

Polish Academy of Sciences
University of Engineering and Economics in Rzeszów
University of Life Sciences in Lublin
Faculty of Production Engineering

MOTROL

**COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS
IN AGRICULTURE**

**AN INTERNATIONAL JOURNAL
ON OPERATION OF FARM
AND AGRI-FOOD INDUSTRY MACHINERY**

Vol. 17, No 9

LUBLIN – RZESZÓW 2015

Editor-in-Chief: *Eugeniusz Krasowski*

Assistant Editor: *Jerzy Grudziński*

Associate Editors

1. Agricultural machinery: *Dmytro Voytiuk*, Kiev, *Mariusz Szymanek*, Lublin
2. Machinery of agri-food industry: *Leszek Mościcki*, Lublin
3. Energetics: *Ilia Nikolenko*, Simferopol, *Janusz Wojdalski*, Warszawa
4. Land management, urban planning, architecture and geodesy: *Karol Noga*, Kraków, *Roman Kadaj*, Rzeszów, *Michał Proksa*, Rzeszów, *Lech Licholaj*, Rzeszów
5. Mathematical, statistics: *Andrzej Kornacki*, Lublin, *Rostislav Bun*, Lviv

Editorial Board

Dariusz Andrejko, Lublin, Poland
Andrzej Baliński, Kraków, Poland
Volodymyr Bulgakow, Kiev, Ukraine
Zbigniew Burski, Lublin, Poland
Karol Cupiał, Częstochowa, Poland
Aleksandr Dashchenko, Odessa, Ukraine
Kazimierz Dreszer, Lublin, Poland
Konstantin Dumenko, Mykolayiv, Ukraine
Dariusz Dzik, Lublin, Poland
Stepan Epoyan, Kharkiv, Ukraine
Jan Gliński, Lublin, Poland
Dimitriy Goncharenko, Kharkiv, Ukraine
Janusz Grzelka, Częstochowa, Poland
Aleksandr Holubenko, Lugansk, Ukraine
L.P.B.M. Jonsen, Groningen, Holland
Stepan Kovalyshyn, Lviv, Ukraine
Józef Kowalczyk, Lublin, Poland
Volodymyr Kravchuk, Kiev, Ukraine
Petro Kulikov, Kiev, Ukraine
Elżbieta Kusińska, Lublin, Poland
Andrzej Kusz, Lublin, Poland
Janusz Laskowski, Lublin, Poland
Kazimierz Lejda, Rzeszów, Poland
Jerzy Merkiś, Poznań, Poland
Jarosław Mykhajlovych, Kiev, Ukraine
Janusz Mysłowski, Szczecin, Poland

Jaromir Mysłowski, Szczecin, Poland
Ignacy Niedziółka, Lublin, Poland
Stanisław Nikolajenko, Kiev, Ukraine
Paweł Nosko, Lugansk, Ukraine
Gennadij Oborski, Odessa, Ukraine
Yurij Osenin, Lugansk, Ukraine
Marian Panasiewicz, Lublin, Poland
Sergiej Pastushenko, Mykolayiv, Ukraine
Iwan Rohowski, Kiev, Ukraine
Zinovii Ruzhylo, Kiev, Ukraine
Vjacheslav Shebanin, Mykolayiv, Ukraine
Povilas A. Sirvydas, Kaunas, Lithuania
Volodymyr Snitynskiy, Lviv, Ukraine
Stanisław Sosnowski, Rzeszów, Poland
Henryk Sobczuk, Lublin, Poland
Ludvikas Spokas, Kaunas, Lithuania
Andrzej Stępniewski, Lublin, Poland
Michał Sukach, Kiev, Ukraine
Aleksandr Sydorchuk, Kiev, Ukraine
Beata Ślaska-Grzywna, Lublin, Poland
Wojciech Tanaś, Lublin, Poland
Giorgiy F. Tayanowski, Minsk, Bielarus
Leonid Tishchenko, Kharkiv, Ukraine
Denis Viesturs, Ulbrok, Latvia
Anatolij Yakovenko, Odessa, Ukraine
Tadeusz Złoto, Częstochowa, Poland

All the articles are available on the webpage: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Teka-Motrol.html>

All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Radmila Skliar*
Typeset: *Viktor Shevchuk*, *Adam Niezbecki*
Cover design: *Hanna Krasowska-Kołodziej*
Photo on the cover: *Natalia Zhytariuk*

© Copyright by Polish Academy of Sciences 2015

© Copyright by University of Life Sciences in Lublin 2015

© Copyright by University of Engineering and Economics in Rzeszów 2015
in co-operation with Tavría State Agrotechnological University in Melitopol 2015

Editorial Office address

Polish Academy of Sciences Branch in Lublin
Pałac Czartoryskich, Plac Litewski 2, 20-080 Lublin, Poland
e-mail: eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl

Printing

Lviv national agrarian university
St. Vladimir the Great, 1, Dubliany

Publishing Office address

Lviv national agrarian university
St. Vladimir the Great, 1, Dubliany

ISSN 1730-8658
Edition 150+16 vol.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Андрей Бондарь

*Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, 72310, Украина E-mail: ban1977@i.ua*

Andriy Bondar

*Tavria State Agrotechnological University
B. Khmelnytsky Avenue, 18, Melitopol, 72310, Ukraine E-mail: ban1977@i.ua*

Аннотация. Работа посвящена изучению новых типов управления направлением движения мобильных машин. Рассмотрены наиболее перспективные решения, которые позволяют получать переменное передаточное отношение рулевого механизма в зависимости от скорости движения мобильной машины. Приведены схемы движения гусеничных и колесных машин, а также математическое описание этого процесса. Причём все рассматриваемые схемы рулевых приводов относятся к наиболее распространенным в настоящее время. Предложен ряд конструктивных решений рулевых приводов для гусеничных и колесных тракторов, причем приведены схемы, как для легких типов тракторов (которые не имеют гидроусилителя), так и тяжелых (которые имеют гидрообъемное рулевое управление). Показана перспективность электромеханических усилителей руля (ЭМУР) и возможность их использования в качестве асинхронного сервопривода. На каждое конструктивное решение приводится схема с подробным описанием её действия и составных элементов. Такие технические решения стали необходимыми в связи с постоянно растущими технологическими скоростями работы. Проведенные исследования показали преимущество предложенных технических решений по отношению к традиционным, поскольку скорость реакции водителя уменьшается, а качество отслеживания траектории повышается на порядок. Проанализирована работа оператора мобильной машины с эргономической точки. Одним из основных факторов, влияющих на скорость реакции оператора, особенно на разворотных полосах, является продольная скорость мобильной машины и интенсивность воздействия оператора на рулевое колесо. Установлено, что скорость его реакции зависит от скорости движения машины, внешних факторов (освещенности, видимости, загрязненности поля, усталости оператора, криволинейности рядков и др.) и находится в пределах 0,5 – 2,5 с.

Ключевые слова: человек-оператор, объект управления, объемно-гидравлическое рулевое управление (ОГРУ), электромеханический усилитель рулевого управления (ЭМРУ), сервопривод, качество отслеживания траектории движения (добротность).

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Традиционные системы рулевого управления мобильных машин достаточно просты, но способ управления объектом, который является интегратором с переменной скоростью накопления, достаточно сложный и препятствует оператору точно и быстро управлять направлением движения машины. Особенно это сказывается при выполнении сельскохозяйственных работ [5].

Основные недостатки:

- с ростом скорости чувствительность руля линейно нарастает, ошибка отслеживания растет квадратично и на повышенных скоростях система работает на пределе устойчивости. Попытка снизить чувствительность за счет передаточного отношения рулевого привода резко ухудшает маневренность машины.

- время реакции водителя лежит в пределах 0,5 - 2,5с., что обусловлено сложностью прогнозирования "поведения" интегратора [1]. Есть необходимость конструктивного воплощения новых с учетом тенденций развития и использования компонентов современных систем рулевых управлений. На сегодня намечены два перспективных пути развития рулевых приводов:

- обеспечение постоянной чувствительности рулевого управления;

- способ управления по положению. Актуальной является проблема улучшения управляемости мобильных машин. Ученые, которые занимались этой проблемой указывали на перспективность такого направления [1, 2]. Однако технического решения предложено не было, потому что в рамках механической схемы это слишком сложно. Известно, что человек-оператор легче и точно осуществляет операции наблюдения за отклонением контролируемого параметра при управлении (по положению) [1]. В этом случае объект управления является простым усилителем, где положение руля определяет направление движения мобильной машины. Предварительный анализ преимуществ такого способа управления были приведены в работе [2], где была применена методика интерактивного моделирования. Существующие системы рулевого управления мобильных машин является интегратором с переменной скоростью накопления это существенно мешает оператору точно и быстро управлять направлением движения машины [3, 10-14, 20]. Принцип постоянной чувствительности рулевого управления

состоит в том, что передаточное отношение рулевого механизма изменяется в зависимости от скорости движения колесной машины [16]. Существует необходимость конструктивного воплощения способа управления "по положению" без значительных осложнений системы рулевых управлений мобильных машин. Также необходимо помнить, что мобильным машинам предъявляются требования по высокой эффективности [4] (качеству отслеживания траектории) и надежности [5].

Рассматривать эту проблему с технической точки зрения не корректно так как задача становится чрезвычайно узкой и проблема может быть решена если мы сможем использовать «идеальный регулятор», который сможет вовремя отреагировать на кинематические последствия любого возмущающего воздействия [11,12]. Для того, чтобы выполнять всю необходимую работу, оператору необходимо в первую очередь получать постоянно информацию по всем звеньев технологического процесса. Человек-оператор может получать информацию с помощью следующих органов чувств - зрения и слуха, ощущение на ощупь, вестибулярного аппарата, а также обоняния [6, 7, 8, 9, 15]. Известно, что через зрительный канал человек получает примерно 90% информации относительно окружающей обстановки. Оператор, который управляет сельскохозяйственным агрегатом, находится в очень сложном информационном положении: ему необходимо выполнять большое количество действий в кабине (контролировать показания датчиков на панели приборов, выполнять управляющие действия рулевым колесом, манипулировать рычагами гидравлической системы сельскохозяйственных орудий, следить за неподвижными объектами и предметами которые движатся и за рядком растений, при междурядной обработке, чтобы не травмировать их рабочими органами. В реальной "человеко-машинной" системе оператор не представляет собой идеальный регулятор. Он может обратить внимание на отклонения управляющего воздействия от нормы лишь в том случае, если его значение превысит предел чувствительности психических и физических свойств самого человека, которые в свою очередь зависят от многих факторов (информационной нагрузки оператора). После определения отклонений наступает время, необходимое для принятия решения. Принятое решение выполняется целым комплексом управляющих воздействий водителя и на них также необходимо время [1, 2].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ традиционных систем управления движения мобильных машин показывает, что они как объект управления, являются интегратором с переменными параметрами. Можно предложить более эргономичный способ управления мобильными машинами, в рулевое управление которых встроено дифференцирующее звено. Практически это означает, что направление движения машины должно быть связано с положением рулевого колеса. Для оценки управляемости новых типов рулевых управлений

(РУ) были проведены исследования, они показали следующее: рулевое управление по положению обеспечивает на порядок более высокую точность отслеживания траектории движения и дает возможность снизить передаточное отношение рулевого привода, а также улучшить автовывод из заноса. Упрощение управления в этом случае снижает время реакции водителя вдвое, на порядок увеличивает точность отслеживания траектории [17]. На рисунках 1 и 2 приведены зависимости добротности от скорости и передаточного отношения рулевых управлений. Добротность - это отношение скорости движения к среднеквадратическому отклонению отслеживаемой траектории [1].



