

УДК 681.2.08, 631.31

ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ С ПОЧВЕННОЙ СРЕДОЙ

Лысыч М.Н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Воронежский государственный
лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»

Email: miklynea@yandex.ru

Аннотация: Статья посвящена анализу конструкций измерительных установок используемых для динамометрирования сельско- и лесохозяйственных почвообрабатывающих орудий. Приведенные конструкции разделены на две группы: установки применяемые для исследования тягового сопротивления и установки для объемного динамометрирования. По каждой конструкции приводится анализ достоинств и недостатков.

Ключевые слова: динамометрирование, сельско- и лесохозяйственные почвообрабатывающие орудия, конструкции, анализ.

DYNAMOMETRY OF THE PROCESS OF INTERACTION OF
SOIL PROCESSING TOOLS WITH THE SOIL ENVIRONMENT

Lysych M.N.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova»

Email: miklynea@yandex.ru

Summary: The article is devoted to the analysis of the designs of equipment used for dynamometry of agricultural and forestry tillage tools. The above constructions are divided into two groups: equipment used to study traction resistance and equipment for volumetric dynamometry. For each design, an analysis of the strengths and weaknesses is provided.

Keywords: dynamometry, agricultural and forestry tillage tools, structures, analysis.

Введение

Важное значение при испытании сельско- и лесохозяйственной техники имеют методы динамометрирования, заключающиеся в измерении сил, передаваемых от двигателя к машине или воздействующих на рабочие органы и детали машин. Динамометрирование используется как при выполнении исследовательских работ, так и при испытании машин в рабочих условиях. Например, при комплектовании тракторных агрегатов, установлении норм выработки и расхода горючего, а также для обеспечения контроля за техническим состоянием тракторов и машин, а также правильности их регулирования.

Динамометрированием машин в полевых, лабораторных и заводских условиях определяют:

- энергетические показатели, необходимые для рационального подбора трактора или двигателя к машине или, наоборот, для подбора необходимого количества машин и рабочих органов к тракторам и двигателям;
- усилия, действующие на детали и рабочие органы, необходимые для расчетов на прочность и износ;
- данные, необходимые для расчета технологических процессов и сельско- и лесохозяйственных машин;
- характеристики, необходимые для оценки качества изготовления машин или отдельных узлов и качества их ремонта;
- данные, необходимые для определения КПД механизмов и машин.

Показатели, определяемые динамометрированием, являются исходными для решения основных задач машиностроения и использования машин, а именно: экономии материалов, улучшения качества продукции и технологических процессов, уменьшения износа деталей и расхода энергии при эксплуатации. Таким образом, конечной целью динамометрирования является создание рационально сконструированных и оптимальных в производстве и эксплуатации сельско- и лесохозяйственных машин, обеспечивающих рациональное природопользование и ресурсосбережение.

Цель исследования

Целью исследования является анализ по доступным отечественным и зарубежным литературным источникам существующих конструкций динамометрического оборудования, используемого для изучения силового взаимодействия сельско- и лесохозяйственных почвообрабатывающих орудий с почвенной средой и разработка на их основе установки для объемного динамометрирования.

Материал и методы исследования

Исследование выполнено на основе изучения научных трудов отечественных и зарубежных ученых и специалистов, занимающихся разработкой динамометрических установок и исследованием с их помощью силового взаимодействия сельско- и лесохозяйственных почвообрабатывающих орудий с почвенной средой.

Результаты исследования и их обсуждение

На данный момент накоплены достаточно большие базы исследований в области динамометрирования почвообрабатывающих орудий выполненные отечественными авторами [1-6]. Еще более внушительно выглядит число исследований, выполненных зарубежными авторами [7-34].

Все конструкции можно разделить на две большие группы: установки для исследования тягового сопротивления (продольная составляющая вектора тягового сопротивления R_x) [1, 2, 7-9, 11-13, 16, 22, 24, 26, 28-31, 35]; установки для объемного динамометрирования (исследование двух – R_x , R_z или трех компонент вектора тягового сопротивления R_x , R_y , R_z) [4, 15, 17-21, 23, 25, 27, 32-34, 36-39].

