

DOI 10.5281/zenodo.10131650

EDN KDBHHC

УДК 631.316.02

Божко И. В.<sup>1</sup>, Камбулов С. И.<sup>1,2</sup>, Пархоменко Г. Г.<sup>1</sup>, Подлесный Д. С.<sup>1,2</sup>

**ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА  
ПАРОВОГО КУЛЬТИВАТОРА**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

***Реферат.** В настоящее время осуществлять наблюдение за технологическим процессом с заданной частотой дискретизации данных при проведении экспериментальных исследований можно с применением цифровых измерительных систем, которые позволяют производить мониторинг и оценку параметров контролируемого технологического процесса. Одним из важнейших этапов в процессе получения высококачественного продовольственного зерна является обработка почвы, а наиболее высокие урожаи зерновых культур в засушливых условиях можно получить с применением в севообороте паровых полей. Известные сельскохозяйственные орудия для обработки почвы паровых полей не могут в полной мере обеспечить небольшую глубину обработки почвы в диапазоне 4–6 см без выноса влажных слоев на поверхность. В статье рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований рабочего органа для обработки почвы паровых полей в летний период. Цель исследований – при помощи цифровых технологий определить тяговое сопротивление, затрачиваемое на технологическую операцию обработки почвы рабочим органом. Исследования проведены в отделе механизации растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» в 2023 г. на экспериментальной установке с применением тензометрической системы ZET 058. С помощью среды графического программирования SCADA ZETView разработана программа для проведения экспериментальных подсчетов энергетических показателей рабочих органов. Применение данной программы позволяет исключить получение градуировочных коэффициентов, тем самым обеспечивая преобразование аналоговых электрических сигналов тензодатчика в цифровую форму, а также воспроизведение подаваемой нагрузки с формированием выходного сигнала в ньютонах (Н). Также была произведена проверка точности воспроизводимых энергетических показателей, в результате которой установлено, что погрешность измерений составляет  $\pm 19$  Н, что соответствует допустимой погрешности измерений тензодатчика  $\pm 2$  кг.*

***Ключевые слова:** методика проведения исследований, рабочий орган, тяговое сопротивление, графическое программирование, тензодатчик, градуировочный коэффициент.*

***Для цитирования:** Божко И. В., Камбулов С. И., Пархоменко Г. Г., Подлесный Д. С. Применение цифровых технологий при проведении экспериментальных исследований рабочего органа парового культиватора // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 23–32. EDN: KDBHHC. DOI 10.5281/zenodo.10131650.*

***For citation:** Bozhko I. V., Kambulov S. I., Parkhomenko G. G., Podlesny D. S. Application of digital technologies during experimental studies of the working body of cultivator for fallow fields tillage // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 23–32. EDN: KDBHHC. DOI: 10.5281/zenodo.10131650.*

### Введение

Экспериментальные исследования, результаты которых подтверждены достоверными цифровыми показателями, являются одним из важнейших источников получения практических данных при проверке теоретических гипотез. Как отмечают авторы, осуществлять наблюдение за технологическим процессом с заданной частотой дискретизации данных можно с применением цифровых измерительных систем, которые позволяют производить мониторинг и оценку параметров контролируемого технологического процесса [1]. Применение цифровых технологий в процессе обработки данных, полученных в ходе экспериментальных исследований почвообрабатывающей техники, ведёт к дальнейшему её совершенствованию [2].

Одним из важнейших этапов в процессе получения продовольственного зерна высокого качества является обработка почвы. Наиболее высокие урожаи зерновых культур в засушливых условиях можно получить с применением в севообороте паровых полей [3–5]. В зависимости от почвенно-климатических условий наиболее частое применение находят технологии обработки паровых полей, различающиеся по способу основной обработки (отвальная, безотвальная) и по времени её проведения. Так, для черных паров основную обработку почвы проводят в осенний период, а для ранних паров – в весенний период непосредственно в год посева озимых [6, 7]. Следует отметить, что паровые поля при этом нуждаются в мероприятиях по уходу и в летний период. Одним из основных приемов обработки почвы является культивация на небольшую глубину для уничтожения сорной растительности.

