

#### 4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья  
УДК 631.3/62-94

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2024\_4\_140

EDN: JUDERG

#### Исследование комбинированной почвообрабатывающей машины в лабораторных условиях

Максим Александрович Гнусов<sup>1</sup>, Сергей Владимирович Малюков<sup>2✉</sup>,  
Леонид Дмитриевич Бухтояров<sup>3</sup>, Михаил Николаевич Лысыч<sup>4</sup>,  
Александр Федорович Петков<sup>5</sup>, Максим Александрович Попов<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
Воронеж, Россия

<sup>2</sup> malyukovsergey@yandex.ru✉

**Аннотация.** В сельском и лесном хозяйстве обработка почвы относится к основным операциям. В связи с этим комбинированные модульные почвообрабатывающие орудия приобретают все более широкое распространение, так как их применение способствует сокращению энергетических и трудовых затрат. С учетом действующих антироссийских санкционных ограничений, а также необходимости замещения импортной техники отечественными аналогами актуальность создания новых агрегатов и машин не вызывает сомнений. Представлены результаты одного из этапов исследования, выполненного с целью изготовления тензометрической навески для проведения пространственного динамометрирования рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего орудия в лабораторных условиях. На основе анализа опубликованных работ авторы отдали предпочтение тензометрической лаборатории от компании ZetLab, которая хорошо себя зарекомендовала, так как позволяет подключать одновременно несколько датчиков и снимать показания различных каналов. Такой вид оборудования повышает степень точности экспериментальных данных. Разработанная тензометрическая навеска позволяет определять тяговое усилие почвообрабатывающего орудия в трех плоскостях X, Y, Z (сила сопротивления движению орудия, сила бокового увода, выглубляющая сила). Для этого навеска оснащена тремя S-образными датчиками, которые входили в общую схему тензометрической станции и обеспечивали получение силовых характеристик при взаимодействии рабочих органов с почвой. Сконструированы сменные модульные почвообрабатывающие рабочие органы. Определены тяговые сопротивления дисковой батареи и диска с изменением угла их установки от 10 до 30° с шагом 10°, а также глубокорыхлителя и плоскореза с заглублением от 10 до 40 см с шагом 10 см. Полученные результаты могут быть использованы при моделировании процессов взаимодействия рабочих органов с почвенной средой. Применение комбинированного почвообрабатывающего орудия позволит повысить качество основной и дополнительной обработок почвы. Результаты экспериментов необходимы для разработки новых образцов универсальной комбинированной машины модульного типа.

**Ключевые слова:** комбинированное почвообрабатывающее орудие, дисковая батарея, дисковый рабочий орган, глубокорыхлитель, плоскорезующий рабочий орган

**Финансирование:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010>.

**Для цитирования:** Гнусов М.А., Малюков С.В., Бухтояров Л.Д., Лысыч М.Н., Петков А.Ф., Попов М.А. Исследование комбинированной почвообрабатывающей машины в лабораторных условиях // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 4(83). С. 140–148. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2024\\_4\\_140-148](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_140-148).

#### 4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

#### Investigation of a combined tillage machine in laboratory conditions

Maksim A. Gnusov<sup>1</sup>, Sergey V. Malyukov<sup>2✉</sup>,  
Leonid D. Bukhtoyarov<sup>3</sup>, Mikhail N. Lysych<sup>4</sup>,  
Aleksandr F. Petkov<sup>5</sup>, Maksim A. Popov<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Voronezh University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

<sup>2</sup> malyukovsergey@yandex.ru✉

**Abstract.** In agriculture and forestry, tillage is one of the main operations. In this regard, combined modular tillage tools are becoming increasingly widespread, as their use helps reducing energy and labor costs. Taking into account the current anti-Russian sanctions restrictions, as well as the need to replace imported equipment with domestic analogues, the relevance of creating new units and machines is beyond doubt. The results of one of the stages of the study performed with the aim of creating a strain gauge for spatial dynamometry of the working organs of a combined tillage tool in laboratory conditions are presented. Based on the analysis of the published works, the authors gave preference to the strain gauge laboratory from ZetLab, which has proven itself well, as it allows connecting several sensors simultaneously and taking instruments readings from various channels. This type of equipment increases the accuracy of experimental data. The developed strain gauge makes it possible to determine the traction force of a tillage implement in three planes X, Y, Z (motion resistance force, cornering force, and tool's raising out of the soil force). For this purpose, the suspension is equipped with three S-shaped sensors, which were included in the general scheme of the strain gauge station and provided power characteristics during the interaction of the working bodies with the soil. Replaceable modular tillage working bodies have been constructed. The traction resistances of a disk battery and a disk with a change in their installation angle from 10 to 30° in 10° increments, as well as a deep-hole and a plane cutter with a depth from 10 to 40 cm in 10 cm increments were determined. The obtained results can be used in modeling the processes of interaction of working bodies with the soil environment. The use of a combined tillage tool will improve the quality of basic cultivation and secondary soil treatment. The experimental results are necessary for the development of new models of a universal modular combined machine.