Рассмотрим подробнее некоторые конструкции тензометрических установок, используемых для одномерного динамометрирования почвообрабатывающих орудий.

Динамометрическая тензонавеска завода им. Октябрьской революции (рис. 1) позволяет проводить замеры только горизонтальных составляющих усилий в трех точках, а также суммировать эти составляющие без учета влияния изгибающих и крутящих моментов [2]. Тензонавеска представляет собой переходную рамку между плугом и трактором.

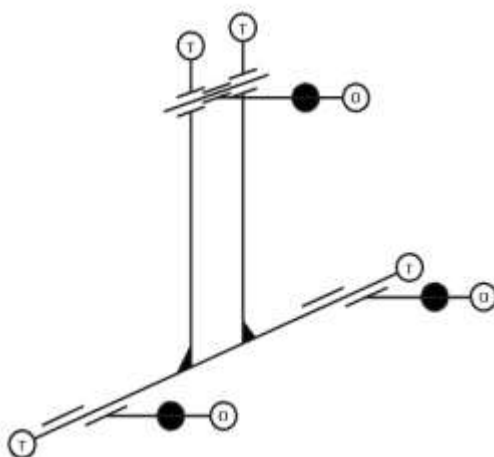


Рисунок 1 – Динамометрическая тензоустановка завода им. Октябрьской революции

Тензометрические тяги конструкции ВИСХОМа (рис. 2) применяются для исследования тягового сопротивления почвообрабатывающих орудий и представляют собой три тяги тракторной навески с наклеенными на них тензометрическими датчиками [2]. Такое техническое решение обладает высокой конструктивной простотой, однако интерпретация получаемых данных представляет собой сложную задачу, требующую сложения показаний трех датчиков. При этом остается невыясненным вопрос о влиянии на достоверность данных изгибающих и крутящих моментов, возникающих в тягах, особенно при испытании несимметричных орудий.

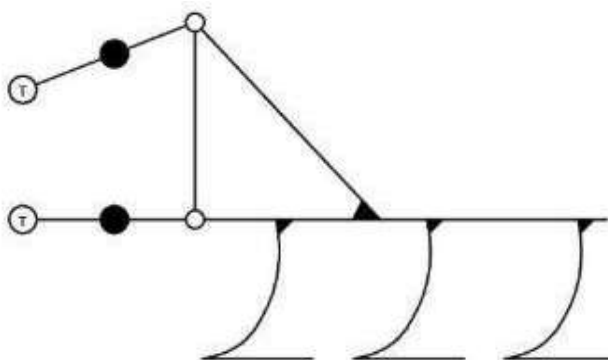


Рисунок 2 – Динамометрические тензотяги конструкции ВИСХОМа

Разработанная Одесской НИС НАТИ динамометрическая тензорампа (рис. 3) в которой все тензопальцы связаны между собой в одном узле [3]. Два нижних выполнены как одно целое с горизонтальной осью. В верхней части стойка заканчивается вилкой, имеющей с одной стороны тензопалец, а с другой соединительный шарнир. Подобный метод позволяет по сравнению с использованием динамометрических тяг, проводить измерения более простыми способами и с более простыми вычислениями. Также возможно определение не только горизонтальной, но и вертикальной составляющей тягового сопротивления. Однако значи-

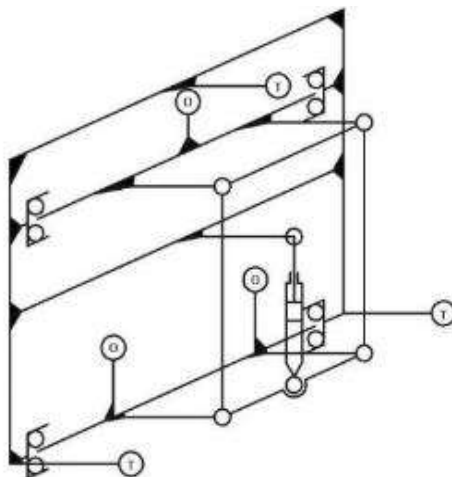


Рисунок 3 – Динамометрическая тензорампа Одесской НИС НАТИ

тельным недостатком является высокая погрешность измерений – 8-10 % и удаление орудия от трактора, из-за помещения между ними тензометрической рамы.