Современные сельскохозяйственные машины для обработки почвы оснащаются рабочими органами в виде стрельчатых лап [8–11], которые не могут обеспечить небольшую глубину обработки почвы 4–6 см без выноса влажных слоев на поверхность, что приводит к иссушению верхнего горизонта почвы и не обеспечивает условий для последующего посева семян во влажную почву. Поэтому для снижения испарений почвенной влаги из верхних слоев, уничтожения сорной растительности, а также накопления влаги в почве даже из атмосферного воздуха при отсутствии осадков, существует необходимость создания рабочего органа для обработки паровых полей в летний период на глубину 4–6 см.

**Цель исследований** – при помощи цифровых технологий определить тяговое сопротивление, затрачиваемое на технологическую операцию обработки почвы рабочим органом.

### Материалы и методы исследований

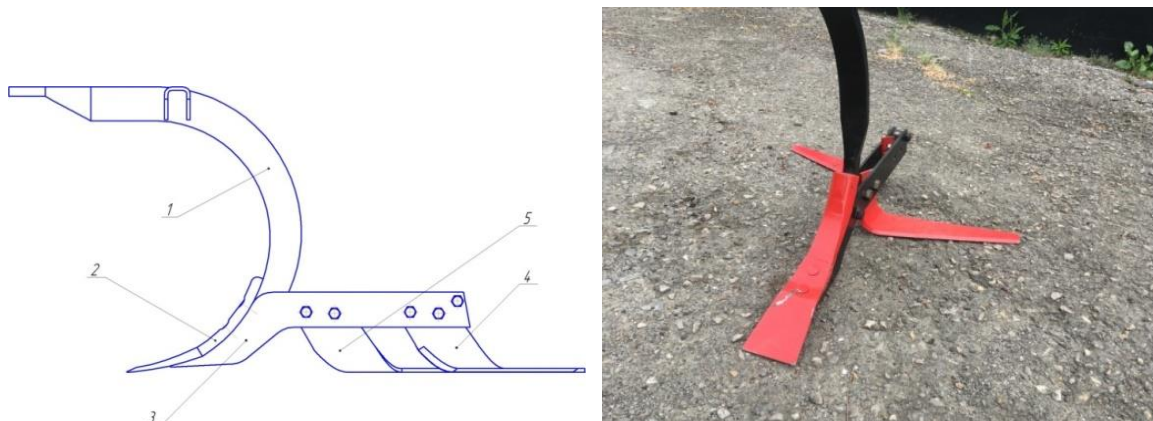
Исследования проведены в отделе механизации растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» в 2023 г. Объект исследования – рабочий орган для обработки почвы паровых полей в летний период. Предмет исследования – воздействие тягового сопротивления рабочего органа на выполнение технологического процесса обработки почвы.

Тип почвы по механическому составу – чернозем обыкновенный слабогумусный мощный легкоглинистый на лессовидных глинах.

Был разработан рабочий орган для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период (рисунок 1) [12], который содержит стойку, в нижней части стойки установлен с возможностью замены долотообразный нож, за долотообразным ножом смонтирован съемный держатель, на держателе установлены с возможностью замены левостороннее и правостороннее плоскорежущие крылья. Конструкция рабочего органа выполнена с возможностью регулировки угла крошения односторонних плоскорежущих крыльев в диапазоне от 0 до 10 °.

Исследования по определению энергетических показателей рабочего органа для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период проводили на

экспериментальной установке (рисунок 2) [13] с применением тензометрической системы ZET 058. В поле размечали опытные участки для проведения экспериментальных исследований. Каждый участок делили на две части: 20 м – для разгона трактора и разворота, 50 м – непосредственно экспериментальный, на котором производили снятие показаний с измерительного датчика в трех повторностях.



**Рисунок 1 – Рабочий орган для обработки почвы паровых полей в летний период**

*Примечание.* 1 – стойка рабочего органа; 2 – долотообразный нож; 3 – съемный держатель; 4 – левостороннее плоскорежущее крыло; 5 – правостороннее плоскорежущее крыло.



**Рисунок 2 – Экспериментальная установка в агрегате с трактором TERRION ATM 3180**

В качестве измерительного датчика для определения тягового сопротивления использовали тензодатчик силы растяжения и сжатия ТЕНЗО–М С2Н–2–С3 (рисунок 3), установленный по линии тяги в шарнирном механизме крепления экспериментальной установки.

