесообразно.

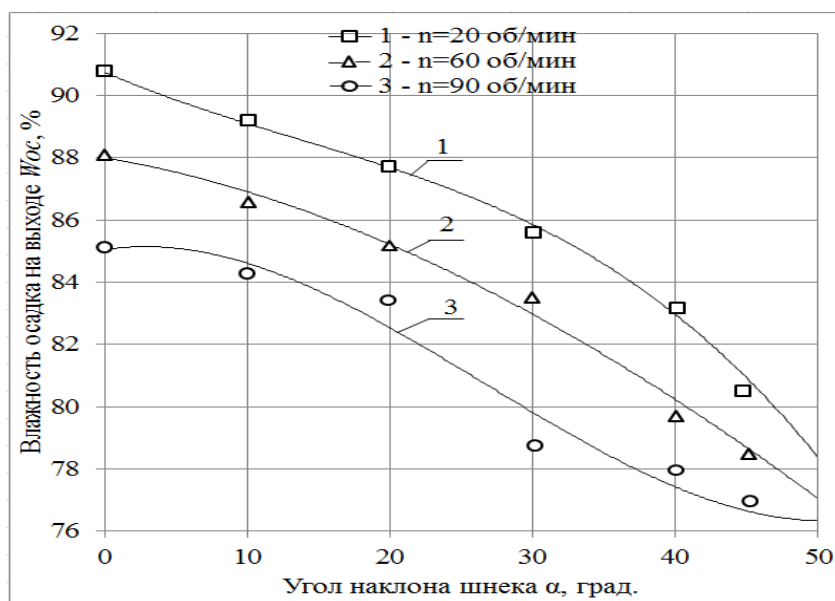


Рис. 3. Зависимость влажности осадка от угла наклона шнека

На рисунке 3 показано, как влияет угол наклона шнека на влажность осадка на выходе из зон фильтрования и обезвоживания при разной частоте вращения шнека. Установлено, что с увеличением угла наклона шнека от 0 до 45° влажность осадка асимптотически снижается от 90,7% (при  $n=20$  мин.<sup>-1</sup> и  $\alpha=0^\circ$ ) до 80,5% ( $\alpha=45^\circ$ ); от 88,1% (при  $n=60$  мин.<sup>-1</sup> и  $\alpha=0^\circ$ ) до 78,5% ( $\alpha=45^\circ$ ); от 85,1% (при  $n=90$  мин.<sup>-1</sup> и  $\alpha=0^\circ$ ) до 77,1% ( $\alpha=45^\circ$ ).

Угол наклона  $\alpha$  позволяет улучшить показатели по влажности осадка на выходе (рис. 3), однако при  $\alpha > 30^\circ$  транспортирующая способность шнека значительно снижается. При  $\alpha=30^\circ$  влажность осадка  $W_{ос}$  составляет 85,3% (при  $n=20$  мин.<sup>-1</sup>), 83,5% (при  $n=60$  мин.<sup>-1</sup>), 78,8% (при  $n=90$  мин.<sup>-1</sup>).

### Выводы

Проведенные экспериментальные исследования щеточного шнека мобильной установки показали, что на влажность осадка в зонах фильтрования и обезвоживания существенное влияние оказывают длина зон фильтрования ( $l_{ф}$ ) и обезвоживания ( $l_{об}$ ), частота вращения шнека ( $n$ ) и угол наклона шнека к горизонту ( $\alpha$ ). Установлено, что длина зоны фильтрования не должна превышать 4 м, угол наклона шнека к горизонту 30°. При этом влажность получаемого осадка составляет от 83,5% (при  $n=20$  мин.<sup>-1</sup>) до 78,8% (при  $n=90$  мин.<sup>-1</sup>). Рациональная частота вращения шнека от 60 до 90 мин.<sup>-1</sup>.

### -Библиографический список

- Bondarenko, A.M., Savkin, V.I., Shelkovnikov, S.A., Kachanova, L.S. (2019). Approaches to the economic evaluation of elements of organic agricultural production of innovative type. *ASTRA Salvensis*. S1: 411-424.
- Kachanova, L., Bondarenko, A., Golovko, A. (2020). Trends in the development of technical means for recycling organic waste from agricultural production. *E3S Web of Conferences*. 210. 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/202021001001.
- Bondarenko, A.M., Kachanova, L.S., Barishnikov, A.V., Novikov, S.A. Technologies for the Production and Application of Organic Fertilizers in Agriculture // *Book series: Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS). The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems*. (Ed) Bogoviz, A.V. Publisher: Springer International Publishing, 2. – 2021. – P. 850-860.
- Коваленко, В. П. Технологические линии разделения навоза в свиноводческих комплексах / В. П. Коваленко, Н. И. Кучмасов, А. М. Бондаренко. – Текст: непосредственный // Сборник научных трудов ГИПРОНИСЕЛЬХОЗ, НИИ свиноводства (ЧСР). – Москва, 1990. – С. 36-45.
- Ковалев, Н. Г. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах / Н. Г. Ковалев, И. К. Глазков. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 160 с. – Текст: непосредственный.
- Бондаренко, А. М. Механико-технологические основы процессов производства и использования высококачественных органических удобрений: монография / А. М. Бондаренко. – Зерноград, ВНИПТИМЭСХ, 2001. – 292 с.