**Keywords:** combined soil tillage implement, disk battery, disk working tool, subsoil tiller, subsurface plow

**Funding:** the study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010>.

**For citation:** Gnusov M.A., Malyukov S.V., Bukhtoyarov L.D., Lysych M.N., Petkov A.F., Popov M.A. Investigation of a combined tillage machine in laboratory conditions. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(4):140-148. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2024\\_4\\_140-148](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_140-148).

Использованием комбинированных машин, которые выполняют за один проход несколько операций, достигается увеличение производительности сельскохозяйственных агрегатов. Их применение снижает уплотнение и распыление почвы за счет сокращения количества проходов. Сокращаются сроки проведения работ с одновременным повышением их качества, снижаются производственные затраты. Единственным условием использования комбинированных машин и агрегатов является требование комплектовать только те рабочие органы, совмещение которых возможно во времени без снижения качества и нарушения сроков выполнения операций.

Комбинированные модульные почвообрабатывающие орудия в настоящее время приобретают все более широкое распространение, так как их применение способствует сокращению энергетических и трудовых затрат (энергоёмкость снижается на 20–30%). Научное исследование почвообрабатывающих машин при взаимодействии рабочих органов с почвой в реальных рабочих условиях требует значительных финансовых вложений и жестко ограничено временными рамками [3, 4, 9]. В связи с этим более приемлемым является проведение лабораторных или стендовых исследований, моделирующих (имитирующих) реальные условия, в которых может оказаться почвообрабатывающее орудие [1]. В данном случае ограничительной мерой выступает снижение временных затрат в связи с тем, что проводятся лабораторные или стендовые исследования, которые не привязаны к сезонным и температурным режимам окружающей среды [5]. Еще одним преимуществом является возможность съема более точных показаний, так как применяется высокоточное оборудование и повышается скорость обработки снимаемых показаний [2, 7, 8].

Представлены результаты исследования, выполненного с целью разработки тензометрической навески для проведения пространственного динамометрирования рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего орудия в лабораторных условиях.

Составляющие почвообрабатывающего орудия навешивались на одну общую раму. Перед началом проведения лабораторных испытаний исследуемый рабочий орган прикреплялся к раме, которая навешивалась на электрическую тележку лабораторного почвенного канала.

Путь разгона и путь остановки отсутствовали, но при этом был путь начала за-глубления рабочего органа. Оператор запускал тележку, тензолaborаторию и програм-му записи на компьютере. Каждый раз после завершения движения орудие возвращали в начальную точку, при помощи ручного инструмента поверхность почвенного канала приводили в первоначальное состояние (выравнивали). Тяговое сопротивление диско-вой батареи и диска определяли с изменением угла установки от 10 до 30° с шагом 10°, а глубокорыхлителя и плоскореза – с заглублением от 10 до 40 см с шагом 10 см.

Почву в лабораторном канале увлажняли один-два раза в течение недели по ме-ре испарения влаги. Относительную влажность определяли при помощи электронного влагомера, но для перепроверки показаний использовали термовесовой метод, который включал в себя несколько операций. В лабораторном канале по всей глубине послойно с расстоянием 5 см проводили заборы почвы в цилиндрические бюксы, которые взве-шивали на электронных весах. Далее бюксы, наполненные почвой, отправляли в су-шильный шкаф, в котором при температуре 100–105 °С выпаривали влагу при задан-ных параметрах в течение 5 часов. После этого бюксы извлекали из сушильного шкафа, давали им остыть и снова взвешивали. Методом расчетов массы почвы до и после про-цедуры определяли количество испарившейся влаги. Величина содержания влаги нахо-дилась в процентном отношении от испарившейся воды и массы сухого грунта [6]. От-носительная влажность сохранялась на уровне 17–22%.