Тензометрическая система представляет собой аппаратно-программный комплекс на базе многоканальной системы сбора данных ZET 058 и программного обеспечения ZETLab и ZETView производства Зеленоградской электротехнической лаборатории. Принцип действия основан на преобразовании аналоговых электрических сигналов тензометрического датчика и тензорезисторов, (датчиков с выходом по напряжению) в цифровую форму и передачи измерительной информации по цифровым интерфейсам на ПК.



Рисунок 3 – Тензодатчик силы растяжения и сжатия ТЕНЗО–М С2Н–2–С3

### Результаты и их обсуждение

В ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» с использованием среды графического программирования SCADA ZETView была разработана программа для проведения исследований показателей тягового сопротивления с одновременным формированием массивов данных, получаемых с датчика, и построением простого графика изменения показателей тягового сопротивления с учетом времени проведения измерений. Структурная схема программы с применением различных компонентов приведена на рисунке 4.

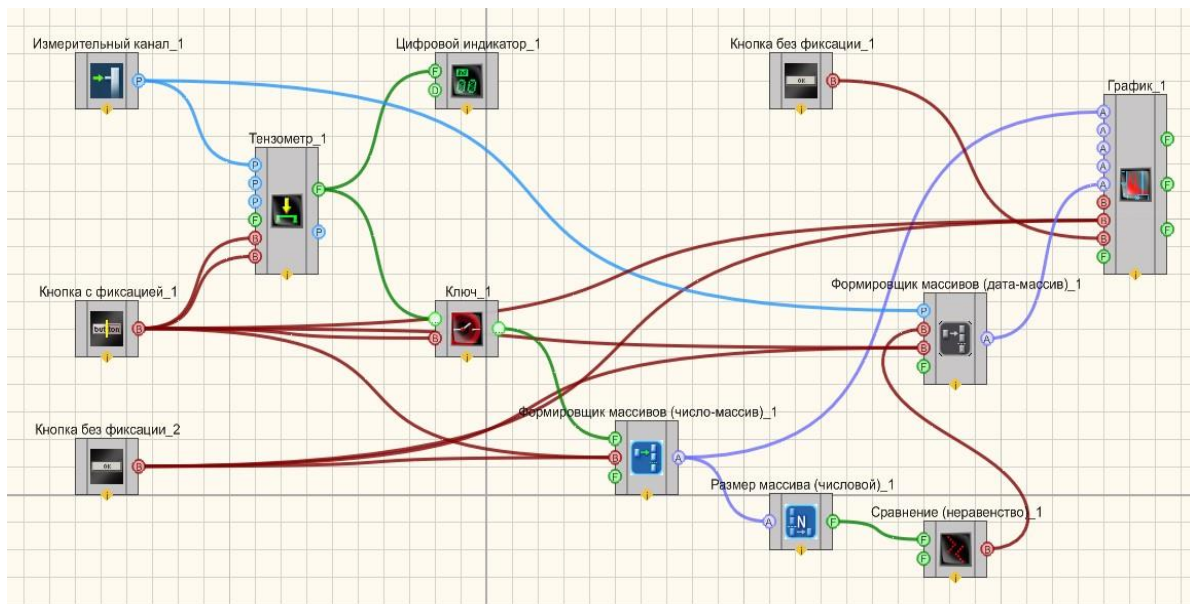


Рисунок 4 – Структурная схема программы для проведения исследований тягового сопротивления

Структурная схема включает следующие компоненты:

1. «Измерительный канал\_1», в котором произведена настройка измерительного канала тензометрической системы ZET 058 с подключенным тензодатчиком силы растяжения и сжатия ТЕНЗО–М С2Н–2–С3.
2. «Тензометр\_1» – производит измерение нагрузки, подаваемой от тензодатчика в компоненте «Измерительный канал\_1». К



3. «Кнопка с фиксацией\_1» обозначается в программе «ВКЛ» и «ВЫКЛ» и предназначена для запуска и остановки измерений показателей тягового сопротивления.

4. «Цифровой индикатор\_1» отображает текущее измеряемое значение тягового сопротивления.