Другая тензометрическая навеска разработанная Одесской НИС НАТИ (рис. 4) предназначена для исследования горизонтальной составляющей тягового сопротивления [3]. В ней использовано одно тензометрическое звено, что значительно упрощает обработку данных и не вносит дополнительных погрешностей в измерения. Однако компоновка тензометрической навески требует снятия с испытуемой машины ее серийной навески и внесение изменений в конструкцию рамы, что не всегда возможно.

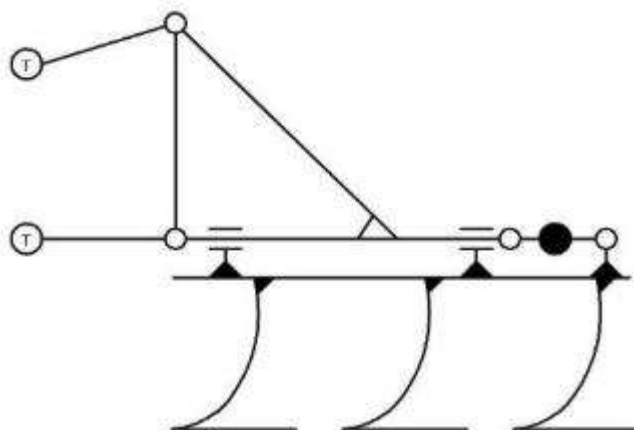


Рисунок 4 – Тензометрическая навеска Одесской НИС НАТИ

Тензометрическая навеска конструкции ВГЛТУ (рис. 5) предназначена для исследования тягового сопротивления почвообрабатывающих орудий и включает в себя две рамки, расположенные одна под другой, соединенные качающимися поводками [3]. Рамки имеют возможность двигаться друг относительно друга только в продольном направлении. Эту степень свободы ограничивает тензозвено,

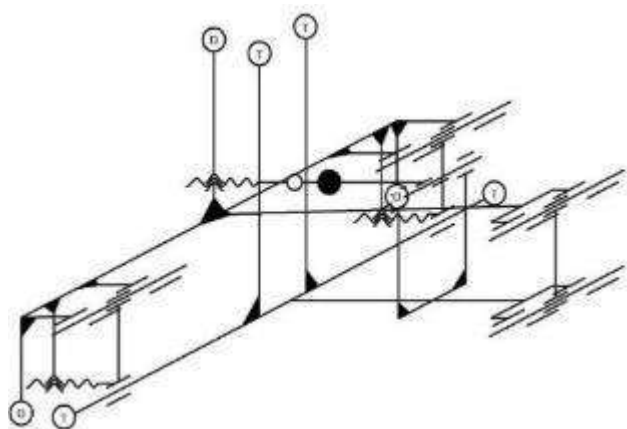


Рисунок 5 – Тензометрическая навеска конструкции ВГЛТУ

связывающее рамки при движении вперед и упоры с винтовой регулировкой, воспринимающие нагрузки в транспортном положении орудия.

Результаты анализа приведенных конструкций тензометрических установок явно указывают на то, что они с достаточной точностью способны фиксировать только горизонтальную составляющую тягового сопротивления. Лишь некоторые конструкции позволяют оценить вертикальную составляющую, а величины боковых составляющих тягового сопротивления остаются полностью неизученными, что является существенным недостатком при исследовании несимметричных орудий.

Рассмотрим конструкции тензометрических установок, используемых для объемного динамометрирования почвообрабатывающих орудий.

В тензометрической установке использующейся в университете Саскачевана [37] расположение тензодатчиков следующее: два тензодатчика S-типа в направлении движения почвы измеряют тяговое сопротивление, три измеряют вертикальную силу и один измеряет боковую силу. Схема расположения тензодатчиков показана на рисунке 6. Рабочий орган прикрепляется к нижней части рамы, а верхняя часть рамы крепится к подвижной каретке. Усилия от рабочего органа передаются через шесть тензодатчиков на раму каретки. Эта динамометрическая система использовалась в почвенном канале машиностроительного отделения университета Саскачевана с 1978 года.