Для изменения углов атаки дисковой батареи, диска, а также регулировки высоты установки глубокорыхлителя и плоскореза на раме были предусмотрены регулировочные крепежные элементы, которыми фиксировались требуемые углы и величины глубины.

Стартовым этапом служила точка отсчета в момент начала перемещения рабочего органа. Тензолaborаторией фиксировался сигнал начала движения, а на компьютере в программном обеспечении графически выдавался результат. Три датчика регистрирова-ли тяговое сопротивление рабочего органа в трех плоскостях. При измерении тягового усилия начальный этап обозначили как заглубление режущей части рабочего органа в грунт почвенного канала с последующей обработкой почвы и до момента отключения электродвигателя тележки и выключения программы записи на ЭВМ.

По каждому эксперименту были получены цифровые данные, после обработки которых сформированы графические представления зависимости регулировочных па-раметров и силы тяги во временном интервале.

Для исследования тягового сопротивления за основу была выбрана конструкция, оснащенная тремя S-образными датчиками, которые входят в общую схему тензомет-рической станции и позволяют получать силовые характеристики при взаимодействии рабочих органов с почвой [10].

В ходе проведения исследований была доработана тензометрическая навеска, предназначенная для пространственного динамометрирования рабочих органов комби-нированного почвообрабатывающего орудия в лабораторных условиях. В частности, изменения коснулись запирающих валов, что позволило изолировать воздействие от-дельных секций. Такое новшество обезопасило смонтированные в конструкции датчи-ки в процессе холостого перемещения с навешенным орудием по каналу от неостре-бованных нагрузок, а также предоставило функцию более точной настройки осей, в ко-торых требуется проводить исследования.

В процессе исследования тензометрическая установка была изготовлена в нату-ральную величину в металле. Предложенная 3D-модель установки для объемного тен-зометрирования с тремя S-образными датчиками нагрузки и запирающими валами по-казана на рисунке 1.

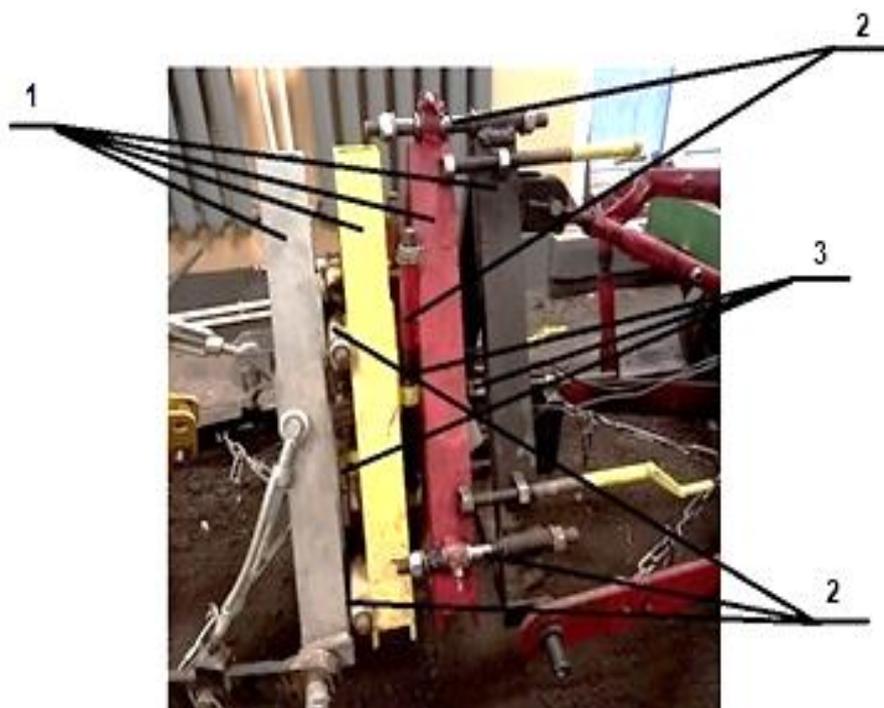


Рис. 1. Тензонавеска: 1 – треугольные основания, 2 – направляющие оси, 3 – посадочные места под S-образные датчики

Установка состоит из четырех треугольных рамок с ограниченными степенями свободы. Каждое соединение имеет по одной степени свободы на осях координат. Между транспортным средством и почвообрабатывающим орудием устанавливается тензометрическая навеска. Оси движения рамок выполнены на валах, жестко зафиксированы на одной рамке, а ко второй прикреплены с помощью линейных подшипников, исключающих круговые движения или смещение относительно трех основных осей.