Рис. 1. Зависимость добротности рулевого управления от передаточного отношения

Fig. 1. The dependence of the quality factor of the steering gear ratio

Следует отметить, что добротность системы управления по положению с ростом скорости остается постоянной, ошибка отслеживания траектории растет линейно, а не квадратично как у традиционного рулевого управления (рисунок 2).

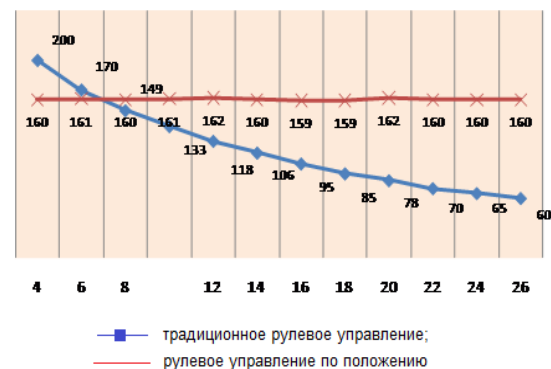


Рис. 2. Зависимость добротности от скорости движения транспортного средства

Fig. 2. The dependence of the quality factor of the speed of the vehicle

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей статьи является исследование и реализация перспективных направлений развития рулевых управлений: постоянной чувствительности и по положению для известных типов шасси мобильных машин.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для гусеничных машин, направление движения которых определяется кинематической согласованностью двигателей левого и правого борта шасси реализация способа управления по положению решается достаточно просто. Для этого в известную схему управления надо внести следующие изменения: вместо тормозных фрикционов, связанных с планетарным механизмом, установить шестерни и замкнуть их через кинематическую цепь, связанную с объемно-гидравлическим рулевым управлением, как это показано на рисунке 3.

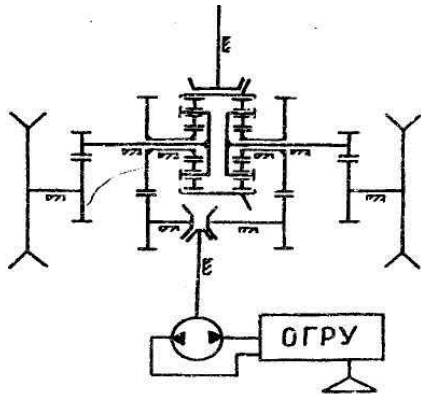


Рис. 3. Схема реализации средства управления по положению для гусеничных шасси

Fig. 3. The implementation of the scheme for management position for crawler chassis

Устройство работает следующим образом: при неподвижном рулевом колесе гусеничная машина будет двигаться прямо при том, что правая и левая гусеницы движутся, согласовано, поворот рулевого колеса, независимо от режима движения, вызывает соответствующий "забег" правой гусеницы относительно левой, что вызывает соответствующий поворот транспортного средства [3]. Недостатки этой схемы очевидны: достаточно высокая сложность механической части, очень большая мощность огру, поскольку поворот осуществляется за его счет. Задача реализации управления по положению для колесных машин значительно сложнее. Это связано с тем, что в колесных машин синхронный поворот машины и рулевого колеса принципиально невозможен. Для того, чтобы решить эту задачу предлагается такой подход:

- в любой момент времени водитель с помощью руля задает направление управляемых колес в пространстве;
- при неподвижном руле система управления обеспечивает движение машины по управляемым колесам подобно при этом происходит самовозврат системы управления в нейтральное положение во время передвижения транспортного средства.

Очевидно, что система управления должна содержать два независимых канала управления [18, 19]. По первому каналу происходит задания положения направляющих элементов ходовой части (управляемых колес, передней тележки шарнирно сочлененной машины). По второму осуществляется

самовозврат системы в нейтральное положение без изменения положения направляющих элементов на местности, при этом используется информация из двух измерительных преобразователей:

- угла отклонения положения направляющих элементов ходовой части (управляемых колес, передней тележки шарнирно сочлененной машины) α от нейтрального положения;
- перемещение транспортного средства (одометр).

Уравнение связи кинематических параметров и параметров движения выражаются зависимостью (1, 2), а схемы представлены на рисунке 4.

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta X}{L} \sin(\alpha); \tag{1}$$

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_0}{2}\right) \cdot e^{-\frac{X}{L}}.$$

$$\Delta\alpha = -\frac{\Delta Y}{L} \cdot \operatorname{tg}(\alpha);$$

$$\sin(\alpha) = \sin(\alpha_0) \cdot e^{-\frac{Y}{L}}. \tag{2}$$

где: α – угол отклонения управляемых колес от нейтрального положения, X – расстояние, пройденно мобильной машиной от момента поворота до момента, когда переднее и заднее колеса будут параллельны, Y – колесная база (расстояние от задней оси до точки сочленения), ΔX – единичное, осевое перемещение мобильной машины, ΔY – соответствующее единичное перемещение задних колес, L – колесная база, м.

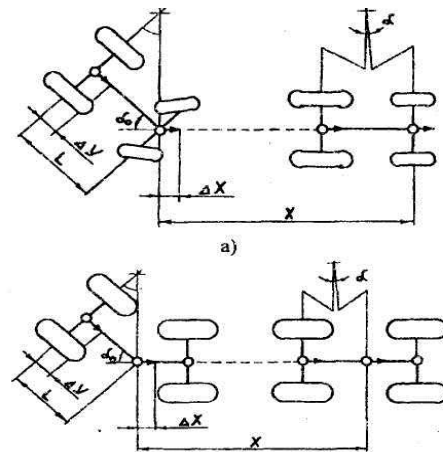


Рис. 4. Схема выхода из поворота колесных шасси при неподвижном рулевом колесе:

- а) шасси с передними управляемыми колесами;
- б) шарнирно-сочлененное колесное шасси

Fig. 4. Driving out of the rotation wheel chassis with a fixed steering wheel:

- a) chassis with front wheel steering;
- b) articulated wheeled chassis

Второй путь заключается в использовании автопилота. Для его реализации достаточно использовать один измерительный преобразователь положения в пространстве (гироскоп). Достаточно точный автопилот включает гироскоп. Современные электронные компоненты недорогие, надежные, эконо-

мичные и достаточно точные. Например, трехосный гироскоп L3G4200D / DH с цифровым выходом.

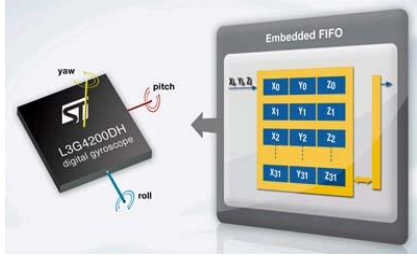


Рис. 5. Трехосный гироскоп L3G4200D / DH с цифровым выходом

Fig. 5. Three-axis gyro L3G4200D / DH with digital output

Благодаря малым размерам и низкому потребляемому току трехосные гироскопы L3G4200D /L3G4200DH могут применяться в системах позиционирования. Для тяжелых машин с ОГРУ (объемное гидравлическое рулевое управление) управления по положению может быть реализовано в системах со свободным золотником. Второй независимый канал управления организуется за счет введения дополнительного насоса дозатора связанного с гироскопом. Двухканальная схема рулевого управления приведена на рисунке 6.

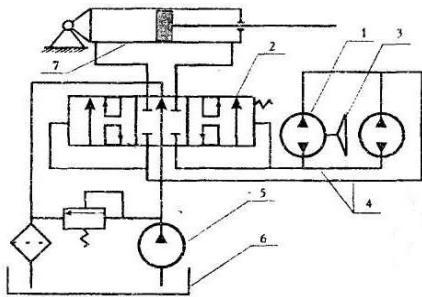


Рис. 6. Двухконтурное объемно-гидравлическое рулевое управление с встроенным следящим приводом: 1 – насос-дозатор, 2 – золотник, 3 – рулевое колесо, 4 – гидроканалы, 5 – питающий насос, 6 – гиробак, 7 – гидроцилиндр

Fig. 6. Turbopan space-hydraulic steering with integrated servo drive: 1 – metering pump, 2 – valve, 3 – ruyev wheel, 4 – water channels, 5 – feed pump, 6 – girobak, 7 – cylinder

Насос 1 связан с рулевым колесом 3 задает положение направляющих элементов ходовой части (управляемых колес, передней оси шарнирно сочлененной машины) на местности. Насос 2, связанный с гироскопом, обеспечивает неизменность положения направляющих элементов ходовой части (управляемых колес, передней оси шарнирно сочлененной машины) во время возвращения в нейтральное положение при неподвижном рулевом колесе. Но для легких колесных машин предлагается упрощенное техническое решение [6].

Модернизированная рулевая колонка позволяет осуществить управление по положению. Дифференциальный механизм обеспечивает свойства двухканального рулевого управления. Исполняющий ме-

ханизм стабилизирующей системы (шаговые двигатели незначительной мощности до 300 Вт) осуществляет поворот управляемых колес. Управляющий сигнал для шагового двигателя, можно непосредственно получить из гироскопа.

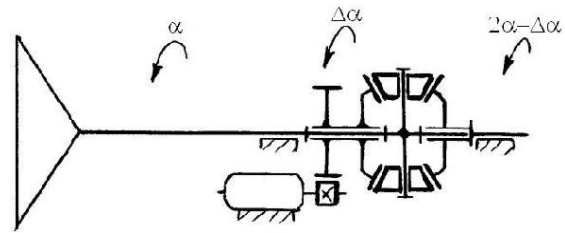


Рис. 7. Модернизированная рулевая колонка
Fig. 7. Upgraded steering

Этот путь реализации способа управления (по положению) мобильной машиной, по сравнению с первым предпочтителен при движении на скользкой дороге, поскольку обеспечивает "автовыход" из заноса. Недостатками таких решений, является то, что корректировка действие вводится в систему управления параллельно с помощью специфического энергонасыщенного сигнала (насос дозатор, шаговый привод). Правильный подход заключается в формировании комплексного сигнала управления к стадии усиления, позволяет использовать стандартный усилитель. На этом этапе развития транспортного машиностроения ведущие мировые производители, как правило, выпускали машины, оборудованные гидроусилителем рулевого управления. Однако в последние годы гидроусилители все чаще стали заменяться электроусилителями. Электромеханический усилитель рулевого управления (ЭМУР) - абсолютно новое направление в рулевом управлении колесных машин и будет основным при разработке и оснащении новых перспективных моделей. Появление электроусилителя устраняет необходимость в насосе гидроусилителя, шлангах, гидравлических жидкостях, приводного ремня и шкиве на двигателе. В результате рулевой привод с электрическим усилителем экономит энергию и улучшает экологию окружающей среды, в то же время, по сравнению с гидроусилителем, имеет ряд преимуществ:

- упрощенные настройки;
- адаптивность в компоновке;
- независимое от двигателя рулевое управление.