5. «Формировщик массивов (число-массив)\_1», «Формировщик массивов (дата-массив)\_1», «Размер массива (числовой)\_1» и «Сравнение (неравенство)\_1» предназначены для подгрузки измеряемых показателей тягового сопротивления в массив данных с одновременным применением поправочных коэффициентов, заданных для измерительного канала и сравнением текущих показателей данных с нулевыми значениями. Иными словами, данные компоненты программы позволяют исключить получение градуировочных коэффициентов, тем самым обеспечивая преобразование аналоговых электрических сигналов тензодатчика в цифровую форму, а также воспроизведение подаваемой нагрузки с формированием выходного сигнала в ньютонах (Н).

6. «График\_1» служит для отображения сформированных массивов данных в виде графика в режиме самописца.

7. «Кнопка без фиксации\_1» служит для сохранения в файл полученных показателей тягового сопротивления для дальнейшей их обработки и обозначается в программе «ЗАПИСЬ В ФАЙЛ».

8. «Кнопка без фиксации\_2» предназначен для очистки данных от предыдущих измерений и обозначается в программе «СБРОС».

9. «Ключ\_1» осуществляет остановку режима самописца при формировании массива данных.

Программа, скомпилированная в .exe файл, выглядит следующим образом (рисунок 5).



Рисунок 5 – Скриншот программы для проведения исследований тягового сопротивления

Тензометрическая система ZET 058 обеспечивает питание первичных преобразователей как постоянным, так и переменным током, благодаря чему может использоваться для сбора и обработки сигналов при лабораторных или полевых исследованиях.

Так как возникла необходимость использования разработанной программы для проведения исследований тягового сопротивления, тензодатчик стал нуждаться в проверке точности воспроизводимых показателей. Проверку тензодатчика осуществляли на специальном приспособлении (рисунок 6) с применением электронного универсального динамометра МЕГЕОН, в трех повторностях: до, во время и после опытов.



А



Б

**Рисунок 6 – Проверка тензодатчика**

*Примечание.* А – тензодатчик силы растяжения и сжатия ТЕНЗО–М С2Н–2–С3, датчик динамометра МЕГЕОН; Б – ПК, тензометрическая система ZET–058, динамометр МЕГЕОН.

На стенде вращением рукоятки через коническое зацепление шестерён перемещается винт, к которому присоединен тензодатчик и динамометр, связанные посредством цепи с пальцем, усилие натяжения которой задает нагрузку. Сигналы от тензодатчика регистрировали в разработанной программе для проведения исследований тягового сопротивления в ньютонах (Н) и на цифровой панели динамометра в

килоньютонах (кН). В результате поверки точности воспроизводимых показателей тягового сопротивления установлено, что погрешность измерений составляет  $\pm 19$  Н, что соответствует допустимой погрешности измерений тензодатчика  $\pm 2$  кг.

При движении установки по экспериментальному участку аналоговые данные тягового сопротивления, считываемые с тензодатчика, передаются по каналу в тензометрическую систему ZET 058, далее оцифрованные данные подаются в ПК, где с применением разработанной программы для проведения исследований тягового сопротивления фиксируются в формате .dtx. Данный формат файлов совместим с программой ZETLab, в которой производится первичная обработка полученных данных и конвертирование в формат .xls, который совместим с программами Microsoft Excel и STATISTICA.

Фрагмент сформированного массива данных тягового сопротивления рабочего органа для обработки почвы паровых полей в летний период представлен в таблице 1.

**Таблица 1 – Фрагмент сформированного массива данных показателей тягового сопротивления**

Формировщик массивов (дата-массив)_1	Формировщик массивов (число массив)_1
2023.05.24 10:30:00,000	0
2023.05.24 10:30:01,000	0,316406
2023.05.24 10:30:02,000	-2,39844
2023.05.24 10:30:03,000	-2,79785
2023.05.24 10:30:03,000	803,067
2023.05.24 10:30:05,000	1276,85
2023.05.24 10:30:06,000	595,623
2023.05.24 10:30:07,000	1105,17
2023.05.24 10:30:08,000	1361,02
2023.05.24 10:30:09,000	1728,22
2023.05.24 10:30:09,000	1187,17
2023.05.24 10:30:10,000	1670,83
2023.05.24 10:30:11,000	2721,44
2023.05.24 10:30:13,000	861,771
2023.05.24 10:30:14,000	203,48
2023.05.24 10:30:15,000	139,28
2023.05.24 10:30:16,000	1061,04

Накопление данных в массиве зависит от частоты дискретизации тензодатчика программным оборудованием. Данные числовые значения показателей тягового сопротивления представляются в программе в ньютонах (Н). Дальнейшая обработка массивов данных выполняется в соответствии с планом экспериментальных исследований.