Кроме запирающих валов в конструкцию добавлены кольца для закрепления рычажных тяг, за счет чего достигалась монолитность конструкции тележки в системе «почвенный канал – тензонавеска – рама почвообрабатывающего орудия». Созданная сцепка позволяет устранить колебательные перемещения вдоль осей.

Рабочий процесс дисковой батареи основан на поочередном обороте почвенных масс каждым из дисковых рабочих органов (рис. 2). Последний в батарее сферический диск укладывает грунт на необработанную почву, но при этом каждый следующий диск укладывает грунт в обработанный участок. Критерием оценки работы всего орудия будет оценка результата, который выполнен последним диском.

Дисковый рабочий орган наиболее востребован в конструкции полноценных почвообрабатывающих машин. Такие рабочие органы используются для обработки различных типов почв и грунтов.

Глубокорыхлитель как рабочий орган также широко распространен, так как позволяет обогатить почву кислородом, а также предоставляет возможность обрабатывать почву на большой глубине.

Еще одним рабочим органом, входящим в комбинированное почвообрабатывающее орудие, является плоскорез, который служит в качестве универсального инструмента, позволяющего заменить лопату, мотыгу, косу и ряд других сельскохозяйственных орудий.

В процессе лабораторных исследований были получены данные по энергетическим показателям отдельных блоков комбинированного почвообрабатывающего орудия.



Рис. 2. Модульный блок почвообрабатывающего орудия: а – дисковая батарея; б – дисковый рабочий орган; в – глубокорыхлитель; з – плоскорез

На рисунке 3 представлено графическое изменение тягового сопротивления дисковой батареей при угле атаки  $20^\circ$ . В начальный момент времени датчики по всем трем осям показывали тяговое усилие, равное 0, после начала движения и в процессе заглубления орудия тяговое сопротивление резко возрастало до отметки 2,2 кН; с 15-й по 42-ю секунды наблюдался установившийся режим работы дисковой батареей – обработка почвы на глубину 8–10 см. В это время выглубляющая сила  $F_z$  и сила бокового увода  $F_y$  принимали значения в интервале от  $-0,2$  до  $-0,45$  кН. В момент остановки орудия тяговая нагрузка резко снижалась до 0,7 кН. Постоянное значение данных на трех датчиках после остановки объясняется натяжением датчиков в статическом положении.