Предлагается реализация многоканального рулевого управления на базе электромеханического усилителя руля (ЭМУР). Анализ конструкции показал, что есть техническая возможность его преобразования в асинхронный сервопривод. Для этого следует ввести дополнительный блок управления, оснащенный группой датчиков контроля режима движения и позиционирования мобильного средства и также автономным задатчиком действия. Этот дополнительный надблок управления использует в своей работе сигналы серийных датчиков:

- крутящего момента;
- положения ротора;
- скорости мобильного средства.

Предлагаемая схема имеет вид:

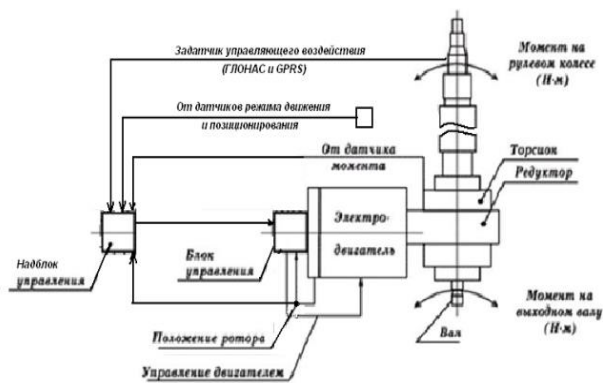


Рис. 8. Преобразованная схема сервопривода на базе ЭМУР

Fig. 8. Turbofan space-hydraulic steering with integrated servo drive

Использование ЭМУР как асинхронного сервопривода позволяет организовать две разновидности управления (с постоянной чувствительностью и по положению):

- "управление по проводам" (steer - by - wire) в случае разрыва кинематической связи между рулем и ЭМУР;

- тактильное управление (генерация подсказки в виде крутящего момента).

ВЫВОДЫ

1. Реализация управления с постоянной чувствительностью и по положению возможна на основе многоканальных систем управления. Предпочтительным является формирование комплексного управляющего сигнала, к стадии усиления и использования штатного усилителя в качестве сервопривода.

2. Использование ЭМУР по схеме сервопривода, в сочетании с надсистемой управления позволит значительно улучшить управляемость транспортных средств. Благодаря появлению современных электромеханических компонентов появилась реальная возможность для воплощения терранавигации уже завтра.

3. На порядок повышается точность отслеживания траектории:

- снижается время реакции водителя;
- возрастает устойчивость человека-машинной системы на повышенных скоростях

- при использовании автопилота во втором канале управления обеспечивается автовыход из заноса, что важно при движении по скользкой поверхности;

- использование принципа постоянной чувствительности рулевого управления обеспечивает одновременно устойчивость прямолинейного движения и маневренность мобильной машины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гельфенбейн С.П. 1981. Терранавигация.- Москва.: Наука, 207.
2. Петров В.А. 1989. Улучшение управляемости сельскохозяйственных МТА. - Москва, 178.

3. Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатый В.И., Бобошко А.А. 2003. Маневренность и тормозные свойства колесных машин. / Под ред. М. А. Подригало. Харьков.: ХНАДУ, 403. (Украина).
4. Полишкевич О. 2012. Современное состояние парка кукурузоуборочных машин в условиях экономических и экологических ограничений. – Motrol, Vol. 14-№2. 91-96.
5. Бондаренко А., Грубань В. 2012. Современные аспекты повышения надежности кукурузоуборочных машин. - Motrol, Vol. 14-№2. 97-102.
6. Яковлев Б.Н., Любимов М.Е., Клочков В.Н., Склярова Т.В. 1999. Эргономика. – Саратов.: Сарат.гос.тех.ун-т, 92.
7. Лазуткина О.Е. 1992. Повышение производительности МТА на основе улучшения эргономических параметров поста управления оператора.- Харьков, 148.
8. Новикова Т.А. 1994. Гигиеническая и эргономическая оценка условий труда на мобильной сельскохозяйственной технике.- Саратов, 203.
9. Аствацатуров А.Е., Басилаи М.А. 2006. Инженерные методы безопасности систем «человек-техника-среда». - Ростов н/Д.: ДГТУ, 130.
10. Жалнин Э.В., Савченко А. Н. 1985. Технологии уборки зерновых комбайновыми агрегатами.- Москва: Россельхозиздат, 207.
11. Хачатрян Х.А. 1974. Стабильность работы почвообрабатывающих агрегатов.– Москва.: Машиностроение, 207.
12. Лурье А.Б. 1970. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Ленинград.: Колос, 376.
13. Африкян Р.М. 1970. Устойчивость движения и управляемость гусеничного тракторного агрегата при работе на террасах.- Ереван, 140с.
14. Лисютин В.П. 1988. Дифференциальная обработка междурядий. Тр. МИИСП. Т№3. Кукуруза и сорго. 23-29.
15. Широков А.П. 2006. Основы эргономики.- Хабаровск.: ДВГУПС, 117.
16. Петров В.О., Петров А.В., Лубяной М.М. 2008. Бюл.№17. Пат. 35247, МКИ⁷ В62D1/18. Рулевое управление по положению гусеничным транспортным средством. (Украина).
17. Петров А.В. 2009. Внедрение управления «по положению» в конструкциях рулевых управлений мобильных машин. Вестник Днепропетровского Государственного Аграрного Университета. Т2. 271-273. (Украина).
18. Петров В.А., Лубяной Н.Н., Петров А.В., Бондарь А.Н.- № 200801763; заявл. 11.02.08; опубл. 25.07.08, Бюл. №14. Пат. 34001, МКИ⁷ В62D1/18. Двухканальное рулевое управление транспортного средства с усилителем (Украина).
19. Петров В.А., Бондарь А.Н., Бондарь Н.С. и др. - №200503317; заявл. 04.11.05; опубл. 17.10.05, Бюл. №10. Пат. 9846, МКИ⁷ В62D1/18. Рулевая колонка транспортного средства. (Украина).

20. Ходес И.В. 2005. Повышение технического уровня колесной машины на базе расчетно-теоретического обоснования параметров управляемости. - Волгоград: ВолгГТУ, 363.

WAYS OF IMPROVING THE QUALITY OF TRACKING THE MOVEMENT PATH OF MOBILE MACHINES

Summary. The paper is devoted to the studying of new types of directional control of mobile machines. The most promising solutions, which allow to receive a variable transfer steering ratio depending on the speed of the mobile machine are examined. The movement schemes of tracked and wheeled vehicles and mathematical description of this process are given. All the proposed circuits of steering drives are the most common at the moment. A number of constructive solutions to this type of steering drives for known types of chassis are given; moreover, it includes schemes for both light types of tractors (with no hydro amplifier) and heavy ones. The prospects of electromechanical amplifiers of steering (EMAS) and the possibility of their use as asynchronous servo drives are shown. For each design

solution there is a diagram of a detailed description of its actions and components. Such technical solutions have become necessary due to constant rising of technological rates of work. Carried investigating has shown the advantage of the proposed technical solutions over the traditional one, as a driver's velocity of reaction is decreased meanwhile the quality of tracing is risen. The work of a driver is analyzed from ergonomic point as well. Some of the main factors influencing driver's velocity of reaction especially on turning patches are the lengthwise speed on the mobile machine and the strength of the driver influence on the steering wheel. It has been settled that the driver's velocity of reaction depends on the machine speed, external factors (illumination, visibility, field pollution, operator's tiredness, curvature of patches) and is about 0,5 – 2,5 sec.

Key words: the human operator, object of control, volume-hydraulic steering (VHS), electromechanical amplifiers steering (EMAS), servo drives, quality of tracking the path of movement (quality of control).

РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Александр Караев, Сергей Сушко, Николай Горбач
Таврический государственный агротехнологический университет
пр. Б.Хмельницкого 18, Мелитополь, Украина

Aleksandr Karaiev, Sergey Sushko, Nikolai Gorbach
Tavria State Agrotechnological University
B.Khmelnsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine

Аннотация. Определено, что при применении существующих методов для назначения режимов орошения (срока и нормы полива) растений сельскохозяйственных культур поливы проводятся с опозданием на 2-3 дня. Предложен метод определения срока и нормы полива растений сельскохозяйственных культур с использованием данных мониторинга климатических характеристик, представленных такими показателями: среднесуточная температура воздуха, среднесуточная относительная влажность воздуха и количество атмосферных осадков за 11 лет наблюдений (значения показателей определяют по данным метеорологических станций, расположенных вблизи объекта орошения). При определении срока полива данным методом предполагается вычисление среднесуточной испаряемости с использованием среднесуточной температуры воздуха и среднесуточной относительной влажности воздуха по уточненной формуле, а срок первого полива определяют путем составления баланса осадков и испаряемости. Поливная норма определяется как разность расчетной суммарной испаряемости предыдущего межполивного периода и количества осадков. Определение периода между поливами осуществляется таким образом - после проведения первого полива рассчитывают среднесуточную испаряемость и в соответствии с полученными данными по предложенной формуле рассчитывают дату проведения следующего полива. По алгоритму метода определения режима орошения разработана компьютерная программа, которая позволяет рассчитать норму и продолжительность полива, а также длительность межполивного периода.

Представлены результаты экспериментальной проверки, которой подтверждена эффективность применения предложенного метода на примере плодовых культур. Применение метода обеспечивает своевременное проведение поливов и значительную экономию материальных, энергетических и трудовых ресурсов по сравнению с другими методами.

Ключевые слова: режим орошения, полив, температура воздуха, относительная влажность воздуха, количество осадков, испарение, мониторинг агроклиматических показателей

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Климатической особенностью южных регионов Украины является то, что годовое количество атмосферных осадков составляет от 350 мм до 500 мм,

которые за вегетационный период распределяются неравномерно [1, 2, 3, 4]. По статистическим данным периоды без осадков продолжаются до 100 суток и наблюдаются один раз в три года [3], что говорит о необходимости применения искусственного орошения при выращивании сельскохозяйственных культур.

Главным назначением любой системы орошения является обеспечение растений необходимым количеством воды в соответствующие фазы их роста и развития, а совокупность сроков и норм полива называют режимом орошения [3]. Назначение режима орошения может быть осуществлено разными методами [5, 6, 7]. В настоящее время наиболее распространенным является метод, основанный на термостатно-весовом способе определения влажности почвы, который считается наиболее точным [6, 7]. Однако при его применении расходуются значительные материальные, энергетические и трудовые ресурсы, а поливы проводятся с опозданием на 2-3 дня [8].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для назначения режима орошения часто используется тензиометрический метод, который позволяет проводить определение влажности почвы с помощью тензиометров, регистрирующих давление почвенной влаги. Тензиометры калибруют на автоматическую регистрацию критической влажности почвы, соответствующей данной культуре, способу полива и водно-физическим свойствам почвы [9, 10, 11].

