

С. А. Филимонов, к.т.н., доцент,
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

А. В. Батраченко, к.т.н., доцент,
e-mail: avbetrachenko1980@gmail.com

С. С. Ященко,

Н. В. Филимонова, к.т.н., старший преподаватель,
e-mail: nv.filimonova2015@gmail.com

Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, Черкасы, 18006, Украина

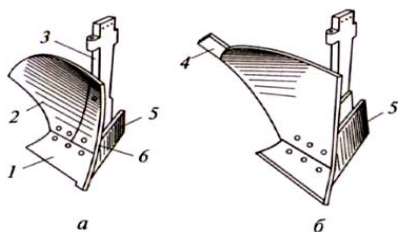
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SMART PIEZOCERAMICS ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В статье на основе анализа литературных источников и научных публикаций предложена оригинальная конструкция вибрирующих рабочих органов плуга для выполнения основной задачи обработки почвы. Авторами статьи путем использования SMART PIEZOCERAMICS и вибрационных принципов выполнено совершенствование рабочих органов культивации посредством уменьшения общей величины тягового сопротивления (трения) почвы по лемехо-полевой поверхности и уменьшения залипания рабочих органов.

Ключевые слова: SMART PIEZOCERAMICS, исследования, сельское хозяйство, вибрационные технологии.

Сельское хозяйство – отрасль экономики, направленная на обеспечение населения продовольствием и получение сырья для ряда отраслей промышленности. Сельскохозяйственная отрасль является одной из важнейших и представлена практически во всех странах. От состояния этой отрасли зависит продовольственная безопасность государств [1].

Основным орудием культивации почвы в сельском хозяйстве является плуг. Плуг – это приспособление для вспашки плотной почвы, поднятия целины. На рисунке 1 представлены некоторые виды плугов [1].



а) культурный; б) полувинтовой;
1 – лемеха; 2 – отвалы; 3 – стойка; 4 – перо отвала;
5 – полевая доска; 6 – грудь отвала

Рисунок 1 – Некоторые виды плугов

Плуг имеет две основные составляющие – лемех и отвал.

Плужный отвал – одна из рабочих частей плуга. Основной его задачей является срез от стенки пласта почвы, ее крошение и переворачивание, то есть, во многом от качества отвала зависит то, насколько хорошо будет подготовлена почва.

Лемех – это часть плуга, подрезающая пласт земли, и именно по нему срезанный слой почвы поднимается и попадает на отвал.

Основными достоинствами плуга (см. рисунок 1) являются его простота в изготовлении и относительно невысокая цена.

Основной недостаток такого плуга – высокая сопротивляемость (трение), возникающая при вспашке почвы, при этом значительно повышаются энергозатраты.

На сегодняшний день мы можем наблюдать различные усовершенствования техники для обработки земли и сбора урожая, при этом основной орган культивации не претерпел серьезных изменений, если не считать внедрения более прочных и надежных материалов. Однако обработка почвы до настоящего времени является одной из самых энергоемких операций в современном сельскохозяйственном производстве.

Применение новейшей высокоэффективной техники и оборудования при умень-

шении металлоемкости и энергозатрат – одна из главных задач развития современного машиностроения. Но на этом пути существуют ограничения производительности традиционных машин, коэффициент полезного действия которых колеблется в пределах 0,19-0,38.

Одним из направлений улучшения обработки почвы и снижения трения между почвой и плугом является применение вибрационных технологий, которые могут дать значительный эффект. Вибрационная техника и технология радикальным образом отличаются от традиционных прототипов. Применение вибрационных методов в различных сферах человеческой деятельности и, в частности, в сельском хозяйстве открывает большие перспективы ускорения технического прогресса на качественно новой основе [2-4].

Одно из решений использования вибраций в сельском хозяйстве представлено на рисунке 2 [2].