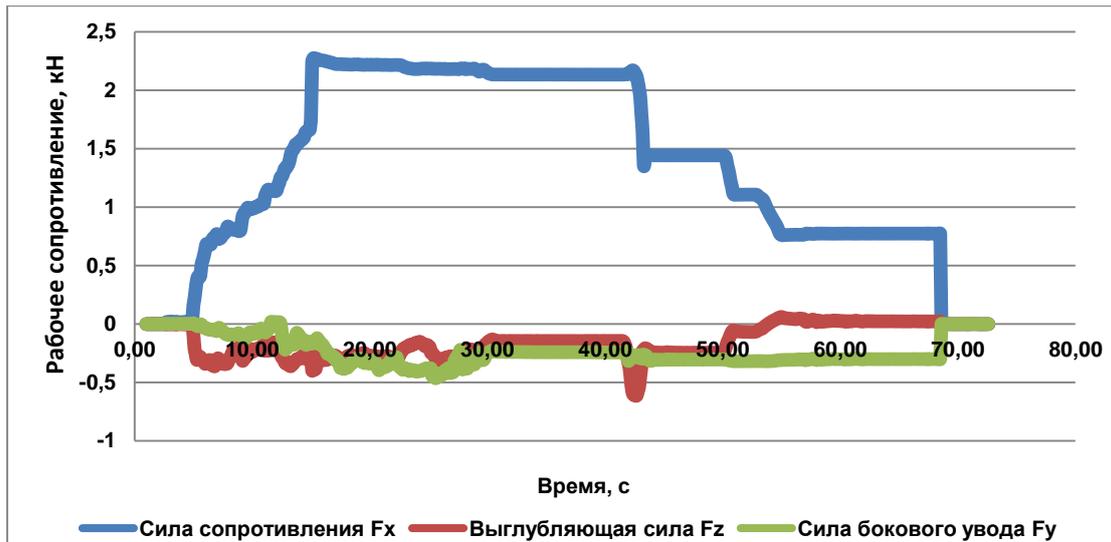


Рис. 3. Тяговое сопротивление дисковой батареи при угле атаки 20°

На рисунке 4 представлено графическое изменение тягового сопротивления дисковой батареи при угле атаки 30°. В начальный момент времени датчики по всем трем осям показывали тяговое усилие, равное 0, после начала движения и в процессе заглабления орудия тяговое сопротивление резко возрастало до отметки 2,5 кН. С 9-й по 35-ю секунды наблюдался установившийся режим работы дисковой батареи – обработка почвы на глубину 10–12 см. В это время выглубляющая сила  $F_z$  принимала значения от  $-0,1$  до  $-0,51$  кН, а сила бокового увода  $F_y$  – от  $-0,25$  до  $-0,70$  кН. В момент остановки орудия тяговая нагрузка резко снижалась до 1,5 кН.

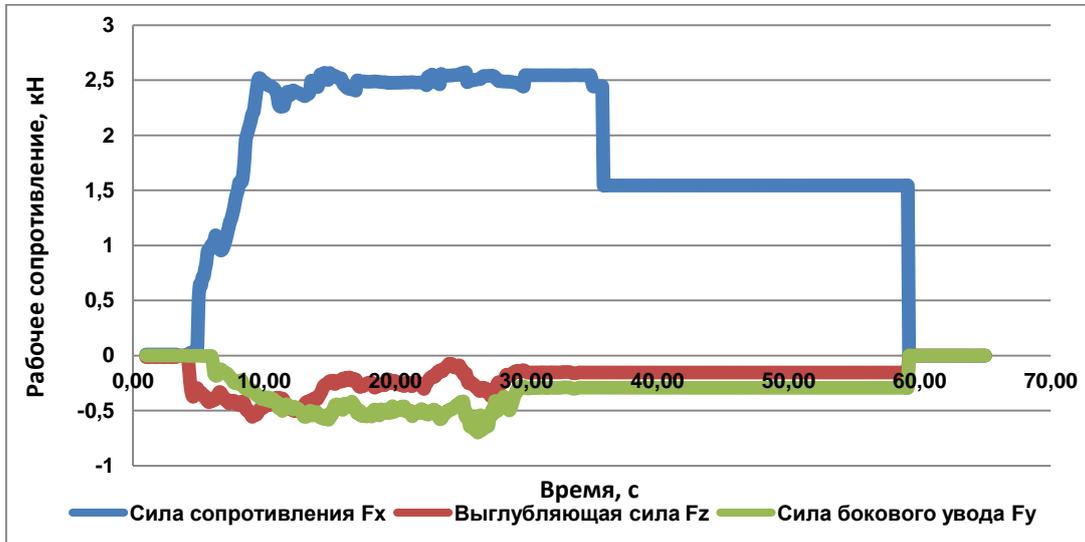


Рис. 4. Тяговое сопротивление дисковой батареи при угле атаки 30°

На рисунке 5 представлено графическое изменение тягового сопротивления дискового корпуса плуга при угле атаки 20°. В начальный момент времени датчики по всем трем осям показывали тяговое усилие, равное 0, после начала движения и в процессе заглабления орудия тяговое сопротивление резко возрастало до отметки 1,7 кН. С 5-й по 29-ю секунды наблюдался установившийся режим работы дискового корпуса плуга – обработка почвы на глубину 7–8 см. В это время выглубляющая сила  $F_z$  принимала значения от  $-0,45$  до  $-0,58$  кН, а сила бокового увода  $F_y$  – 0,1 до  $-0,1$  кН. В момент остановки орудия тяговая нагрузка снижалась до 1,3 кН.