Поливы также могут назначаться по испарению с водной поверхности [3] с применением испарителя ДГИ-3000, который имеет площадь водной поверхности 3000 см² и глубину резервуара 65 см. Использование этого прибора позволило уменьшить трудоемкость определения поливных норм и повысить оперативность назначения сроков поливов. Однако, при применении данного метода, первый полив назначается все же по термостатно-весовому методу. Для этого нужно постоянно следить за влажностью почвы в течение 2-3 месяцев (апрель-июнь) каждые 10 дней. Исследованиями [12, 13, 14] была установлена идентичность показателей и тесная корреляционная зависимость между испарением с водной поверхности и испаряющим фоном, рассчитанным по уточненной нами формуле Н.Н. Иванова

[7], которая включает среднесуточную температуру и относительную влажность воздуха. Поэтому, для назначения сроков и норм вегетационных поливов, возникла необходимость разработки водобалансового метода с использованием климатических показателей и количества атмосферных осадков.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработать метод назначения режима орошения, снижающий материальные, энергетические, трудовые затраты и повышающий оперативность принятия решений про необходимость проведения поливов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Определение срока полива сельскохозяйственных культур проводится с использованием мониторинга климатических характеристик местности последующим показателям [13, 14]: среднесуточная температура воздуха t_a , среднесуточная относительная влажность воздуха r и суммарное количество атмосферных осадков O за период наблюдения. Значения показателей определяют по данным метеорологической станций, расположенной в непосредственной близости к объекту орошения.

Среднесуточную испаряемость E_0 в миллиметрах вычисляют с использованием среднесуточной температуры воздуха и среднесуточной относительной влажности воздуха r по уточненной нами формуле [13]:

$$E_0 = 6 \cdot 10^{-5} (t_a + 29)^2 (100 - r), \quad (1)$$

где: t_a – среднесуточная температура воздуха, °С; r – среднесуточная относительная влажность воздуха, %.

Срок первого полива определяют путем составления баланса осадков и испаряемости ($\Sigma O - \Sigma E_0$). Календарную дату дня первого полива N определяют как день прогнозируемого месяца, в котором накопленные за осень и зиму запасы почвенной влаги будут израсходованы на эвапотранспирацию, т.е.

$$(\Sigma O - \Sigma E_0) < 0. \text{ Эту дату вычисляют по формуле: } N = (\Sigma O - \Sigma E_0) / E_0, \quad (2)$$

где: E_0 – среднесуточная испаряемость, мм; O – осадки, мм.

Например, согласно данным таблицы 1, расход запасов влаги произойдет в мае. За период с ноября предыдущего года по апрель текущего года включительно, сумма осадков ΣO составила 178,6 мм, а суммарная испаряемость ΣE_0 за это же время составила 104,3 мм. Тогда, среднесуточная испаряемость E_0 в мае, рассчитанная по формуле (1), составила 3,8 мм.

Тогда по формуле (2):

$$N = (178,6 - 104,3) / 3,8 = 19,6 \text{ дней}$$

Итак, первый полив назначается на 20 мая.

Таблица 1. Значения количества атмосферных осадков, испаряемости и их баланса за 11 лет наблюдений (данным Мелитопольской метеостанции), мм

Table 1. Average amount indices of atmospheric precipitation and evaporation (according to the data of Melitopol meteorological station observation for 11 years), mm

Месяц	Осадки (ΣO)	Испаряемость (ΣE_0)	Баланс ($\Sigma O - \Sigma E_0$)
Январь	37,7	12,7	+25,0
Февраль	34,9	18,2	+16,7
Март	43,7	32,4	+11,3
Апрель	40,1	76,3	-36,2
Май	40,6	119,3	-78,7
Июнь	49,3	137,1	-87,8
Июль	40,5	175,2	-134,7
Август	55,1	153,2	-98,1
Сентябрь	34,5	99,9	-65,4
Октябрь	36,1	56,1	-20,0
Ноябрь	46,6	21,1	+25,5
Декабрь	42,5	13,2	+29,3
Сумма	501,6	914,8	-413,2

Поливная норма m (мм) определяется как разность расчетной суммарной испаряемости E_0 предыдущего межполивного периода и количества осадков O за этот же период по формуле:

$$m = K \cdot K_3 (\Sigma E_0 - \Sigma O), \quad (3)$$

где: K – коэффициент пропорциональности, характерный для культуры и технологии орошения (0,5-1,2); K_3 – коэффициент увлажнения (значение при микроорошении находится в границах от 0,1 до 0,5).

Продолжительность полива T в часах исчисляется по формуле:

$$T = \frac{10^3 m}{\Sigma G}, \quad (4)$$

где: m – поливная норма, мм; ΣG – расход воды водовыпусками на 1 га, л / час.

После проведения первого полива определяют среднесуточную испаряемость по формуле (1). В соответствии с полученными данными определяют дату проведения следующего полива по формуле (2).

По алгоритму метода назначения режима орошения разработана компьютерная программа. Она позволяет рассчитать норму и продолжительность полива, а также длительность межполивного периода по известным данным об изменении климатических характеристиках местности в течение определенного временного периода, параметрах системы орошения, типу почвы, глубины увлажнения [15]. Расчет календарной даты первого полива проводят по данным мониторинга за атмосферными осадками, температурой и влажностью воздуха. Интерфейс диалогового окна программы приведен на рис. 1.

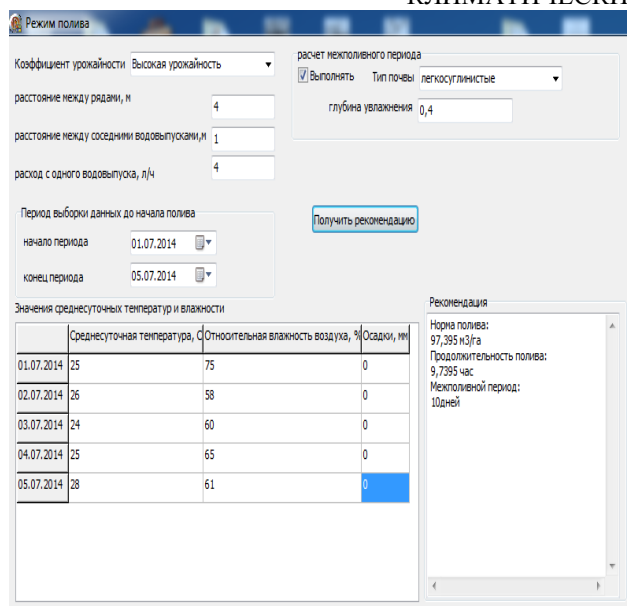


Рис. 1. Диалоговое окно программы расчета режима орошения.

Fig. 1. Program dialogue box for irrigation mode calculating.

Для проверки данного способа назначения режима орошения проведены полевые исследования по определению зависимости влажности почвы от испаряемости. Полевые исследования проводили на черноземах южных в саду научно-производственного участка Мелитопольской опытной станции садоводства на площади 0,8 га в молодых насаждениях (7-8 лет) персика и яблони. В опытах использовались районированные сорта персика Юбилейный Сидоренко, Памяти Сидоренко на подвое Подвойный и сорта яблони Айдаред, Голден Делишес, Флорина на подвое М9. В опытах были предусмотрены [16,17,18] следующие варианты: контроль (без орошения), поливной режим с назначением поливов по термостатно-весовому методу при снижении влажности до 70% НВ в слое почвы 0- 60 см на персике и слое почвы 0-40 см на яблоне, а также три разных поливные режимы в насаждениях персика 80, 100, 120% от (Е-О) и 70, 90, 110% от (Е-О) в насаждениях яблони.

Орошение персикового сада осуществлялось стационарной системой мелкодисперсного подкоронового дождевания, оборудованной дождевателями центробежного типа с расходом воды 20 л / ч (по два на дерево). Орошение яблоневого сада осуществлялось системой капельного орошения [19, 22] с водовыпусками с расходом воды 1,5 л / ч, установленных через каждые 0,6 м.

Результаты проведенных исследований (2006-2011 гг.) показали, что наиболее высокая обеспеченность корнеобитаемого слоя почвы влагой без орошения была в начале вегетации (апрель) и составляла 84 - 92% НВ. Уже в мае наблюдали интенсивное снижение влажности почвы в насаждениях персика до влажности разрыва капилляров (ВРК = 67% НВ), которое продолжалось до октября. В интервале от ВРК до влажности увядания (ВУ = 55% НВ), влага в почве считается труднодоступной для

растений. В августе влажность грунта снижалась до ВУ и ниже.

Близкой к вышеуказанным данным была влажность почвы на участках насаждений персика, которые поливались в соответствии с вариантом 80% от (Е-О), особенно в июне и июле. Это свидетельствует о том, что данный вариант не обеспечивает поддержание влажности в данных условиях на оптимальном уровне. Влажность почвы на других вариантах режима орошения в насаждениях персика течение всего вегетационного была выше ВРК. Обеспеченность почвы влагой была высокой, но не чрезмерной. Перспективным для персика является вариант 100% от баланса (Е-О). При микроорошении в яблоневом саду в корнеобитаемом слое почвы при всех вариантах орошения обеспеченность влагой была высокой (73,6-92,6% НВ). На участке варианта 70% от баланса (Е-О) умеренная влажность почвы, ниже ВРК, наблюдалась в июле. В условиях естественного увлажнения, ВРК наступала в июне и держалась до октября включительно. Без орошения в июле-августе содержание влаги в почве снизилось до влажности увядания и ниже, при этом влага в корнеобитаемом слое почвы была труднодоступной для яблони. В насаждениях яблони лучшим был вариант орошения 90% от баланса (Е-О). Эффективность орошения [20] насаждений персика и яблони, при различных вариантах назначения поливов, представлена в таблице 2.

Таблица 2. Эффективность орошения плодовых насаждений

Table 2. Irrigation efficiency of fruit plantations

Вариант орошения	Урожай, т/га	Масса плода, г	Оросительная норма, м ³ /га	Эффективность орошения, кг/м ³	Водопотребление	
Персик (2008 - 2011)						
Контроль	5,7	136	-	-	3583	628
70% НВ	14,7	171	1223	12	4364	297
120% (Е-О)	15,1	173	1380	10,9	4607	305
100% (Е-О)	14,5	165	1150	12,6	4309	297
80% (Е-О)	10,5	156	919	11,4	4286	408
НСР _{0,05}	2,8	17				
Яблоня (2007 - 2011)						
Контроль	4,8	120	-	-	3427	714
80% НВ	9,5	174	597	15,9	3902	411
110% (Е-О)	9	181	673	13,4	4000	444
90% (Е-О)	9,1	167	556	16,3	3755	413
70% (Е-О)	7,3	147	458	15,9	3631	497
НСР _{0,05}	1,1	19				

ВЫВОДЫ

1. На примере плодовых культур установлено, что предложенный метод назначения режима орошения является эффективным.