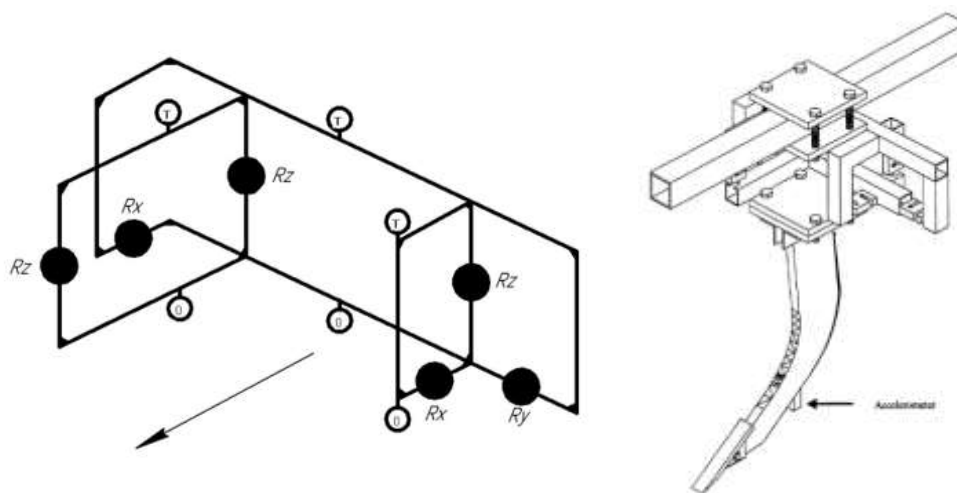


Рисунок 6 – Схема тензометрической ортогональной установки университета Саскачевана с шестью ассиметричными S-образными датчиками

В исследованиях [18] тяговая тележка также оснащалась шестью датчиками S-типа: два горизонтальных – для измерения продольной составляющей,

три вертикальных – для измерения вертикальной силы и один боковой датчик – для измерения боковой силы. Такое расположение тензодатчиков позволило измерять силы в трех направлениях.

В исследованиях Иранских ученых [34] был использован трехточечный тензометрический динамометр с общим весом 49 кг, измеряющий одновременно несколько силовых компонентов (рис. 7). Полевые испытания показали, что динамометр может измерять компоненты сил, действующих на трехточечное сцепное устройство, без сбоев, а система сбора данных фиксировать их. Кроме того, он может отображать данные в виде графика или записывать их в таблицу в памяти компьютера.

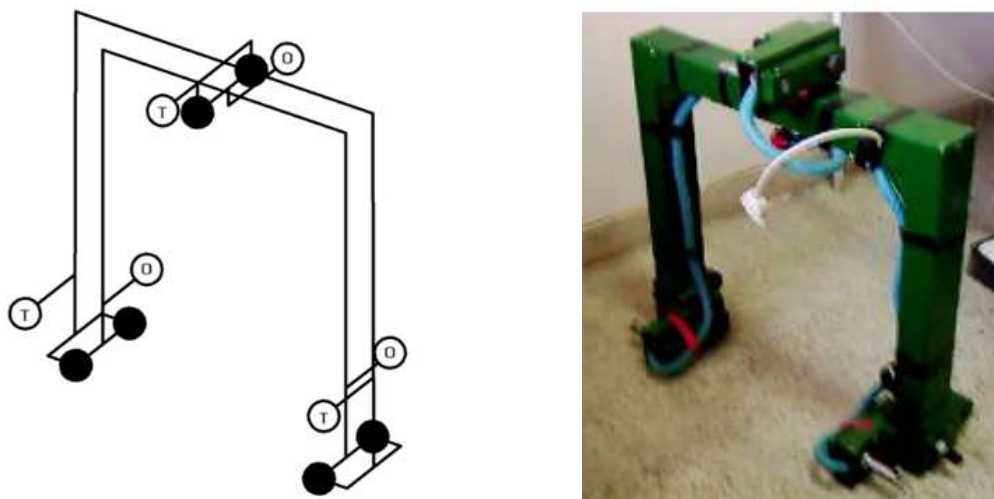


Рисунок 7 – Схема и общий вид тензометрической установки

Использование одного тензодатчика в горизонтальном направлении и одного тензодатчика в вертикальном направлении еще один вариант применения тензодатчиков S-формы (рис. 8) [39]. Проблема данной конструкции заключается