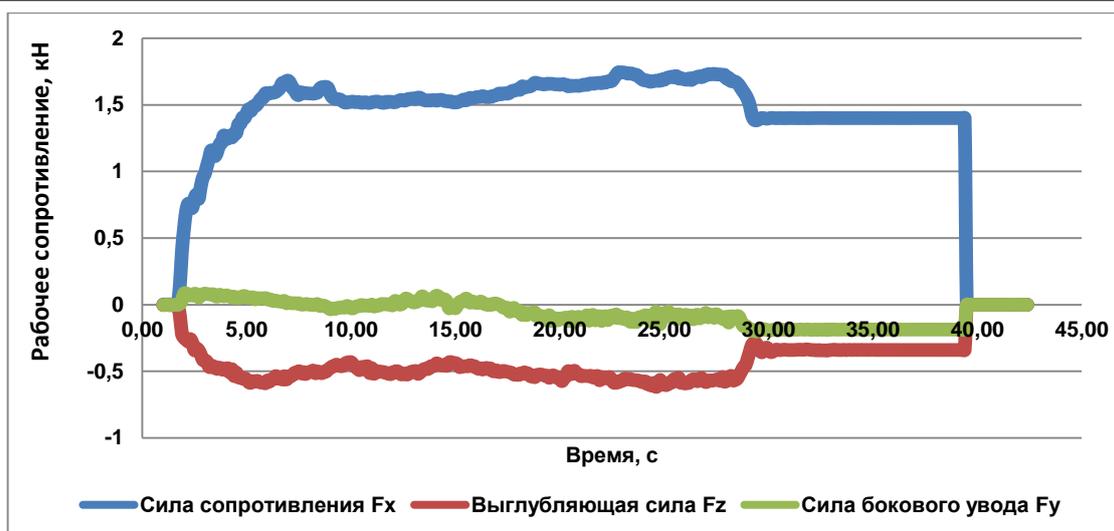


Рис. 5. Тяговое сопротивление дискового корпуса плуга при угле атаки 20°

На рисунке 6 представлено графическое изменение тягового сопротивления дискового корпуса плуга при угле атаки 30°. В начальный момент времени датчики по всем трем осям показывали тяговое усилие, равное 0, после начала движения и в процессе заглабления орудия тяговое сопротивление резко возрастало до отметки 2,1 кН. С 7-й по 29-ю секунды наблюдался установившийся режим работы дискового корпуса плуга – обработка почвы на глубину 10–11 см. В это время выглубляющая сила  $F_z$  принимает значения от  $-0,5$  до  $-0,87$  кН, а сила бокового увода  $F_y$  – от 0 до  $-0,5$  кН. В момент остановки орудия тяговая нагрузка резко снижалась до 1,8 кН.

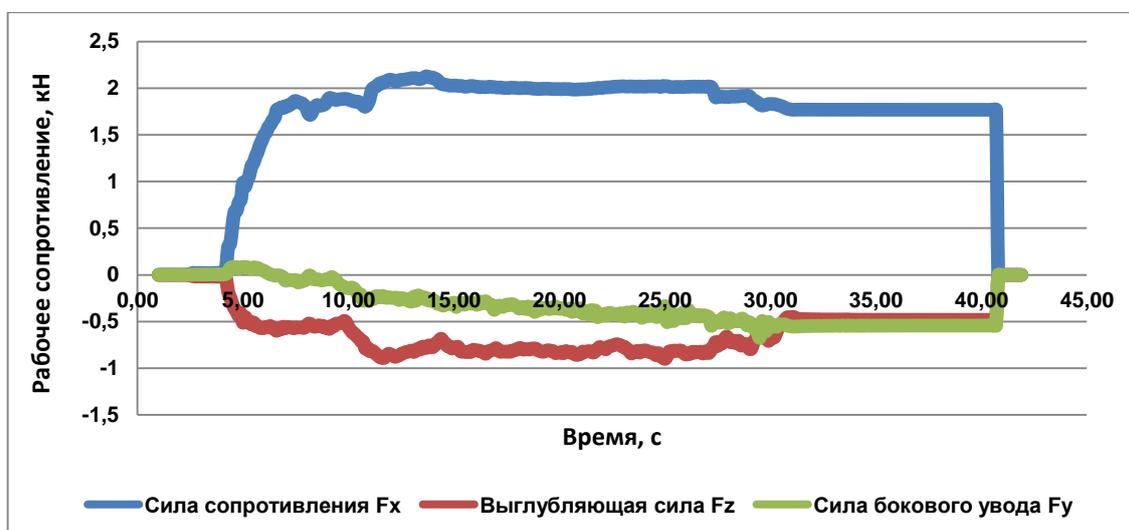


Рис. 6. Тяговое сопротивление дискового корпуса плуга при угле атаки 30°

### Выводы

В процессе научных исследований была разработана тензометрическая навеска для проведения пространственного динамометрирования в условиях лаборатории модулей почвообрабатывающих рабочих органов. Были выполнены лабораторные исследования по определению тягового усилия в трех различных плоскостях  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (сила сопротивления движению орудия, сила бокового увода, выглубляющая сила).