2. Наилучшим вариантом орошения для персика является 100% от баланса (Е-О), а для яблони 90%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ромашенко М.И. 2004. Микроорошение сельскохозяйственных культур. Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 90, 6-8.(Украина).
2. Константинов А.Р. 1968. Испарение в природе. - Л.: Гидрометеиздат, 531.

3. **Водяницкий В.И. 2002.** Режимы капельного орошения яблоневых садов. Садоводство и виноградарство. № 6. 4-6.
4. **Павлова М.Д. 1974.** Практикум по агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 131.
5. **Алпатьев С.М. 1981.** Поливные режимы при капельном и капельно - инъекционном орошении. Гидротехника и мелиорация. № 2, 40-41.
6. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого увядания растений: ГОСТ 28268-89. М.: Госстандарт СССР, 1989. - 20.
7. **Константинов А.Р. 1969.** Испаряемость и ее применение в агрометеорологических расчетах. Тр. УкрНИИГИМ. Л.: Гидрометеиздат, 112.
8. **Воронин Н.Г. 1989.** Орошаемое земледелие. М.: Агропромиздат, 336.
9. **Бальбеков Р.А., Бородычев В.В, Салдаев А.М. 2003.** Новая система капельного орошения. Мелиорация и водное хозяйство. № 4, 6-9.
10. **Дементьев В.Г. 1979.** Орошение. М.: Колос, 303.
11. Европейская технология капельного орошения в овощеводстве / Методические рекомендации. - Каховка: „Чумак” - 2004. - 20.
12. Земледелие в условиях недостаточного увлажнения (научные и перспективные выводы). - К.: Аграрная наука, 2000. - 80.
13. Пат. 26714 Украины, МКИ А 01 О 25/00. Способ определения сроков полива / Горбач М.М., Козлова Л.В., Позднякова Т.П., владелец патента Ин-т орош. сад. им. М.Ф. Сидоренко УААН. - № U200702553, заяв. 12.03.07., опублик. 10.10.07, бюл. № 16..
14. Патент Украины № 31899. МПК А 01 G 25/00. Способ назначения срока и нормы полива / Горбач М. М., Козлова Л. В., Тихонский С.Г.; собственник патента ин-т орош. сад. им. М.Ф. Сидоренко УААН. - № U 200714166; заявл. 17.12.07; опублик. 25.04.08, бюл. № 8 (Украина).
15. Техника сельскохозяйственная. Порядок разработки, испытаний и внедрения машинных технологий: КД 46.16.01.02: 1992: - Офици. изд.- К.:УкрЦВТ, 1992,- 12. - (Руководящий документ Украинского центра испытания техники) (Украина).
16. **Марков Ю.А. 1985.** Программа и методика исследований по орошению плодовых и ягодных культур. Мичуринск, 116.
17. **Добровольский Г.В. 2004.** В.А. Ковда: жизнь и научное наследие (к 100 -тию со дня рождения) / Отв. ред. Г.В. Добровольский. М.: Наука, 228.
18. **Коваленко П.И., Мшайлов Ю.О. 1999.** Рациональное использование водных ресурсов при орошении. К.: Аграрная наука, 135.
19. **Ромашенко М.И., Корюненко В.М. 2006.** Особенности применения и эксплуатации систем капельного орошения. Агроном. №2, 18-26 (Украина).
20. **Ольгаренко Г.В. 2004.** Перспективы развития технологий и техники орошения. Мелиорация и водное хозяйство. №3, 30-33.
21. **Маслак В., Насонкина Н., Гутарова М., Яковенко К., Чумак А. 2014.** Анализ норм водопотребления в Украине. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin. Vol. 16. No 6. 43-52.
22. **Дубровин В., Броварець А., Надим А. 2014.** Состояние проблемы и необходимость разработки комплекса оборудования для полива винограда при выращивании в природно-климатических зонах Ирака. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin. Vol. 16. No 3. 202-207.

CALCULATING METHOD FOR DEFINING IRRIGATION MODES USING CLIMATIC INDICES

Summary. It has been defined that when applying the existing methods for irrigation modes (the term and the norm of watering) for crop plants the waterings are conducted with 2-3 days delay. The method for defining the terms and watering norms for crops using the monitoring data of climatic characteristics having been presented by such indices as average daily air temperature, relative humidity and rainfall for 11 years of monitoring (the indicators meanings are being defined by the data of meteorological stations located nearby the object of irrigation) has been proposed. When defining the term of watering using the proposed method the calculation of average daily relative vaporability is presupposed by using average daily air temperature and average daily relative vaporability according to more accurate formula while the term of the first watering is being derived by means of making up the balance between the rainfall and vaporability. The watering norm is being defined as the difference of the calculated total vaporability of the preceding inter-watering period and the rainfall. Defining the period between the watering is being done in such a way – after conducting the first watering the average daily vaporability is being calculated and in accordance to the data having been obtained, using the proposed formula, the date of conducting the next watering is being calculated. According to the algorithm for irrigation mode defining the computer program has been worked out, it enables to calculate the norm and the duration of watering as well as the duration of the inter-watering period.

The results of experimental testing have been presented; they confirm the efficiency of using the proposed method at the example of fruit crops. The application of the method provides in-time watering conducting as well as considerable saving of material, power and human resources if comparing with other methods.

Key words: irrigation mode, watering, air temperature, relative air humidity, precipitation amount, vaporability, climatic indices monitoring.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЗЕРНОВОК ПОДСОЛНЕЧНИКА В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Александр Колодий, Сергей Кюрчев

Таврический государственный агротехнологический университет

Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, 72310, Украина. E-mail: aelxandr@rambler.ru

Alexander Kolodiy, Sergei Kyurchev

Tavria State Agrotechnological University

B. Khmel'nitsky Avenue, 18, Melitopol, 72310, Ukraine. E-mail: aelxandr@rambler.ru

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Аннотация. В данной статье рассмотренный один из перспективных направлений увеличения урожайности подсолнечника, является использования для себвы предварительно отобранных семян с высокими посевными качествами. Производственная практика и проведенные исследования показывают, что в посевном материале содержатся зерна значительно отличающиеся массой, плотностью и толщиной. Установлено, что с увеличением массы семян, как правило, увеличивается их плотность и толщина, а следовательно и аэродинамические свойства которые определяются скоростью витания. Все это указывает на возможность их дополнительного разделения воздушным потоком. Проведен анализ априорных сведений по сепарации зерна в воздушных каналах, который показал, что воздух воздействует на зерновки, в основном, в момент движения зерновой струи от внутренней стенки к наружной (в прямоугольном канале). В центральной части канала скорость воздуха максимальная, а у стенок она уменьшается, вследствие чего разделение ухудшается. Кроме того в существующих пневмоканалах не используется нижняя зона воздушного потока как конструктивный элемент и фактор разделения семенного материала по аэродинамическим свойствам. Вместе с тем, работоспособность нижней зоны потока, как механизма разделения траекторий движения семян различающихся скоростью витания, и целесообразность ее использования для достижения дополнительного эффекта разделения зерносмеси доказано в работах. Проведено математическое моделирование процессов перемещения а разделения зерновок подсолнечника в аэродинамическом гравитационном сепараторе; получены уравнения которые адекватно описывают режимы движения материала. Получено аналитическая зависимость расстояния разделения траектории падения семян от конструктивных и режимных параметров сепаратора. В результате имитационного моделирования движения зерновок установлено, что использование устройства разрыхляющего поток и задающего рациональные параметры ввода материала позволяет повысить степень извлечения полноценных семян.

Ключевые слова: сепаратор, аспирационный канал, семена, воздушный поток.

Известно, что одним из перспективных направлений увеличения урожайности подсолнечника является использования для себвы предварительно отобранных семян с высокими посевными качествами. Производственная практика и проведенные исследования показывают, что в посевном материале содержатся зерна значительно отличающиеся массой, плотностью и толщиной. [1, 2, 3]. Установлено, что с увеличением массы семян, как правило увеличивается их плотность и толщина, а следовательно и аэродинамические свойства которые определяются скоростью витания. Все это указывает на возможность их дополнительного разделения воздушным потоком. Данные испытаний воздушных каналов серийных машин [4, 5, 6] показывают, что и очистка и сортировка семян производится в них с недостаточно высоким качеством: после сепарации в «ценной» фракции остается большое количество легких (неполноценных) семян, а увеличение массы 1000 зерен составляет всего 4,4% [6]. Это указывает на то, что возможности воздушного потока используются далеко не полностью. Поэтому необходимы испытания принципиально новых конструкций воздушных каналов и способов разделения, которые дают возможность повысить качество разделения семенного материала.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализом априорных сведений по сепарации зерна в воздушных каналах, установлено, что воздух воздействует на зерновки, в основном, в момент движения зерновой струи от внутренней стенки к наружной (в прямоугольном канале). В центральной части канала скорость воздуха максимальная, а у стенок она уменьшается, вследствие чего разделение ухудшается. Кроме того в существующих [7-10] пневмоканалах не используется нижняя зона воздушного потока как конструктивный элемент и фактор разделения семенного материала по аэродинамическим свойствам. Вместе с тем, работоспособность нижней зоны потока, как механизма разделения траекторий движения семян различающихся скоростью витания, и целесообразность ее использования для достижения дополнительного эффекта разделения зерносмеси доказано в работах [11, 12].

Однако использование делителей потока семян в падающем слое в противотоке с воздухом в цилиндрическом канале в виде коаксиально расположенных патрубков разного диаметра [13] позволяет дополнительно (кроме выделения «самых легких» примесей в верхней зоне канала) разделять семена подсолнечника на две фракции, выделяя наиболее полноценную. Однако струйный способ введения потока семян в пневмоканал [13], как показали экспериментальные исследования [12] ограничивает зону (диаметральную) разделения всего 10мм, что снижает возможности нового способа сепарации. Для увеличения величины разделяемости семян по скорости витания, предложено разрыхлять струю подающегося на сепарацию материала осуществляя ее торможения и распределение зернового потока по радиусу с помощью распределяющего конусного устройства. При этом обеспечивается не вертикальный, ввод материала, а под определенным углом к вертикальному воздушному потоку.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Целью настоящей работы является определение конструктивных и режимных параметров кольцевого пневмоканала с распределенным вводом материала, обеспечивающих повышение эффективности разделения

Рассмотрим пневмосепарирующий кольцевой канал (рис.1) материал в котором подается с конического распределителя под начальным углом α_0 , со скоростью V_0 в вертикальный (равномерно распределенный по радиусу) воздушный поток.

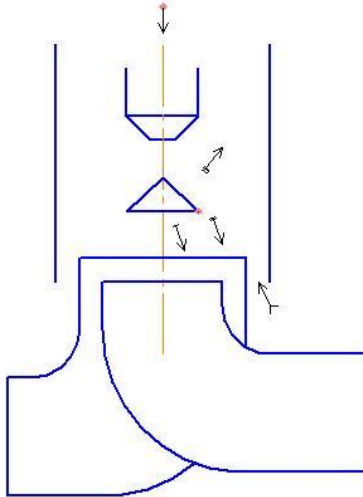


Рис.1. Схема работы сепаратора
Fig.1. The scheme of the separator

Разделение семян в гравитационном пневмосепарирующем сепараторе основано на разнице в скорости витания и осуществляется пересечением под определенным углом вертикального воздушного потока.