### **Выводы**

В ходе исследований посредством использования среды графического программирования SCADA ZETView была разработана программа для проведения измерений показателей тягового сопротивления с одновременным формированием массивов данных, получаемых с датчика, и построением простого графика изменения показателей тягового сопротивления с учетом времени проведения измерений.

Применение разработанной программы позволяет исключить получение градуировочных коэффициентов, тем самым обеспечивая преобразование аналоговых электрических сигналов тензодатчика в цифровую форму, а также воспроизведение подаваемой нагрузки с формированием выходного сигнала в ньютонах (Н).

При проведении поверки точности воспроизводимых показателей тягового сопротивления установлено, что погрешность измерений составляет  $\pm 19$  Н что соответствует допустимой погрешности измерений тензодатчика  $\pm 2$  кг.

### Литература

1. Устроев А. А., Калинин А. Б., Мурзаев Е. А. Анализ цифровых измерительных систем для определения параметров почвенного состояния // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 4(97). С. 19–28. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10085.
2. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И., Ахалая Б. Х., Ценч Ю. С. Цифровые технологии в почвообработке // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 1(30). С. 191–197.
3. Belobrov V. P., Yudin S. S., Yaroslavtseva N. V., Yudina A. V., Dridiger V. K., Stukalov R. S., Kluev N. N., Zamotaev I. V., Ermolaev N. R., Ivanov A. L., Kholodov V. A. Changes in physical properties of chernozems under the impact of No-till technology till // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. P. 968–977. DOI: 10.1134/S1064229320070029.
4. Nikitin D. A., Ivanova E. A., Zhelezova A. D., Semenov M. V., Gadzhumarov R. G., Tkhakakhova A. K., Chernov T. I., Ksenofontova N. A., Kutovaya O. V. Assessment of the impact of No-till and conventional tillage technologies on the microbiome of southern agrochernozems // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. P. 1782–1793. DOI: 10.1134/S106422932012008X.
5. Gómez-Muñoz B., Jensen L. S., Munkholm L., Olesen J. E., Hansen E. M., Bruun S. Long-term effect of tillage and straw retention in conservation agriculture systems on soil carbon storage // Soil Science Society of America Journal. 2021. Vol. 85. Iss. 5. P. 1465–1478. DOI: 10.1002/saj2.20312.
6. Parajuli B., Ye R., Luo M., Ducey T. F., Park D., Smith M., Sigua G. Contrasting carbon and nitrogen responses to tillage at different soil depths: an observation after 40-year of tillage management // Soil Science Society of America Journal. 2021. Vol. 85. Iss. 4. P. 1256–1268. DOI: 10.1002/saj2.20277.
7. Kholodov V. A., Belobrov V. P., Yaroslavtseva N. V., Yashin M. A., Yudin S. A., Ermolaev N. R., Dridiger V. K., Ilyin B. S., Lazarev V. I. Influence of No-till system on the distribution of organic carbon and nitrogen by aggregate size fractions in protocalcic, endocalcic, and pantocalcic chernozems // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. P. 285–290. DOI: 10.1134/S1064229321020071.
8. Artemyeva Z. S., Danchenko N. N., Kirillova N. P., Masyutenko N. P., Dubovik E. V., Kuznetsov A. V., Kogut B. M. The effect of erosion processes on the content and composition of organic matter in macro- and microaggregates of haplic chernozem // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. P. 1659–1667. DOI: 10.1134/S1064229321110028.
9. Askari M., Komarizade M. H., Nikbakht A. M., Nobakht N., Teimourlou R. F. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements // Research in Agricultural Engineering. 2011. Vol. 57. Iss. 4. P. 128–136. DOI: 10.17221/16/2011-RAE.
10. Al-Suhaibani S. A., Al-Janobi A. A., Al-Majhadi Y. N. Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2010. Vol. 3. Iss. 2. P. 363–371. DOI: 10.3844/ajeassp.2010.363.371.
11. Бартенев И. М., Кургалин С. Д., Туровский Я. А., Лысыч М. Н. Перспективная конструкция многофункционального культиватора для склонов с автоматической биометрически корректируемой системой контроля поперечной устойчивости // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 2(18). С. 158–165. DOI: 10.12737/111990.
12. Патент РФ № 214145 «Рабочий орган для сплошной обработки почвы паровых полей в летний период» // Авторы: Камбулов С. И., Рыков В. Б., Божко И. В., Подлесный Д. С. Патентообладатель: ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской». 13.10.2022.
13. Божко И. В., Пархоменко Г. Г., Громаков А. В., Максименко В. А., Камбулов С. И. Экспериментальная установка для исследования почвообрабатывающих рабочих органов // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 6. С. 37–42.