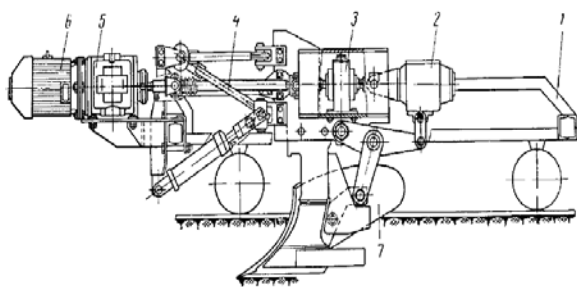


Рисунок 2 – Плуг с гидроприводом

Данное устройство состоит из следующих узлов: рамы 1 со стойкой плуга, которая может быть установлена на самоходной тележке или надета на трактор; шарнирно подвешенного к стойке вибрационного лемеха 7 с полкой; рычажного передаточного механизма 4, дебалансов вибратора 2 с направленными колебаниями; редуктора 3 для синхронизации вращения дебалансов вибратора; электродвигателя 6 и бесступенчатого фрикционного вариатора 5, который позволяет менять число оборотов в пределах 1500-6000 в минуту; системы управления вариатором электрической или гидравлической (рисунок 2) [2].

Основными недостатками данной конструкции являются сложность изготовления, большие габаритные размеры и, как следствие, большой вес, которые могут превысить положительные характеристики гидравлическо-вибрационных технологий.

Целью данной работы является усовершенствование рабочих органов культивации при помощи уменьшения общей величины тягового сопротивления (трения) грунта по поверхности лемеха и уменьшения залипания рабочих органов путем использования SMART PIEZOCERAMICS и вибрационных принципов.

Для решения данной проблемы предложено использовать smart-технологии. Smart-технологии способны менять свои свойства или свойства прилегающих к ним материалов в зависимости от внешних или внутренних факторов, при этом обеспечивая компактные и надежные конструкции.

Конструктивно структурная схема smart-системы (материала или конструкции) представлена на рисунке 3.

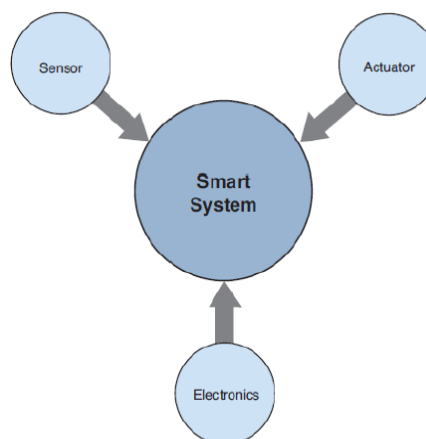


Рисунок 3 – Схема концепции smart-конструкции

Основными особенностями smart-конструкций являются: встроенные или закрепленные на поверхности датчики; встроенные или установленные на поверхности исполнительные механизмы (актуаторы); схемы элементов управления для реализации системы контроля (позволяющие обрабатывать данные от датчиков для принятия соответствующего решения) [5, 6].

Одной из разновидностей smart-технологий является SMART PIEZOCERAMICS.

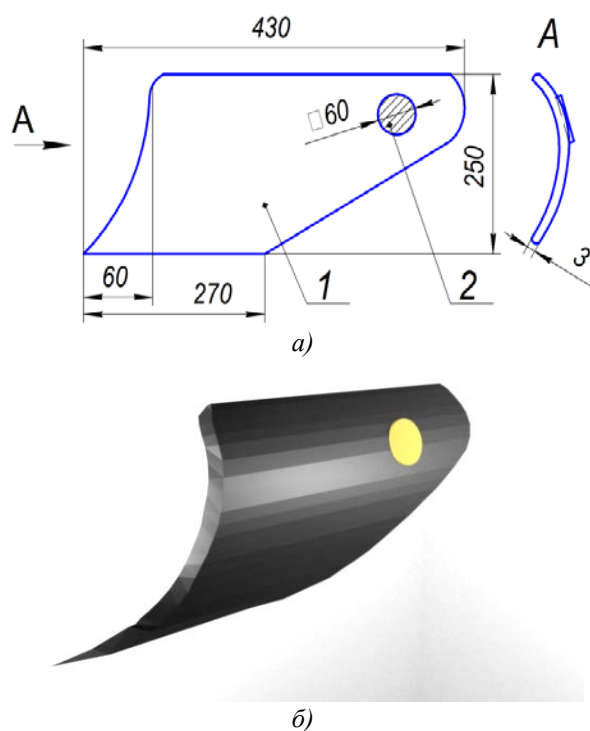
Суть данной технологии при использовании в культивации почвы заключается в следующем. Пьезокерамический элемент плотно располагается на поверхности плужного отвала. За счет наличия у пьезоэлемента