Математическое описание движения зерновки в воздушном потоке составим для текущего момента времени при таких упрощающих допущениях:

- рассматривается движение изолированных (друг от друга) частиц;
- размер частицы и ее вес определяется скоростью витания;

- скорость вертикального перемещения воздушного потока принимается равномерно распределенной по радиусу пневмоканала;
- частицы не меняют своего ориентирования (по оси симметрии зерновки) по отношению к направлению воздушного потока;
- поток воздуха направлен вертикально вверх.

Абсолютное движение частиц в воздушном потоке (канале) можно считать состоящим из относительного перемещения зерновки в самом потоке воздуха и переносом перемещения зерновки вместе с потоком воздуха. Таким образом абсолютная скорость зерновки равна:

$$\bar{v} = \bar{u} + v_v,$$

где: \bar{u} – относительная скорость зерновки; v_v – скорость воздушного потока (скорость зерновки в переносном движении).

Рассмотрим взаимодействие частицы с восходящим воздушным потоком (рис. 2).

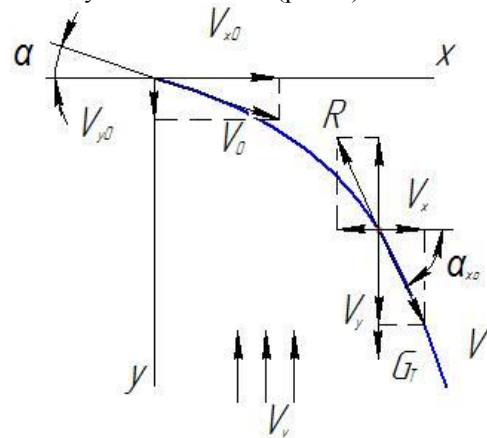


Рис.2. Схема сил действующих на зерновку в потоке воздуха

Fig.2. Driving forces acting on the air stream in the caryopsis

Принимаем за начало координат месте схода частицы в воздушный поток. Согласно принятой системы координат и действующих на частицы сил: тяжести $G = mg$ и сопротивления воздушному потоку R , движение частицы описывается известными дифференциальными уравнениями [9, 14]:

$$m\ddot{x} = -R \cos \alpha, \quad (1)$$

$$m\ddot{y} = mg - R \sin \alpha, \quad (2)$$

где: α – текущее значение угла между скоростью частицы при движении ее по траектории и горизонтальной осью.

Согласно схеме действия сил можно записать очевидные соотношения:

$$v_x = v \cos \alpha; \quad v_x = \dot{x} = \frac{dx}{dT};$$

$$v_y = v \sin \alpha; \quad v_y = \dot{y} = \frac{dy}{dT} + v_v, \quad (3)$$

где: v_v – скорость воздушного потока.

Сила аэродинамического сопротивления принята пропорциональной квадрату относительной скорости частицы (скорости ее обтекания):

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЗЕРНОВОК ПОДСОЛНЕЧНИКА В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

$$R = K_c(v - v_v)^2, \quad (4)$$

где: K_c – коэффициент сопротивления (обобщенный); C_x – коэффициент сопротивления, зависящий от формы частицы и условий обтекания (ламинарный режим, турбулентный) характеризующий величиной критерия Рейнольдса; S_M – Миделево сечение частицы; ρ – плотность воздуха; при известной скорости витания частицы $v_{вум}$ силу сопротивления можно выразить формулой $R = \frac{mg}{v_{вум}^2} = mk_{\Pi}$.

Величину k_{Π} называют коэффициентом парусности.

С учетом указанных соотношений уравнения (1) и (2) можно переписать в таком виде:

$$\frac{d^2}{dt^2} x(t) =$$

$$= -k_{\Pi} \frac{d}{dt} x(t) \sqrt{\left(\frac{d}{dt} x(t)\right)^2 + \left(\frac{d}{dt} (y(t) + v_v)\right)^2}, \quad (5)$$

$$\frac{d^2}{dt^2} y(t) = g - k_{\Pi} \left(\frac{d}{dt} y(t) + v_v\right) \times$$

$$\times \sqrt{\left(\frac{d}{dt} x(t)\right)^2 + \left(\frac{d}{dt} (y(t) + v_v)\right)^2}, \quad (6)$$

Начальные условия к уравнениям запишем в виде:

$$x(0) = 0; y(0) = 0; \dot{x}(0) = v_0 \cos \alpha_0; \dot{y}(0) = v_0 \sin \alpha_0,$$

где: α_0, v_0 – угол ввода частиц в воздушный поток и их начальная скорость.

Указанные параметры определяются, кроме угла наклона образующей загрузочно-распределительного устройства, еще и скоростью ввода материала в поток. Поскольку основной функцией устройства есть транспортирование зерноматериала от загрузочного бункера и материалопровода к воздушному каналу и ввода его в поток воздуха под определенным углом и заданной скоростью, необходимо определить эти параметры. Принимая (в идеальном виде), что частица движется по образующей конуса от места ввода до места схода определим зависимость скорости движения от координаты и угла наклона прямой линии (плоскости) по которой разгоняется частица. При этом принимаем, что частица движется строго по образующей плоскости. Кроме того принимаем, что в виду относительно малой скорости перемещения (0,2-0,8м/с). Частицы по шероховатой поверхности, влиянием аэродинамического сопротивления пренебрегаем (в первом приближении). При принятых допущениях уравненные движения частицы будет иметь вид [15]:

$$m \frac{dS^2}{dT^2} = m \frac{dv}{dT} = mg \sin \alpha - fmg \cos \alpha + k_a \dots \quad (7)$$

Интегрирование уравнения (7) при начальных условиях:

$$\tau = 0; v = v_0$$

$$v = v_0 + g(\sin \alpha - f \cos \alpha)\tau \quad (8)$$

Учитывая, что $v = \frac{dS}{d\tau}$ и интегрируя уравнение (8) при начальных условиях: $\tau = 0; S = 0$ получим:

$$S = v_0\tau + \frac{g}{2}(\sin \alpha - f \cos \alpha)\tau^2 \quad (9)$$

Определив из уравнения (8) величину τ и подставив его значение в уравнение (9) после преобразований получим выражение определяющее скорость:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2g(\sin \alpha - f \cos \alpha)S}, \quad (10)$$

схода (подачи) частички в воздушный поток в зависимости от угла наклона образующей конуса α и ее длины S .

Скорость подачи материала на конический распределитель, т.е. начальную скорость движение v_0 примем равную скорости истечения из загрузочного устройства, которая согласно [16] определяется по формуле:

$$v_0 = (2,546 - 0,16d_s) \left(1 - 66 \left(\frac{d_s}{D}\right)^3\right) F^{0,25}, \quad (11)$$

где: d – эквивалентный диаметр зерновки, м; D – диаметр сечения выгрузного отверстия, м; F – площадь сечения выгрузного отверстия, м².

Для учета влияния сопротивления воздуха при движении зернового материала по распределительному конусу можно использовать уточненную формулу Р.Л. Зенкова:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2g(\sin \alpha - f \cos \alpha) + v_0^2}{1 + 2Sk_{\Pi}}}, \quad (12)$$

где: k_{Π} – коэффициент парусности, $\frac{1}{m}$.

На рис.3 приведен график изменения скорости схода материалов конического распределителя в зависимости от угла наклона образующей и ее длины.

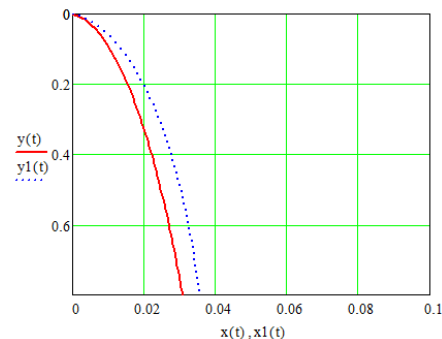


Рис.3. Траектории зерновок частиц различных фракций при самотоке

Fig.3. The trajectories of particles of different fractions of grains in the gravity

Уравнения (5) и (6) не имеют аналитического решения, поэтому их анализ выполнен с помощью ЭВМ.

Определение значений скоростей и траекторий движения зерновок подсолнечника в вертикальном пневмоканале предшествовало экспериментальное определение скоростей витания отдельных зерновок

которые подлежат распределению. При массе 1000 зерновок 60гр скорость отрыва и улета зерновок колебалась в пределах $4,8-7,2 \frac{1}{м}$, а при массе 80гр - $6,8-8,9 \frac{1}{м}$. Для средних значений скорости витания отдельных фракций соответствующие коэффициенты парусности равны $k_1=0,2725$, $k_2=0,159$.

На рис.4 приведены траектории движения отдельных зерновок различающихся массой ($m_1=0,06г$, $m_2=0,08г$ и величиной средней скорости витания $v_1=6 \frac{1}{м}$, $v_2=7,85 \frac{1}{м}$) при отсутствии разделительного конуса кольцевой выпускной канал.

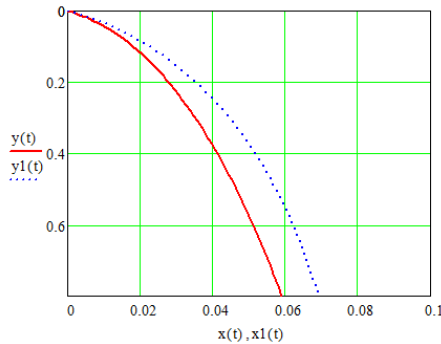


Рис.4. Траектории зерновок частиц различных фракций при разделительном конусе

Fig.4. The trajectories of grains of different fractions of particles in the separation cone

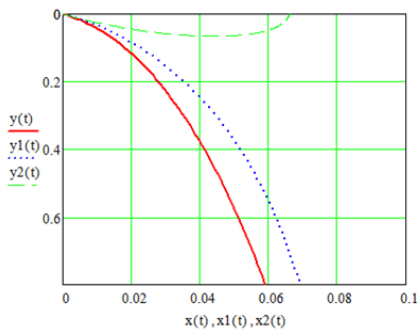


Рис.5. Траектории зерновок частиц различных фракций при разделительном конусе для тяжелой, основной и легкой фракций

Fig.5. The trajectories of grains of different fractions of particles in the separation cone for heavy and light fractions of the main

Как следует из анализа траекторий движения семян на высоте канала 0,8 м расхождение траекторий составляет 10 мм, а опытные данные соответ-

ствуют расхождению в 9мм [12], что вполне допустимо.

При наличии распределяющегося конуса расхождения траекторий при тех же режимах воздушного потока увеличивается (Рис. 5).