Во время установившегося режима работы дисковой батареи при угле атаки 20° тяговое сопротивление составляло 2,2 кН, выглубляющая сила  $F_z$  и сила бокового увода  $F_y$  принимали значения от  $-0,2$  до  $-0,45$  кН. Во время установившегося режима ра-

боты дисковой батареи при угле атаки  $30^\circ$  тяговое сопротивление составляло 2,5 кН, выглубляющая сила  $F_z$  принимала значения от  $-0,1$  до  $-0,51$  кН, а сила бокового увода  $F_y$  – от  $-0,25$  до  $-0,70$  кН. Во время установившегося режима работы дискового корпуса плуга при угле атаки  $20^\circ$  тяговое сопротивление составляло 1,5–1,7 кН, выглубляющая сила  $F_z$  принимала значения от  $-0,45$  до  $-0,58$  кН, а сила бокового увода  $F_y$  – от 0,1 до  $-0,1$  кН. Во время установившегося режима работы дискового корпуса плуга при угле атаки  $30^\circ$  тяговое сопротивление составляло 1,9–2,1 кН, выглубляющая сила  $F_z$  принимала значения от  $-0,5$  до  $-0,87$  кН, а сила бокового увода  $F_y$  – от 0 до  $-0,5$  кН.

Эти результаты необходимы для проведения многокритериальной оптимизации параметров рабочих органов комбинированной почвообрабатывающей машины, а также для установления взаимосвязи конструктивных и технологических параметров рабочих органов с физико-механическими характеристиками почвы.

Тензометрическая навеска позволяет сократить время проведения исследований, разработать высоко детализированные имитационные модели, упростить получение информации об исследуемых процессах.

#### Список источников

1. Василенко В.В., Афоничев Д.Н., Василенко С.В. и др. Влияние вибрации на угол трения почвы по рабочему органу // Лесотехнический журнал. 2013. № 3(11). С. 123–126.
2. Джаббаров Н.И., Сергеев А.В., Шамонин В.И. и др. Сравнительная энергооценка почвообрабатывающих рабочих органов с использованием измерительно-информационного комплекса // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 97. С. 41–49. DOI: 10.24411/0131-5226-2018-10087.
3. Ерзамаев М.П., Сазонов Д.С., Ерзамаева Н.Е. и др. Тензометрическая установка для испытания рабочих органов сельскохозяйственных машин в полевых условиях // Сельское хозяйство и продовольственная безопасность: технологии, инновации, рынки, кадры: научные труды международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию аграрной науки, образования и просвещения в Среднем Поволжье (Казань, 13–14 ноября 2019 г.). Казань: Казанский ГАУ, 2019. С. 288–292.
4. Жук А.Ф., Юнусов Г.С., Ахмадеева М.М. Обеспеченность растениеводства почвообрабатывающей техникой: состояние и перспективы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. № 1(48). С. 132–137. DOI: 10.12737/article\_5afc15a191d8c6.03289880.
5. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Захаров П.В. Обзор конструкций тензометрических установок для изучения силовых параметров рабочих органов почвообрабатывающих орудий // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 6.
6. Мазиров М.А., Шеин Е.В., Корчагин А.А. и др. Полевые исследования свойств почв: учебное пособие к полевой практике для студентов, обучающихся по направлению подготовки 021900 – почвоведение. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. 72 с.
7. Мясенко В.И., Маринов Н.А. Пространственное динамометрирование рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 5. С. 22–26. DOI: 10.22314.2073-7599-2017.5.22-26.
8. Петров В.А., Раднаев Д.Н., Шалбаева Р.Г. К методике измерения тягового сопротивления // Приоритетные направления научно-технологического развития аграрного сектора России: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки (Улан-Удэ, 16–10 февраля 2023 г.). Улан-Удэ: Бурятская ГСХА, 2023. С. 393–400.
9. Ушаков А.Е., Египко С.В. Разработка тензометрической навески для проведения полевых испытаний почвообрабатывающих машин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2023. № 22. С. 42–49. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-22-42-49.
10. Gnusov M.A., Lysych M.N., Druchinin D.Yu. Volumetric dynamometer units for laboratory and field testing of tillage equipment // Journal of Physics: Conference Series. II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021). Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021. Vol. 1889. Article No. 52047. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/5/052047.