прямого и обратного пьезоэффекта он может использоваться как актуатор (вибратор) или датчик [7].

При подаче переменного электрического напряжения, за счет обратного пьезоэффекта, в пьезоэлементе возникают колебания, которые передаются плужному отвалу. Таким образом, в плуге возникает вибрация, которая способствует уменьшению силы трения плуга с почвой.

При отключении переменного электрического напряжения, за счет прямого пьезоэффекта, пьезоэлемент выступает в качестве датчика. Значения, полученные с него, используются для коррекции амплитуды колебаний вибрации.

На рисунке 4 представлена конструкция плужного отвала со SMART PIEZOCERAMICS.



а) сборочный чертеж; б) вид 3D; 1 – отвал;
2 – элемент SMART PIEZOCERAMICS

Рисунок 4 – Плужный отвал со SMART PIEZOCERAMICS

Для определения амплитуды колебаний пьезокерамического элемента проведено численное моделирование при помощи пакета программ COMSOL Multiphysics [8].

COMSOL Multiphysics – это интегрированная платформа для моделирования, включающая в себя все его этапы: от создания геометрии, определения свойств материалов и описания физических явлений до настройки решения и процесса постобработки, что позволяет получать точные и надежные результаты [7].

Анализ пьезокерамического элемента плужного отвала осуществлялся в режиме Frequency response. Расчетная сетка конечных элементов в пункте «Mesh» выбиралась ортогонализированной – Normal. Сетка построена тетрагональным разбиением, а исследуемые трехмерные модели представлены совокупностью из больше чем тысячи элементов каждая. В качестве решателя использовался Direct, в котором выбран численный метод SPOOLES для решения систем линейных уравнений с разреженными матрицами.

Граничные условия для модели плужного отвала со SMART PIEZOCERAMICS в форме диска диаметром 60 мм и толщиной 5 мм использовались следующие: электрическое напряжение (Electric potential) 100 В приложено к диаметральному электроду, а земля (Ground) – к электроду на противоположной стороне. Размеры плужного отвала соответствовали чертежу, представленному на рисунке 4, а.

При проведении численного моделирования в пакете программ COMSOL Multiphysics сначала определялась частота резонанса, на которой пьезокерамический элемент входил в режим резонансных колебаний. Затем определялись его максимальная амплитуда колебаний на определенных частотах и вид колебания.

На рисунке 5 представлен график амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) модели плужного отвала со SMART PIEZOCERAMICS в пакете программ COMSOL Multiphysics.

Из рисунка 5 видно, что основные резонансные частоты соответствуют 150, 2950, 4750, 6050, 13350, 17950, 18550 Гц.

Из рисунка 6 видно, что максимальной амплитуде колебаний соответствует частота 18550 Гц.