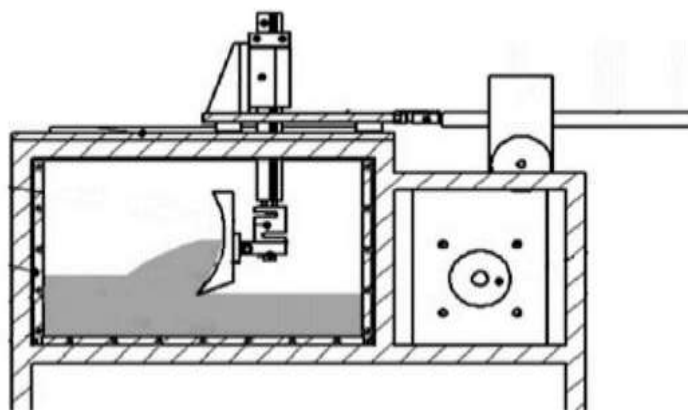


Рисунок 8 – Схема почвенного бункера и измерительной системы

ся в ее низкой точности. Другим недостатком этого метода является игнорирование изгибающего момента на вертикальном тензодатчике. Это ведет к повышенным нагрузкам на датчик и неточному прогнозированию силы вызывая необходимость большого количества повторений эксперимента [38].

Другим перспективным направлением является применения тензодинамометров с расширенным восьмиугольным кольцом (EOR) применяющимся во многих исследованиях [38] (рис. 9).

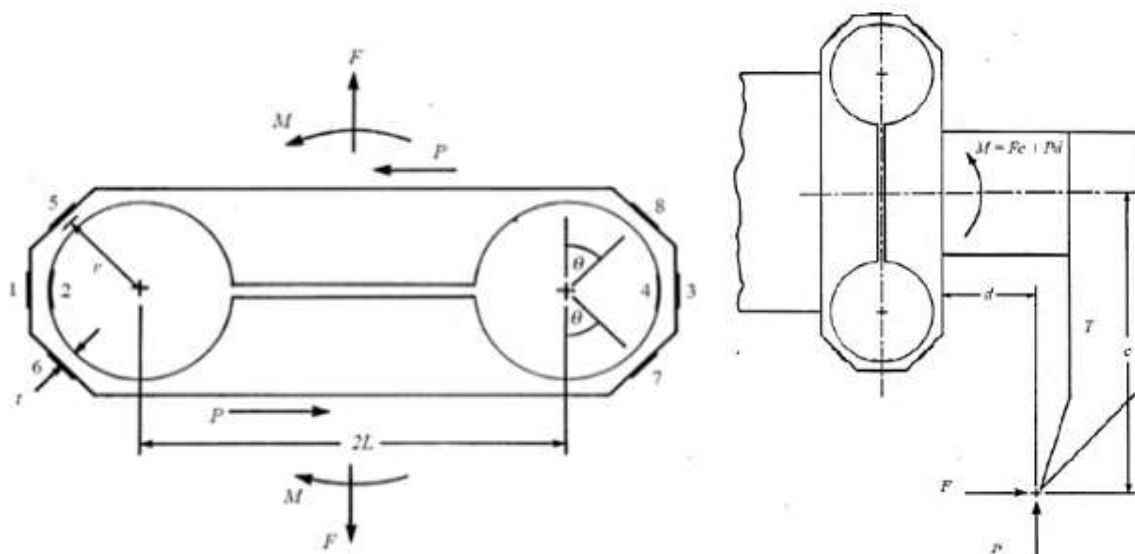


Рисунок 9 – Динамометр типа EOR

В исследованиях [36] был применен трехосевой динамометр (EMOR), который может измерять силу и момент намного точнее. Этот тип динамометра, основанный на установке двух динамометров EOR «спина к спине», имеет жесткую конструкцию и возможность крепления непосредственно к рабочему органу (рис. 10).