#### References

1. Vasilenko V.V., Afonichev D.N., Vasilenko S.V. et al. The influence of vibration on the friction angle of the soil by working body. *Forestry Engineering Journal*. 2013;3(11):123-126. (In Russ.).
2. Dzhabborov N.I., Sergeev A.V., Shamonin V.I. et al. Use of solar energy for hot water supply of a cattle farm for 200 head. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018;97:41-49. DOI 10.24411/0131-5226-2018-10087. (In Russ.).

3. Erzamayev M.P., Sazonov D.S., Erzamayeva N.E. et al. Strain gauge plant for field testing of working tools of agricultural machines. In: Agriculture and Food Security: Technologies, Innovations, Markets, Personnel: Scientific Works of the International Research-to-Practice Conference dedicated to the 100<sup>th</sup> anniversary of agricultural science, education and enlightenment in the Middle Volga region (Kazan, November 13-14, 2019). Kazan: Kazan State Agrarian University Publishers; 2019:288-292. (In Russ.).

4. Zhuk A.F., Yunusov G.S., Akhmadeeva M.M. Security of crop production of soil-processing technique: status and prospects. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2018;1(48):132-137. DOI: 10.12737/article\_5afc15a191d8c6.03289880. (In Russ.).

5. Lysych M.N., Shabanov M.L., Zakharov P.V. Review of designs strain-gauge sets for studying of power parameters of attachment of soil-cultivating tools. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;1-1:6. (In Russ.).

6. Mazirov M.A., Shein E.V., Korchagin A.A. et al. Field studies of soil properties: a textbook for field practice for students studying in the field of training 021900 – soil science. Vladimir: Vladimir State University; 2012. 72 p. (In Russ.).

7. Myalenko V.I., Marinov N.A. Spatial dynamometering of working tools of agricultural implements. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017;5:22-26. DOI: 10.22314.2073-7599-2017.5.22-26. (In Russ.).

8. Petrov V.A., Radnaev D.N., Shalbaeva R.G. To the method of measuring the traction resistance. In: Priority areas of scientific and technological development of the agricultural sector of Russia. Proceedings of the All-Russian (National) Research-to-Practice Conference dedicated to the Day of Russian Science (Ulan-Ude, February 06-10, 2023). Ulan-Ude: Buryat State Agricultural Academy; 2023:393-400. (In Russ.).

9. Ushakov A.E., Egipko S.V. Development of a strain gauge attachment for field testing of tillage machines. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2023;22:42-49. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-22-42-49. (In Russ.).

10. Gnusov M.A., Lysych M.N., Druchinin D.Yu. Volumetric dynamometer units for laboratory and field testing of tillage equipment. *Journal of Physics: Conference Series*. II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021). Krasnoyarsk: IOP Publishers. 2021;1889:52047. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/5/052047.

#### Информация об авторах

М.А. Гнусов – кандидат технических наук, руководитель лаборатории лесного машиностроения Инжинирингового центра ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», mgnusov@yandex.ru.

С.В. Малюков – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», malyukovsergey@yandex.ru.

Л.Д. Бухтояров – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», vglta-mlx@yandex.ru, b.leonid@vgltu.ru.

М.Н. Лысыч – кандидат технических наук, доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», miklynea@yandex.ru.

А.Ф. Петков – инженер кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», alexanderpetkoff@mail.ru.

М.А. Попов – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», popovmaxim98@mail.ru.

#### Information about the authors

M.A. Gnusov, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Forestry Engineering Laboratory of the Engineering Center, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, mgnusov@yandex.ru.

S.V. Malyukov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, malyukov-sergey@yandex.ru.

L.D. Bukhtoyarov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, vglta-mlx@yandex.ru, b.leonid@vgltu.ru.

M.N. Lysych, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, miklynea@yandex.ru.

A.F. Petkov, Engineer, the Dept. of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, alexanderpetkoff@mail.ru.

M.A. Popov, Post-Graduate Student, the Dept. of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, popovmaxim98@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 24.07.2024; одобрена после рецензирования 20.09.2024; принята к публикации 10.10.2024.

The article was submitted 24.07.2024; approved after reviewing 20.09.2024; accepted for publication 10.10.2024.

© Гнусов М.А., Малюков С.В., Бухтояров Л.Д., Лысыч М.Н., Петков А.Ф., Попов М.А., 2024