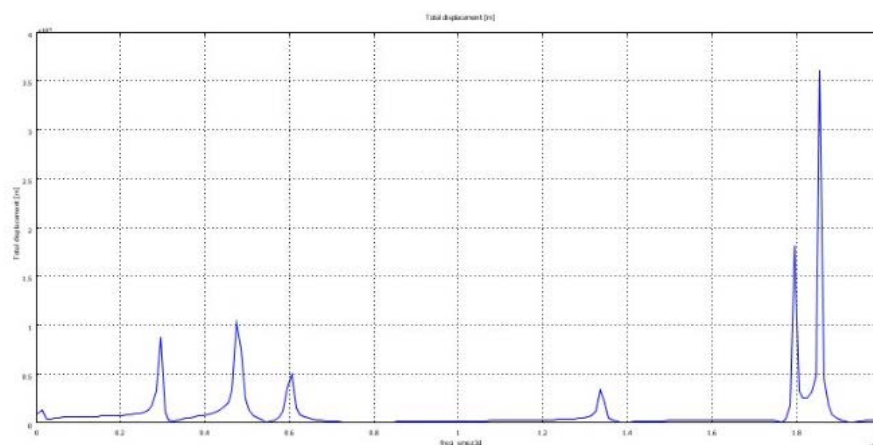
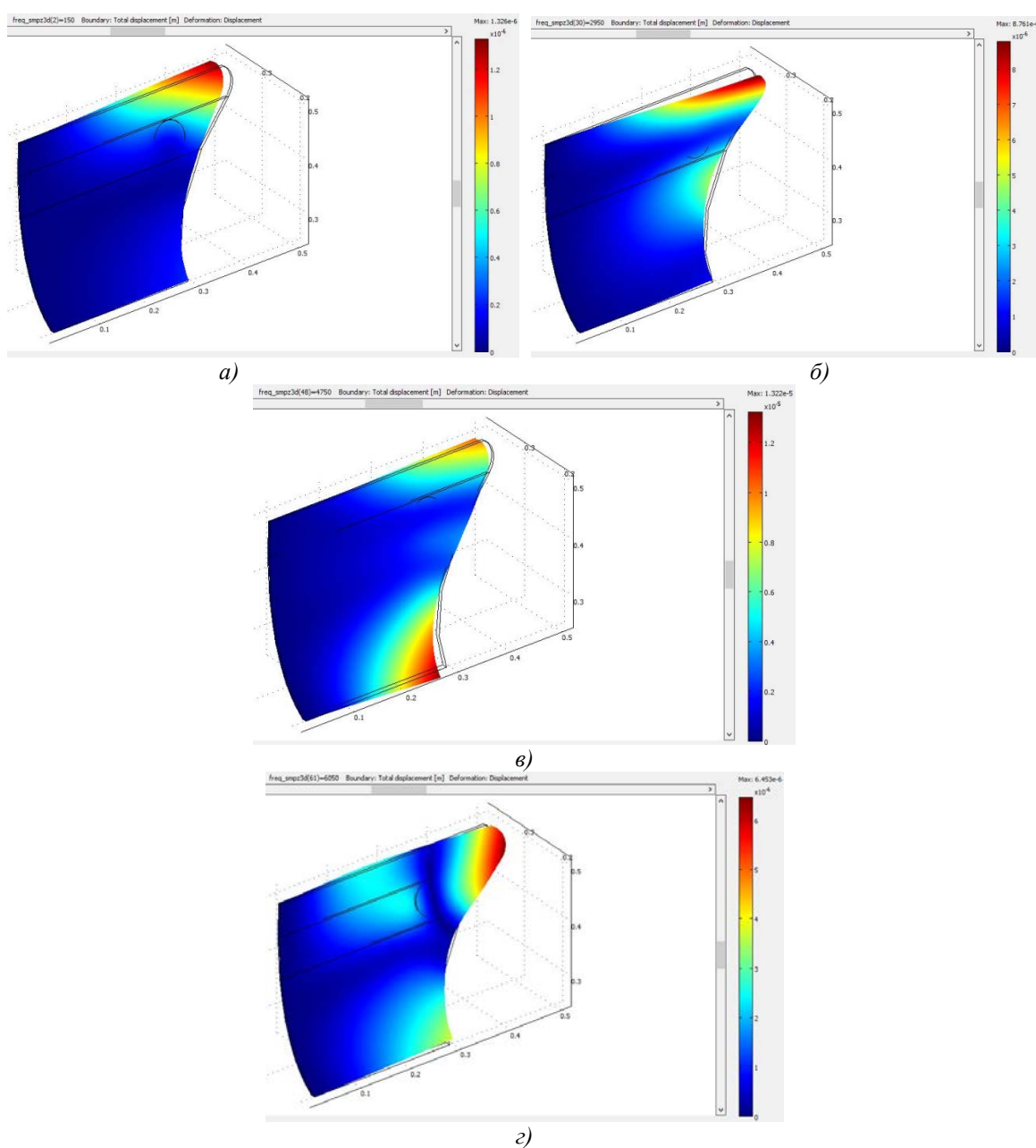