В исследованиях [3], проводимых автором применялась тензометрическая установка для объемного тензометрирования состоящая из двух рамок, соединенных при помощи трех параллельных тяг и трех тяг-раскосов, концы которых закреплены посредством шаровых шарниров, шести S-образных тензометрических звеньев, установленных на каждую тягу (рис. 11). Вес установки 12 кг.

Одна рамка жестко закреплена в трех точках на навесном устройстве тяговой тележки, другая также установлена жестко, посредством такого расположения тяг которое полностью блокирует все шесть степеней свободы. Использование шаровых шарниров позволяет избежать передачи тягами крутящих моментов и на датчики действуют лишь сжимающие и растягивающие силы, параллельные направлению тяг.

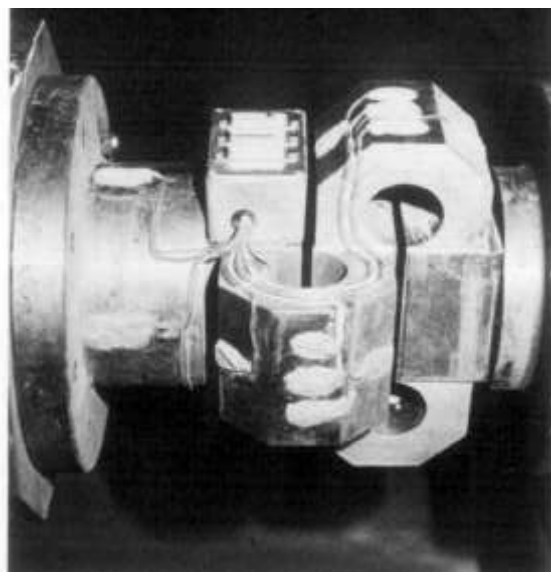
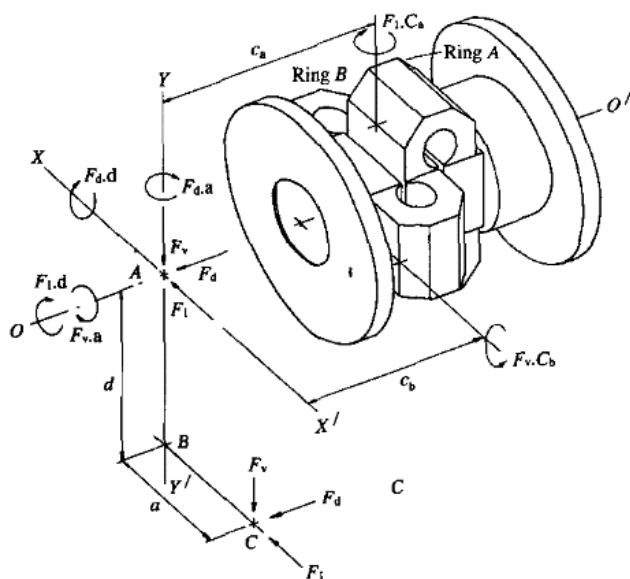


Рисунок 10 – Трехосевой динамометр типа EMOR

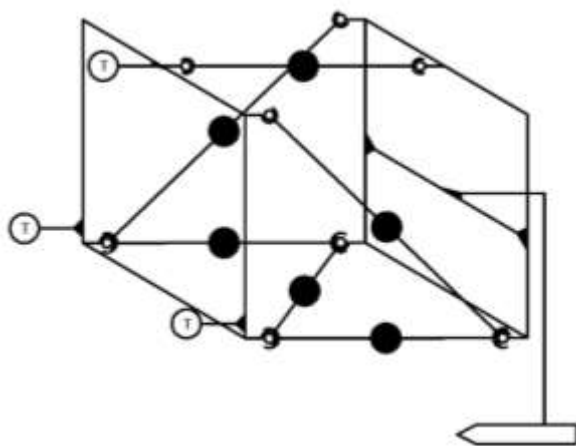


Рисунок 11 – Установка для объемного тензометрирования с шестью S-образными датчиками нагрузки

Выводы

Проведенный анализ конструкций динамометрических установок показал, что в последнее время все более широкое распространение получают установки для объемного динамометрирования (тензоустановки). Несмотря на то что они имеют более сложную конструкцию данные получаемые при исследованиях с их использованием наиболее достоверно описывают процесс почвообработки.