7. Бондаренко, А. М. Технологии и технические средства производства и применения органических удобрений: монография / А. М. Бондаренко, Л. С. Качанова. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный ин-т ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016. – 224 с. – Текст: непосредственный.

8. Качанова, Л. С. Управление технологическими процессами производства и применения органических удобрений в аграрном секторе экономики: монография / Л. С. Качанова. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный ин-т ФГБОУ ВО ДГАУ, 2016. – 207 с. – Текст: непосредственный.

9. Технология глубокой переработки жидкого навоза и навозных стоков свиноводческих предприятий / А. М. Бондаренко, Б. Н. Строгий, Л. С. Качанова, С. Г. Иващенко. – Текст: непосредственный // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № 1 (17). – С. 11-16.

10. Бондаренко, А. М. Теоретико-технологические подходы к переработке жидких органических отходов / А. М. Бондаренко, Л. С. Качанова. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 6 (68). – С. 114-118.

11. Качанова, Л. С. Системный подход в управлении технологическими процессами производства и применения удобрений / Л. С. Качанова. – Текст: непосредственный // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2(59). – С. 103-112.

12. Лимаренко, Н. В. Моделирование технологического процесса утилизации стоков животноводства / Н. В. Лимаренко. – Текст: непосредственный // Современные проблемы математического моделирования, обработки изображений и параллельных вычислений 2017: сборник трудов Международной научной конференции (пос. Дивноморское, 4-11 сентября, 2017 г.). – 2017. – С. 158-166.

13. Шигапов, И. И. Уборка и переработка навоза на базе спирально-винтовых механизмов / И. И. Шигапов. – Текст: непосредственный // Сельский механизатор. – 2017. – № 5. – С. 22-23.

14. Качанова, Л. С. Мобильный агрегат для приготовления и внесения жидких концентрированных органических удобрений / Л. С. Качанова. – Текст: непосредственный // Известия

Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (71). – С. 157-161.

15. Бондаренко, А. М. Производство жидких концентрированных органических удобрений / А. М. Бондаренко, Л. С. Качанова. – Текст: непосредственный // Сельский механизатор. – 2017. – № 11. – С. 30-31.

## References

1. Bondarenko, A.M., Savkin, V.I., Shelkovnikov, S.A., Kachanova, L.S. (2019). Approaches to the economic evaluation of elements of organic agricultural production of innovative type. *ASTRA Salvensis*. S1: 411-424.

2. Kachanova, L., Bondarenko, A., Golovko, A. (2020). Trends in the development of technical means for recycling organic waste from agricultural production. *E3S Web of Conferences*. 210. 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/202021001001.

3. Bondarenko, A.M., Kachanova, L.S., Barishnikov, A.V., Novikov, S.A. Technologies for the Production and Application of Organic Fertilizers in Agriculture // *Book series: Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS). The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems*. (Ed) Bogoviz, A.V. Publisher: Springer International Publishing, 2. – 2021. – P. 850-860.

4. Kovalenko, V.P. Tekhnologicheskie linii razdeleniia navoza v svinovodcheskikh kompleksakh / V.P. Kovalenko, N.I. Kuchmasov, A.M. Bondarenko // *Sb. nauch. trudov GIPRONISELKhOZ, NII svi-novodstva (ChSR)*. – Moskva, 1990. – S. 36-45.

5. Kovalev, N.G. Proektirovanie sistem utilizatsii navoza na kompleksakh / N.G. Kovalev, I.K. Glazkov. – Moskva: Agropromizdat, 1989. – 160 s.

6. Bondarenko, A.M. Mekhaniko-tekhnologicheskie osnovy protsessov proizvodstva i ispolzovaniia vysokokachestvennykh organicheskikh udobrenii: monografiia / A.M. Bondarenko. – Zernograd, VNIPTIMESKh, 2001. – 292 s.

7. Bondarenko, A.M. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva proizvodstva i primeneniia organicheskikh udobrenii: monografiia / A.M. Bondarenko, L.S. Kachanova. – Zernograd: Azovo-Chernomorskii inzhenernyi institut FGBOU VO Donskoi GAU, 2016. – 224 s.

8. Kachanova, L.S. Upravlenie tekhnologicheskimi protsessami proizvodstva i primeneniia organicheskikh udobrenii v agrarnom sektore ekonomiki: monografiia / L.S. Kachanova. – Zernograd: Azovo-Chernomorskii inzhenernyi institut FGBOU VO DGAU, 2016. – 207 s.

9. Bondarenko A.M. Tekhnologiiia 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 // Izvestiia 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 paralel'nykh 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 // Izvestiia 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-