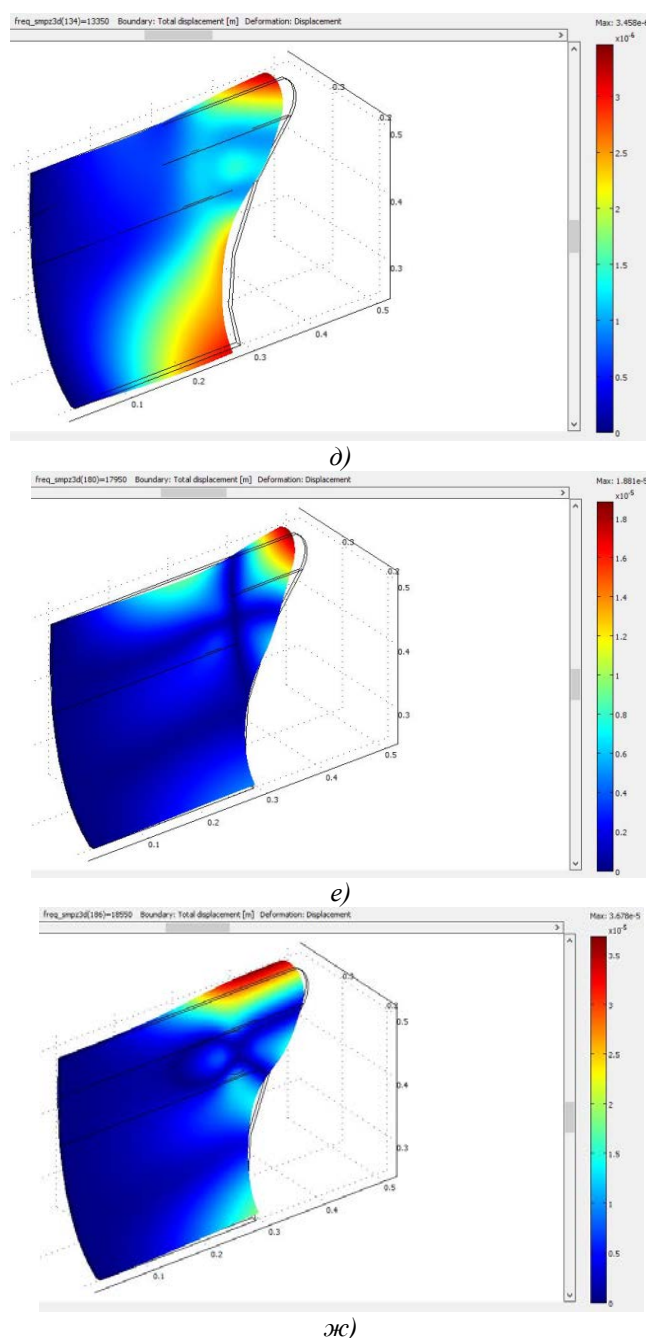