Для получения аналитических зависимостей траекторий перемещения зерновок в воздушном потоке от конструктивных и режимных параметров пневмогравитационного сепаратора введем упрощающие допущения [9]. Преобразуем уравнения (5) и (6) к такому виду:

$$\ddot{x} = -k_{II} \dot{x} v_v \sqrt{\left(\frac{x}{v}\right)^2 + \left(1 + \frac{y}{v}\right)^2}, \quad (13)$$

$$\ddot{y} = \ddot{g} = -k_{II} (\dot{y} + v_v) v_v \sqrt{\left(\frac{x}{v}\right)^2 + \left(1 + \frac{y}{v}\right)^2} \quad (14)$$

По данным числовых экспериментов величина $\sqrt{\left(\frac{x}{v}\right)^2 + \left(1 + \frac{y}{v}\right)^2}$ для реальных аэродинамических

режимов сепарации $v=6-9 \frac{M}{c}$, $v_x = 0,2-0,15 \frac{M}{c}$,

$v_y = 0,7-0,8 \frac{M}{c}$ изменяется незначительно в пределах

1,08-1,14 и ее можно принять постоянной равна $k=1,11$. Тогда уравнение (13) и (14) можно записать в приближенном виде:

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} = \frac{dv_x}{d\tau} = -Av_x, \quad (15)$$

$$\frac{d^2y}{d\tau^2} = \frac{dv_y}{d\tau} = g - B(v_x + v_y), \quad (16)$$

где: $A=1,11k_{II}v_v$; $B=1,11k_{II}v_v$

Интегрируя уравнения (15) и (16) при начальных условиях:

$$\tau = 0; x = 0; y = 0; v_x = v_{x0}; v_y = v_{y0}$$

где: v_{x0} , v_{y0} – проекции начальной скорости на оси ОХ и ОУ получим уравнения проекций скорости зерновки и ее перемещения в вертикальном потоке воздуха:

$$v_x = v_{0x} e^{-A\tau}, \quad (17)$$

$$x = \frac{v_0}{A} (1 - e^{-A\tau}), \quad (18)$$

$$v_y = \frac{a}{B} - \left(\frac{a}{B} - v_{y0}\right) e^{-B\tau}, \quad (19)$$

$$y = \frac{a}{B} \tau - \frac{1}{B} \left(\frac{a}{B} - v_{y0}\right) (1 - e^{-B\tau}), \quad (20)$$

где: $a = g - Bv_v$.

Определив из уравнения (18) время:

$$\tau = \frac{1}{A} \ln \frac{v_{0x}}{v_{0x} - A_x}, \quad (21)$$

И подставив его значение в уравнение (20) получим зависимость определяющую траекторию движения зерновки:

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЗЕРНОВОК ПОДСОЛНЕЧНИКА В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

$$y = \frac{a}{BA} \ln \frac{v_{0x}}{v_{0x} - AX} - \frac{1}{B} \left(\frac{a}{B} - v_{0y} \right) \times \left[1 - \exp \left(-\frac{B}{A} \ln \frac{v_{0x}}{v_{0x} - AX} \right) \right] \quad (22)$$

Подставляя значение $y = H$ (высота падения частицы в воздушном канале) можно вычислить величину отклонения траектории вместе падения (забора) фракции, массой m_1 и коэффициентом парусности k_{II} . Установить место делителя разделяемых фракций.

Эффективность процесса разделения семян подсолнечника должна определяться по величине отклонения траектории исходя из семян в высеву, путем отделения от общей массы, некондиционных зерновок (пустота, повреждение насекомыми, «выедание») так попадание последних в посевной материал приносит максимальный ущерб всей технологии выращивания подсолнечника. Отделение «легких» зерновок на стадии ввода материала в воздушный поток сепаратора, является эффективным способом повышения четкости разделения (по попаданию не кондиции в основную фракцию) так как уменьшают интенсивность солидарного перемещения (т.е. тяжелые частицы подталкивают легкие в процессе их перемещения)

Траектории движения «легких» зерновок $m < 0,03; v_{вст} < 4 \frac{M}{c}, k_{II} = 0,6$ показаны на рис. 5.

Таким образом, при использовании для ввода материала в воздушный поток с помощью распределительного устройства (конуса) сепаратор реализует разделение частиц на три фракции.

ВЫВОДЫ

1. Проведено математическое моделирование процессов перемещения а разделения зерновок подсолнечника в аэродинамическом гравитационном сепараторе; получены уравнения которые адекватно описывают режимы движения материала.

2. Получено аналитическая зависимость расстояния разделения траектории падения семян от конструктивных и режимных параметров сепаратора.

3. В результате имитационного моделирования движения зерновок установлено, что использование устройства разрыхляющего поток и задающего рациональные параметры ввода материала позволяет повысить степень извлечения полноценных семян.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Алейников В.И. 1979.** Послеуборочная обработка семян подсолнечника М.: Колос, 143.
2. **Ткаченко О.В. 2004.** Технологические свойства семян подсолнечника Труды ТГАТУ. – Мелитополь ТГАТУ. Вип.19, 166-175 (Украина)

3. **Щеглов А.В. 2006.** Определение характеристик семян подсолнечника Сборник научных трудов. Сред. Технические науки. Луганск. №68/91, 243-247(Украина)
4. **Малис А.Я., Демидов А.Р. 1962.** Машины для очистки зерна воздушным потоком М.:Машгиз, 175.
5. **Нелюбов А.И., Ветров Е.Ф. 1977.** Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин М.: Машиностроение, 190.
6. **Бурков А.И., Сычугов Н.П. 2000.** Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание. Киров: Изд-во ННПИСХ Северо-Восток, 258.
7. **Котов Б.И., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г. 2003.** Тенденции развития конструкций машин и оборудования для очистки и сортировки зерна материалов. Конструирование, производство и эксплуатация сельскохозяйственных машин: Общегосударственный межведомственный сборник. Кировоград. Вип.33, 53-59. (Украина)
8. **Васильковский О.М., Петренко Ф.И. 2005.** Повышение эффективности воздушной очистки зерна. Конструирование, производство и эксплуатация сельскохозяйственных машин. Кировоград. Вип. 35. 286-288 (Украина).
9. **Горгинский В.В., Денский А.Б., Борискин М.А. 1980.** Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях М.: Колос, 304.
10. **Степаненко С.П. 2008.** Исследование процесса пневматического сепарации семян в кольцевом зигзагообразному сепараторе. Вестник ХНТУСГ Харьков.: ХНТУСГ, 59-65(Украина).
11. **Ермак В.П. 2006.** Результаты исследования распределения скорости воздушного потока в пределах основной сепарационной камеры и расстояния установления главной разделяющей заслонки сепаратора. Сборник научных трудов ЛНАУ. Серия технические науки. Луганск. №68/91, 92-98 (Украина).
12. **Кюрчев С.В., Колодий А.С. 2013.** Результаты исследования рациональных размеров вертикального аспирационного канала сепаратора семян сельскохозяйственных культур Motrol "Motorization and energetics in agriculture", Lublin-Rzeszow, Vol.15, No2.169-175.
13. **Аэродинамический сепаратор для семян. патент на полезную модель №86300. 25.12.2013 (Украина).**
14. **Василенко П.М. 1970.** Об уравнениях транспортировки частиц в сопротивляющихся средах Доклады ВАСХНИЛ М. №4, 44-46.
15. **Василенко П.М.** Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев. Из-во ВАСХНИЛ, 283.
16. **Зернов Р.Л. 1964.** Механика насыпных грузов М.: 25.

17. **Кюрчев С.В., Колодий А.С. 2013.** Анализ существующих способов и средств для сепарации семян. MOTROL. Motorization and energetics in agriculture. Lublin-Rzeszow. Vol.15. No2. 197-205.
18. **Кюрчев С.В., Колодий А.С. 2013.** Методики исследования параметров сепаратора семян предложенного типа. MOTROL. Motorization and energetics in agriculture. Lublin-Rzeszow. Vol. 15. No 2. 205-213.
19. **Матвеев А.С. 1969.** Сепарирование зерновой смеси вертикальным воздушным потоком. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. №11, 17-19.
20. **Ткаченко О.В. 2004.** Технологические свойства семян подсолнечника. Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь: ТГАТУ. Вып.19, 166-175 (Украина).

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE BEHAVIOR OF SUNFLOWER KERNELS IN THE AIR FLOW SEPARATION UNITS

Summary. In this article considered one of perspective directions of increase productivity of sunflower

namely using previously selected seeds with high sowing qualities. Work practice and researches show us how sowing material characterized by weight, density and thickness. It is established that with increase in mass of seeds, as a rule increases their density and thickness. Consequently also influence on aerodynamic properties and rotation speed increase. It is all indicates possibility additional division by air stream. The analysis of data of grain separation in air channels showed how air influences stream seed from internal wall to external (in rectangular channel). The air speed is maximum in the central part of channel but at walls it is decreases whereupon division worsens. Besides the lower zone of air stream not using as constructive element and factor of division of seed material according to aerodynamic properties in existing pneumatic channels. As result we got mathematical models processes of movement and division sunflower seed in aerodynamical separator and equations describing movement modes of material were received. As result of imitating modeling movement seed was established that use device of stream loosening and setting rational parameters of input material increases extent of extraction full-fledged seeds.

Key words: a separator, an aspiration channel, the seeds, the air flow.

ПАРАМЕТРЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Евгений Михайлов

*Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина.*

Eugene Mikhailov

*Tavria State Agrotechnological University
B. Khmelnitsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine.*

Аннотация. При создании новых технологических комплексов для ПУОЗ необходимо использовать методики, учитывающие реальные условия функционирования машин и оборудования. Наиболее достоверные результаты при этом может дать метод имитационного моделирования, учитывающий комплекс качественных показателей функционирования зерноочистительных машин.

В последних исследованиях установлено, что эффективность функционирования комплекса машин для ПУОЗ плотно взаимосвязана с условиями и работой используемого оборудования. Построение линейных моделей объектов технической оснащенности (ТО) ПУОЗ в некоторой степени искажает физическую сущность явлений, происходящих в системе, однако, это позволяет решать сложные задачи проектирования технологических объектов и проводить качественную и количественную оценку их выходных координат.

Цель работы - подготовка необходимых данных для моделирования программы и составление плана реализации экспериментов по обоснованию параметров ПУОЗ.

В работе приведены параметры функционирования комплекса машин системы послеуборочной обработки зерна (ПУОЗ). В технологической модели функционирования системы ПУОЗ показатели качества работы оборудования тесно взаимосвязаны с вероятностями нахождения на допустимых уровнях: условий работы, технологического состояния системы и внутренних помех. Представлена технологическая модель системы ПУОЗ и модели функционирования зерноочистительных машин (ЗОМ) в виде одной и трех подсистем. Аналитический метод построения математических моделей ЗОМ сводится практически к описанию их рабочих органов и элементов этих органов. При этом возникает сложная задача из-за многочисленных внутренних и внешних сил, действующих на зерновой материал на различных этапах прохождения его по рабочим органам. Так, не учитывается стохастическая природа условий функционирования машин, и получить прогноз показателей качества работы исследуемых объектов в условиях их нормального функционирования является невозможным. Построение линейных моделей объектов ТО ПУОЗ в некоторой степени искажает физическую сущность явлений, происходящих в системе, но, тем не менее, это позволяет решать слож-

ные задачи проектирования технологических объектов и проводить качественную и количественную оценку их выходных координат.