Представленная конструкция установки для объемного тензометрирования [3] позволяет производить исследования без дополнительной сложной тарировки в сравнении с трехосевыми динамометрами [36] и тензопальцами [34].

По сравнению с другими шестидатчиковыми схемами возрастает жесткость тензоблока и повышается точность измерений при сохранении возможности установки на тракторную трехточечную навеску. Единственным недостатком является получение результатов в неявном виде, т. е. требуются дополнительные расчеты для интерпретации получаемых данных. Однако это свойственно всем системам объемного тензометрирования. Эта дополнительная постобработка данных может производиться современными компьютерами в реальном времени.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00920

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Posmetyev V. I. et al. Substantiation and evaluation of effectiveness of perspective constructions of forest tractors ancillary equipment // *ARNPN J. Eng. Appl. Sci.* 2016. Vol. 11, № 3. P. 1840-1855.

2 Бартнев И. М., Гончаров П. Э. Устройства для замера тягового сопротивления навесных почвообрабатывающих орудий на вырубках // Воронеж, гос. лесотехн. академ. Воронеж, 1998. 8 р.

3 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. P. 1-6.

4 Шайхудинов С.А. Повышение стабильности работы стрельчатых лап (на примере сеялки СЗС-2,1). 2009. P. 1-19.

5 Лысыч М. Н., Дочкин А. А. Тензометрические установки для изучения силовых параметров рабочих органов почвообрабатывающих орудий // *Actual Dir. Sci. Res. XXI century theory Pract.* 2014. Vol. 2, № 2. P. 438-443.

6 Мяленко В. И., Маринов Н. А. Пространственное динамометрирование рабочих органов почвообрабатывающих орудий // *Сельскохозяйственные машины и технологии.* 2017. Vol. 5. P. 22-26.

7 Gebregziabher S. et al. A mobile, in-situ soil bin test facility to investigate the performance of maresha plough // *Biosystems Eng.* 2016. Vol. 149, № September. P. 1-35.

8 Askari M. et al. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements // *Res. Agric. Eng.* 2011. Vol. 57, № 4. P. 128-136.

9 Al-Jalil H.F., Khdaif A., Mukahal W. Design and performance of an adjustable three-point hitch dynamometer // *Soil Tillage Res.* 2001. Vol. 62, № 3-4. P. 153-156.

10 Kumi F. Development and evaluation of an abrasive wear test // *Master Of Science (Agricultural Machinery Engineering)*. 2011. P. 121.

11 Razif M. Development of a soil bin test facility for soil dynamics studies // A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies of the University of Manitoba in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science Department. 2005. P. 165.

12 Kumar M., Baghel R., Parihar T. Development of soil bin for model studies on furrow openers // *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2017. Vol. 6, № 12. P. 2899-2906.

13 Fríd M., Šabatka J. Device for measuring the forces influencing duckfoot shares // *Res. Agric. Eng.* 2002. Vol. 2002, № 4. P. 125-130.

14 Mari I.A. et al. Effect of soil forces on the surface of moldboard plow under different working conditions // *Bulg. J. Agric. Sci. Agric. Acad.* 2014. Vol. 20, № 2. P. 497-501.

15 Kumar A.A., Tewari V.K., Nare B. Embedded digital draft force and wheel slip indicator for tillage research // *Comput. Electron. Agric. Elsevier B.V.*, 2016. Vol. 127. P. 38-49.

16 Hudoba Z., Vojtela T., Fenyvesi L. Examination of traction excited vibrating tillage tools // *Proc. Int. Conf. Agric. Eng.* 2014. № Borsa 1991. P. 1-8.

17 Karmakar S., Ashrafizadeh S. R., Kushwaha R. L. Experimental validation of computational fluid dynamics modeling for narrow tillage tool draft // *J. Terramechanics. ISTVS*, 2009. Vol. 46, № 6. P. 277-283.

18 Armin A. Mechanics of soil-blade interaction [Electronic resource]. 2014. P. 173. URL: <https://harvest.usask.ca/bitstream/handle/10388/ETD-2014-08-1615/ARM-IN-DISSERTATION.pdf>.