Рисунок 5 – АЧХ плужного отвала со SMART PIEZOCERAMICS





а) 150 Гц, б) 2950 Гц, в) 4750 Гц, г) 6050 Гц, д) 13350 Гц, е) 17950 Гц, ж) 18550 Гц

Рисунок 6 – Результаты моделирования видов колебания плужного отвала в пакете программ COMSOL Multiphysics на разных частотах

Выводы. Предложено новое оригинальное решение использования SMART PIEZOCERAMICS для получения вибраций в плужном отвале плуга при культивации почвы. Проведено компьютерное моделирование при помощи пакета программ COMSOL Multiphysics. Определена частота, при которой происходят максимальные колебания (вибрации) плужного отвала, что соответствует 18550 Гц.

Список литературы

- [1] Р. Ш. Абакарова, "Регулирование сельского хозяйства. Положительные стороны зарубежного опыта", *Вестник Иркутского государственного технического университета*, № 1 (96), с. 129-133, 2015.
- [2] В. М. Булгаков, М. О. Свірень, Р. В. Кісільов, С. Б. Орищенко, та І. О. Лісовий, "Дослідження вібраційних процесів при

- основному обробітку ґрунту", *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, вип. 5, т. 1, с. 3-13, Мелітополь, 2015.
- [3] І. В. Головач, І. П. Паламарчук, та М. О. Свірень, "Мінімально допустима частота коливань вібраційного викопуючого робочого органу", *Вібрації в техніці та технологіях*: Всеукр. наук.-техн. журн., № 4 (68), с. 35-41, Вінниця, 2012.
- [4] В. М. Булгаков, М. О. Свірень, І. П. Паламарчук, В. В. Дрига, О. М. Черниш, та В. В. Яременко, *Вібраційні машини сільськогосподарського виробництва*: монографія. Кіровоград: КОД, 2012.
- [5] G. Akhras, "Smart materials and smart systems for the future", *Canadian Military Journal*, no. 3, pp. 25-32, 2000.
- [6] Н. В. Юрлова, *Умные материалы и конструкции: фантастика или реальность? Этюды о механике*. Екатеринбург: РИО-УрО РАН, 2017, с. 55-70.
- [7] V. Sharapov, *Piezoceramic sensors*. New York: Springer Verlag, 2011.
- [8] L. Spicci, and M. Cati, "Thermal analysis of a piezo-disk ultrasound probe", in *Comsol Conference* [in Paris], 2012.
- [9] В. Я. Гальченко, С. А. Филимонов, О. В. Батраченко, и Н. В. Филимонова, "Повышение эффективности работы линейного пьезоэлектрического мотора сканирующего зондового микроскопа", *Журнал нано- та електронної фізики*, т. 10, № 4, 04025 (5cc), 2018, DOI: 10.21272/jnep.10(4).04025.
- [10] В. Я. Гальченко, Ю. Ю. Бондаренко, С. А. Филимонов, и Н. В. Филимонова, "Определение влияния геометрических параметров пьезокерамической пластины на амплитудные характеристики линейного пьезодвигателя", *Електротехніка і електромеханіка*, № 1, с. 17-22, 2019, DOI: 10.20998/2074-272X.2019.1.03.
- [1] R. Sh. Abakarova, "Regulation of agriculture. Positive sides of foreign experience", *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, no. 1 (96), pp. 129-133, 2015 [in Russian].
- [2] V. M. Bulhakov, M. O. Sviren, R. V. Kisilov, S. B. Oryshchenko, and I. O. Lisovyi, "Research of vibration processes at the main soil cultivation", *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolo-hichnoho universytetu*, iss. 5, vol. 1, pp. 3-13, Melitopol, 2015 [in Ukrainian].
- [3] I. V. Holovach, I. P. Palamarchuk, and M. O. Sviren, "Minimally permissible oscillation frequency of vibration digging tool", *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*: All-Ukr. sci.-tech. journal, no. 4 (68), pp. 35-41, Vinnytsia, 2012 [in Ukrainian].
- [4] V. M. Bulhakov, M. O. Sviren, I. P. Palamarchuk, V. V. Dryha, O. M. Chernysh, and V. V. Yaremenko, *Vibration machines of agricultural production*: monograph. Kirovohrad: KOD, 2012. [in Ukrainian].
- [5] G. Akhras, "Smart materials and smart systems for the future", *Canadian Military Journal*, no. 3, pp. 25-32, 2000.
- [6] N. V. Yurlova, *Clever materials and constructions: fantasy or reality? Studies on mechanics*. Ekaterinburg: RIO UrO RAN, 2017, pp. 55-70 [in Russian].
- [7] V. Sharapov, *Piezoceramic sensors*. New York: Springer Verlag, 2011.
- [8] L. Spicci, and M. Cati, "Thermal analysis of a piezo-disk ultrasound probe", in *Comsol Conference* [in Paris], 2012.
- [9] V. Ya. Galchenko, S. A. Filimonov, O. V. Batrachenko, and N. V. Filimonova, "Increase in the efficiency of the work of linear piezoelectric motor of scanning probe microscope", *Zhurnal nano- ta elektronnoyi fizyky*, vol. 10, no. 4, 04025(5cc), 2018, DOI: 10.21272/jnep.10(4).04025 [in Russian].
- [10] V. Ya. Galchenko, Yu. Yu. Bondarenko, S. A. Filimonov, and N. V. Filimonova, "Determination of the impact of geometric parameters of piezoceramic plate on amplitude characteristics of linear piezoengine", *Elektrotehnika i elektromehhanika*, no. 1, pp. 17-22, 2019, DOI: 10.20998/2074-272X.2019.1.03 [in Russian].