### References

1. Ustroeov A. A., Kalinin A. B., Murzaev E. A. Analysis of digital measurement systems to determine the soil state parameters // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2018. No. 4(97). P. 19–28. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10085.
2. Lobachevsky Ya. P., Starovoitov S. I., Akhalaya B. Kh., Tsench Yu. S. Digital technologies in pochvoobrabotke // Innovations in agriculture. 2019. No. 1(30). P. 191–197.
3. Belobrov V. P., Yudin S. S., Yaroslavtseva N. V., Yudina A. V., Dridiger V. K., Stukalov R. S., Kluev N. N., Zamotaev I. V., Ermolaev N. R., Ivanov A. L., Kholodov V. A. Changes in physical properties of



chernozems under the impact of No-till technology // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. P. 968–977. DOI: 10.1134/S1064229320070029.

4. Nikitin D. A., Ivanova E. A., Zhelezova A. D., Semenov M. V., Gadzhumarov R. G., Tkhakakhova A. K., Chernov T. I., Ksenofontova N. A., Kutovaya O. V. Assessment of the impact of No-till and conventional tillage technologies on the microbiome of southern agrochernozems // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. P. 1782–1793. DOI: 10.1134/S106422932012008X.

5. Gómez-Muñoz B., Jensen L. S., Munkholm L., Olesen J. E., Hansen E. M., Bruun S. Long-term effect of tillage and straw retention in conservation agriculture systems on soil carbon storage // Soil Science Society of America Journal. 2021. Vol. 85. Iss. 5. P. 1465–1478. DOI: 10.1002/saj2.20312.

6. Parajuli B., Ye R., Luo M., Ducey T. F., Park D., Smith M., Sigua G. Contrasting carbon and nitrogen responses to tillage at different soil depths: an observation after 40-year of tillage management // Soil Science Society of America Journal. 2021. Vol. 85. Iss. 4. P. 1256–1268. DOI: 10.1002/saj2.20277.

7. Kholodov V. A., Belobrov V. P., Yaroslavtseva N. V., Yashin M. A., Yudin S. A., Ermolaev N. R., Dridiger V. K., Ilyin B. S., Lazarev V. I. Influence of no-till system on the distribution of organic carbon and nitrogen by aggregate size fractions in protocalcic, endocalcic, and pantocalcic chernozems // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. P. 285–290. DOI: 10.1134/S1064229321020071.

8. Artemyeva Z. S., Danchenko N. N., Kirillova N. P., Masyutenko N. P., Dubovik E. V., Kuznetsov A. V., Kogut B. M. The effect of erosion processes on the content and composition of organic matter in macro- and microaggregates of haplic chernozem // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. P. 1659–1667. DOI: 10.1134/S1064229321110028.

9. Askari M., Komarizade M. H., Nikbakht A. M., Nobakht N., Teimourlou R. F. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements // Research in Agricultural Engineering. 2011. Vol. 57. Iss. 4. P. 128–136. DOI: 10.17221/16/2011-RAE.

10. Al-Suhaibani S. A., Al-Janobi A. A., Al-Majhadi Y. N. Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2010. Vol. 3. Iss. 2. P. 363–371. DOI: 10.3844/ajeassp.2010.363.371.