19 King R. H., Van Susante P., Gefreh M. A. Analytical models and laboratory measurements of the soil-tool interaction force to push a narrow tool through JSC-1A lunar simulant and Ottawa sand at different cutting depths // *J. Terramechanics. ISTVS*, 2011. Vol. 48, № 1. P. 85-95.

20 Ashrafi S. R. Modelling of energy requirements by a narrow tillage tool // Department of Agricultural and Bioresource Engineering. 2006. P. 190.

21 Bauer F. et al. Observation of load transfer from fully mounted plough to tractor wheels by analysis of three point hitch forces during ploughing // *Soil Tillage Res.* 2017. Vol. 172, № June 2016. P. 69-78.

22 Mattetti M., Varani M., Molari G. Influence of the speed on soil-pressure over a plough // *Biosyst. Eng.* 2017. Vol. 156. P. 136-147.

23 Sypu M. et al. Duckfoot tools connected with flexible and stiff tines : Three components of resistances and soil disturbance // *Soil Tillage Res.* 2016. Vol. 158. P. 76-90.

24 Ani O. A. et al. Overview of soil-machine interaction studies in soil bins // *Soil Tillage Res. Elsevier*, 2018. Vol. 175, № June 2017. P. 13-27.

- 25 Nalavade P. P. et al. Performance of free rolling and powered tillage discs // Soil Tillage Res. Elsevier B.V., 2010. Vol. 109, № 2. P. 87-93.
- 26 Tagar A. A. et al. Soil failure patterns and draft as influenced by consistency limits : An evaluation of the remolded soil cutting test // Soil Tillage Res. Elsevier B. V., 2014. Vol. 137. P. 58-66.
- 27 Bentaher H. et al. Three-point hitch-mechanism instrumentation for tillage power optimization // Biosyst. Eng. 2008. Vol. 100, № 1. P. 24-30.
- 28 Han X. et al. Application of a 3D tractor-driving simulator for slip estimation-based path-tracking control of auto-guided tillage operation // Biosyst. Eng. Elsevier Ltd, 2019. Vol. 178. P. 70-85.
- 29 Kostić M. M. et al. Application of an original soil tillage resistance sensor in spatial prediction of selected soil properties // Comput. Electron. Agric. Elsevier, 2016. Vol. 127. P. 615-624.
- 30 Shafaei S. M., Loghavi M., Kamgar S. Appraisal of Takagi-Sugeno-Kang type of adaptive neuro-fuzzy inference system for draft force prediction of chisel plow implement // Comput. Electron. Agric. Elsevier, 2017. Vol. 142. P. 406-415.
- 31 Kumar S. Assessment of power, energy and torque of powered disc through soil // J. Agric. Eng. 2016. Vol. 53, № 3. P. 1-9.
- 32 Nalavade P. P. et al. Comparative performance of standard, notched and spiral-notched tillage discs // Int. Agric. Eng. J. 2011. Vol. 20. P. 1-17.
- 33 Ahmad F. et al. Comparative Performance of Various Disc-Type Furrow Openers in No-Till Paddy Field Conditions // Sustainability. 2017. Vol. 9, № 1143. P. 1-15.
- 34 Alimardani R. et al. Design and development of a three-point hitch dynamometer // J. Agric. Technol. 2008. Vol. 4, № 1. P. 37-52.
- 35 Kostić M. M. Design and construction of three point hitch device for measuring draft of tillage implement -Data acquisition and post processing analysis // J. Food Agric. Environ. 2014. Vol. 12, № 2. P. 1300-1307.
- 36 Godwin R. J. et al. A triaxial dynamometer for force and moments measurements of tillage implements // J. Agric. Eng. Res. 1993. Vol. 55. P. 189-205.
- 37 Chandon K., Kushwaha R. L. Soil Forces on Deep Tillage Tools // AIC 2002 Meet. 2002. Vol. 0300, № 02. P. 1-12.
- 38 Onwualu A. P. An extended octagonal ring dynamometer for measurement of forces on a simple tillage tool // J Can Acad Child Adolesc Psychiatry. 2011. Vol. 20, № 1. P. 57-59.
- 39 Shmulevich I., Asaf Z., Rubinstein D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method. 2007. Vol. 97. P. 37-50.