References

S. A. Filimonov, Ph. D., associate professor,
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua
A. V. Batrachenko, Ph. D., associate professor,
e-mail: avbatrachenko1980@gmail.com
S. S. Yashenko,
N. V. Filimonova, Ph. D., senior lecturer,
e-mail: nv.filimonova2015@gmail.com
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE USE OF SMART PIEZOCERAMICS FOR CULTIVATING THE SOIL IN AGRICULTURE

The agriculture is a sector of the economy aimed at providing the population with food and obtaining raw materials for a number of industries. The agricultural industry is one of the most important sectors and is represented in almost all countries. The food security of states depends on the state of this industry.

The plow is the main tool for cultivating the soil in agriculture.

At present, we can observe various improvements in the technology for tillage and harvesting, while the main organ of cultivation has not undergone major changes, except for the introduction of more durable and reliable materials. However, tillage is still one of the most energy intensive operations in modern agricultural production.

The use of the latest high-performance machinery and equipment while reducing metal consumption and energy consumption is one of the main objectives of the development of modern engineering. However, in this way there are limitations to the performance of traditional machines, the efficiency of which varies in the range of 0.19-0.38.

One of the ways to improve tillage and reduce friction between the soil and the plow consists in the use of vibration technologies, which can have a significant effect. Vibration technique and technology are radically different from traditional prototypes. The use of vibration methods in various spheres of human activities and, in particular, in agriculture offers great prospects for accelerating technological progress on a qualitatively new basis.

The aim of the work is to improve the cultivation working bodies by reducing the total amount of traction resistance (friction) of the soil on the surface of the ploughshare and reducing the sticking of the working bodies by using SMART PIEZOCERAMICS and vibration principles.

The main features of smart designs are: embedded or surface mounted sensors; built-in or surface-mounted actuators; control element diagrams for the implementation of the monitoring system (which allow to process the data from the sensors to make an appropriate decision).

The essence of this technology when used in the cultivation of the soil is as follows. The piezoceramic element is tightly located on the surface of the plow blade. Due to the presence of the piezoelectric element of direct and reverse piezoelectric effect, it can be used as an actuator (vibrator) or sensor.

To determine the amplitude of oscillations of a piezoceramic element, numerical simulation has been performed using the COMSOL Multiphysics software package.

By mathematical modeling, it has been established that the main resonant frequencies of the developed plow design correspond to 150, 2950, 4750, 6050, 13350, 17950, 18550 Hz. The maximum oscillation amplitude of the plow blade corresponds to a frequency of 18,550 Hz.

Keywords: SMART PIEZOCERAMICS, research, agriculture, vibration technologies.