11. Bartenev I. M., Kurgalin S. D., Turovsky Ya. A., Lysych M. N. Promising design multipurpose cultivator to slopes with automatic corrected biometric control system lateral stability // Forestry Engineering Journal. 2015. Vol. 5. No. 2(18). P. 158–165. DOI: 10.12737/111990.

12. Patent RF No. 214145 “Working body for continuous cultivation of the soil of fallow fields in the summer” // Authors: Kambulov S. I., Rykov V. B., Bozhko I. V., Podlesny D. S. Patent holder: State Scientific Establishment “Agricultural research center “Donskoy””. 13.10.2022.

13. Bozhko I. V., Parkhomenko G. G., Gromakov A. V., Maksimenko V. A., Kambulov S. I. The experimental setup for the study of soil-working bodies // Tractors and Agricultural Machinery. 2017. No. 6. P. 37–42.

UDC 631.316.02

Bozhko I. V., Kambulov S. I., Parkhomenko G. G., Podlesny D. S.

### **APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES DURING EXPERIMENTAL STUDIES OF THE WORKING BODY OF CULTIVATOR FOR FALLOW FIELDS TILLAGE**

*Summary.* At present, it is possible to monitor the technological process with a given data sampling rate during experimental studies using digital measuring systems that allow monitoring and evaluating the parameters of the controlled technological process. One of the most important stages in the process of obtaining high-quality food grains is tillage, and the highest yields of grain crops in arid conditions can be obtained using fallow fields in crop rotation. Well-known agricultural tools for fallow fields tillage cannot ensure tillage to a depth of 4–6 cm without removing wet layers to the surface. The article considers the methodology for conducting experimental studies of the working body for tillage of fallow fields in the summer. The purpose of the research was to determine the traction resistance spent on the technological operation of soil tillage by the working body using digital technologies. The studies were carried out at the Department of Mechanization of Crop Production – structural unit of the SSE Agricultural Research Center “Donskoy” in 2023 on the experimental installation using strain gauge system ZET 058. In the course of the studies, using SCADA ZETView graphic programming environment, the program for experimental calculation of energy indicators of the working bodies was developed. Application of this program makes it possible to exclude obtaining of calibration coefficients, thereby ensuring

conversion of analog electrical signals of the load cell into digital form, as well as reproduction of the applied load with the formation of the output signal in newtons (N). The accuracy of reproducible energy indicators was also verified. As a result, it was found that the measurement error is  $\pm 19$  N, which corresponds to the permissible measurement error of the load cell  $\pm 2$  kg.

**Keywords:** research methodology, working body, traction resistance, graphic programming, load cell, calibration coefficient.

Божко Игорь Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: i.v.bozhko@mail.ru.

Камбулов Сергей Иванович, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; профессор кафедры "Технологии и оборудование переработки продукции АПК" ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», 344003, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1; e-mail:kambulov.s@mail.ru.

Пархоменко Галина Геннадьевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru.

Подлесный Дмитрий Сергеевич, ведущий инженер отдела механизации растениеводства, структурное подразделение «СКНИИМЭСХ», ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14; старший преподаватель кафедры "Технологии и оборудование переработки продукции АПК" ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», 344003, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1; e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru.

Bozhko Igor Vladimirovich, Cand. Sc. (Tech.), senior researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: i.v.bozhko@mail.ru.

Kambulov Sergey Ivanovich, Dr. Sc. (Tech.), chief researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; professor of the Department “Technologies and equipment for processing agricultural products”, FSBEI VO “Don State Technical University”; 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, Rostov Region, 344003, Russia; e-mail: kambulov.s@mail.ru.

Parkhomenko Galina Gennadievna, Cand. Sc. (Tech.), leading researcher of the Department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru.

Podlesny Dmitry Sergeevich, leading engineer of the department of mechanization of crop production, structural unit SKNIIMESH, SSE Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; senior lecturer of the Department “Technologies and equipment for processing agricultural products”, FSBEI VO “Don State Technical University”; 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, Rostov Region, 344003, Russia; e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 18.07.2023.

Дата принятия к печати – 13.09.2023.