Ключевые слова: послеуборочная обработка зерна, материал, модель, показатели функционирования.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При создании новых технологических комплексов для ПУОЗ необходимо использовать методики, учитывающие реальные условия функционирования машин и оборудования. Наиболее достоверные результаты при этом может дать метод имитационного моделирования, учитывающий комплекс качественных показателей функционирования зерноочистительных машин [1, 2].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В последних исследованиях установлено, что эффективность функционирования комплекса машин для ПУОЗ плотно взаимосвязана с условиями и работой используемого оборудования. Построение линейных моделей объектов технической оснащенности (ТО) ПУОЗ в некоторой степени искажает физическую сущность явлений, происходящих в системе, однако, это позволяет решать сложные задачи проектирования технологических объектов и проводить качественную и количественную оценку их выходных координат [3-13, 18].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

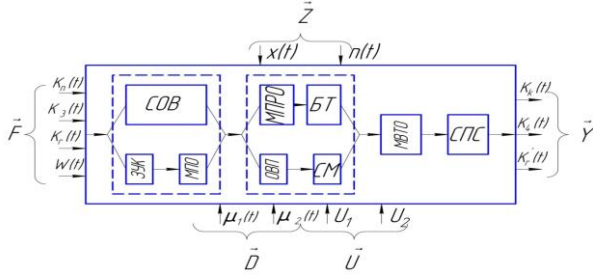
Цель работы – подготовка необходимых данных для моделирования программы и составление плана реализации экспериментов по обоснованию параметров ПУОЗ [1].

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В технологической модели функционирования системы ПУОЗ (рис.1.) Показатели качества работы оборудования тесно взаимосвязаны с вероятностями нахождения на допустимых уровнях: условий работы, технологического состояния системы и внутренних помех.

Для заданной технологической модели функционирования ТО ПУОЗ введены индексы машин, которые служат для обработки материала "Невейка" в отделении, составленном с молотильно - сепари-

рующего устройства, зерноуборочного комбайна (ЗУК) и машины предварительной очистки (МПО), или с экспериментального из молотильно-сепарирующего блока (COB).



- \bar{Z} – вектор-функция состояния системы;
- \bar{U} – вектор-функция управления;
- \bar{F} – вектор-функция условий работы;
- \bar{D} – вектор-функция внутренних процессов.

Рис.1. Технологическая модель системы ПУОЗ
Fig. 1. ANGP System Technological Model

Последующая обработка такого материала или вороха, поступающего от комбайна с поля, может производиться на стационарном комплексе типа ЗАВ, в состав которого входят машина первичной очистки (МПрО) и триерный блок (БТ). В других случаях материал может обрабатываться на ворохоочистителях (ВО) и семяочистительных машинах (СМ). Семенной материал предусматривается дополнительно пропустить через машину вторичной очистки (МВТО) и пневмостол (СПС).

Разработанная модель функционирования ТО ПУОЗ показывает необходимость определения технологических допусков показателей качества работы ЗОМ в условиях их нормального функционирования, что должно быть учтено при разработке методов расчета параметров ТО процесса ПУОЗ.

Рассмотрим модель функционирования отдельно работающей ЗОМ, представленной в виде одной системы (рис. 2).

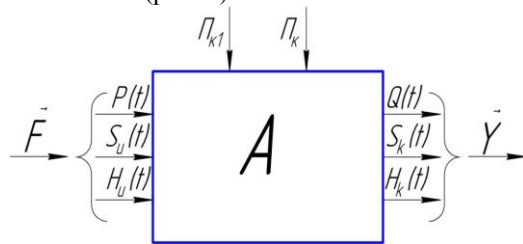


Рис. 2. Модель функционирования зерноочистительной машины в виде одной системы
Fig. 2. The Functioning Model for Grain Cleaning Machine as a Single System

На входе модели действует вектор - функция \bar{F} условий работы, составляющими которой является подача $P(t)$, исходная засоренность $S_u(t)$, натура зерна $H_u(t)$. Как указано исследованиями, влажность W исходного зернового материала в южных районах Украины практически не влияет на показатели функционирования ЗОМ (по исключением

риса - зерна). Потери полноценного зерна Π в отходы и эффект очистки E_o фиксировались в поле заданного допуска.

Выходные параметры представлены вектором - функцией \bar{y}_u показателей качества работы машины. Это производительность $Q(t)$, конечная засоренность $S_k(t)$ и натура очищенного материала $H_k(t)$. Учтены конструктивно – технологические Π_{k1} и кинематические параметры Π_k ЗОМ.

Для оценки качества расчетная схема модели функционирования ЗОМ дополняется вектором регламентирующим работу ворохоочистителя:

$$y_n = \{Qn(t), S_{kn}(t), H_k(t)\}. \quad (1)$$

Отклонения вектора от вектора определяет точность работы ЗОМ [14], причем отклонения:

$$E_T = \bar{y} - \bar{y}_u, \quad (2)$$

образует в общем случае вектор:

$$E_T = \left\{ e \frac{1}{T}(t), e \frac{2}{T}(t), \dots, e \frac{i}{T}(t), \dots, e \frac{i}{T}(t) \right\} \quad (3)$$

Вектор \bar{y}_u можно рассматривать как исходный вектор некой идеальной машины, что обеспечивает ее функционирование без ошибок ($E_T = 0$) в соответствии с установленными для нее технологическими, эксплуатационными, энергетическими и другими требованиями [14].

Рассмотрим модель функционирования ЗОМ, представленную в виде трех подсистем (рис.3.), каждая из которых имеет один выход $Q(t)$, $S_k(t)$, $H_k(t)$, и три входа $P(t)$, $S_u(t)$, $H_u(t)$.

Оператор A_i ($i=Q, S_k, H_k$) определяет особенности каждой из подсистем и характеризует преобразования входных воздействий $P(t)$, $S_u(t)$, $H_u(t)$ в исходные. Входной процесс $F(t)$ ЗОМ преобразуется с помощью оператора A_j в выходной процесс $y(t)$ так [15]:

$$y_i = A_i[F_i] \quad (4)$$

Установлено, что процессы $F(t)$ и $y(t)$ являются случайными и задаются множеством их реализаций, то есть:

$$\begin{aligned} \bar{F}(t) &= \{P_t, S_t, H_{u(t)}\} \\ \bar{y}(t) &= \{P_t, S_t, H_{u(t)}\} \end{aligned} \quad (5)$$

Согласно ГОСТ N 21878-76 [17], оператор системы определяет установку, с которой каждой реализация выходящего сигнала ставится в однозначное или взаимнооднозначное соответствие реализации исходного сигнала [15]. Для каждой модели, представленной на рис. 3, при таком определении оператора можно записать следующие соотношения:

$$\begin{aligned} Q(t) &= A_Q^P [P(t)] + A_Q^{S_u} [S_u(t)] + A_Q^{H_u} [H_u(t)] \\ S_k(t) &= A_{S_k}^P [P(t)] + A_{S_k}^{S_u} [S_u(t)] + A_{S_k}^{H_u} [H_u(t)] \\ H_k(t) &= A_{H_k}^P [P(t)] + A_{H_k}^{S_u} [S_u(t)] + A_{H_k}^{H_u} [H_u(t)] \end{aligned} \quad (6)$$

Из этого выражения (6) видно, что операторы A_Q^i , $A_{S_k}^i$, $A_{H_k}^i$ устанавливают соответствие между входными воздействиями $P(t)$, $S_u(t)$, $H_u(t)$ и исходными переменными $Q(t)$, $S_k(t)$, $H_k(t)$.

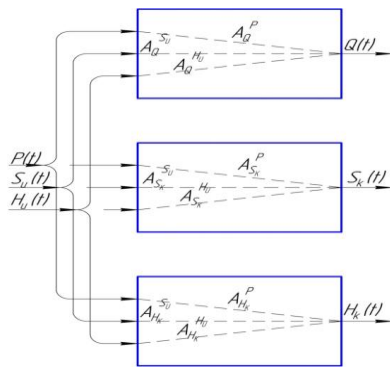


Рис. 3. Модель функционирования зерноочистительной машины в виде трех систем

Fig. 3. The Functioning Model for Grain Cleaning Machine as a Triple Subsystem

Аналитический метод построения математических моделей ЗОМ сводится практически к описанию их рабочих органов и элементов этих органов. При этом возникает сложная задача из-за многочисленных внутренних и внешних сил, действующих на зерновой материал при различных этапах прохождения его по рабочим органам.

Так, не учитывается стохастическая природа условий функционирования машин, и получить прогноз показателей качества работы исследуемых объектов в условиях их нормального функционирования является невозможным [19].

В связи с этим построение моделей осуществляется методом идентификации - отождествлении модели объекту - оригиналу по известным "входным" и "выходным" данным [16, 20].

Построение математической модели технологического процесса объекта ПУОЗ (зерноочистительной машины или агрегата) методом идентификации предусматривает следующее. При установившихся режимах работы (с учетом культуры, ее назначения, качества исходного материала, выполнения допусков на показатели функционирования ЗОМ и др.), синхронно отбирают реализации входных и выходных переменных. По этим реализациям определяются оценки оператором A . Близость оценки оператора A к его истинному значения определяет соответствие между реальным объектом и моделью.

Количественной оценкой может быть дисперсионная мера идентичности модели [15]:

$$\xi_D = \frac{D_y^1}{D_y}, \quad (7)$$

где D_y - дисперсия выходной переменной; D_y^1 - часть дисперсии D_y , которая обусловлена входными переменными $P(t)$, $S_u(t)$, $H_u(t)$ или дисперсия прогноза.

Для идентификации статических моделей используется регрессионный анализ. Для идентификации динамических моделей используются известные соотношения во временной и частотной области (корреляционные функции, спектральные плотности, амплитудно - частотные характеристики, передаточные функции и др.) [14].

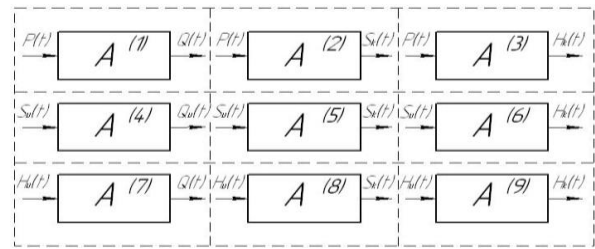


Рис. 4. Одномерные расчетные модели

Fig. 4. One-Dimensional Calculated Models

Совокупность названных двух типов моделей дает достаточно исчерпывающие характеристики при исследовании рабочих органов с целью их оптимизации, для прогноза показателей качества работы машин, для составления технических заданий на проектирование и др.

Представим многомерную модель объектов в виде одномерных моделей (рис. 4), используя для этого принцип суперпозиции. Оператор A (рис. 2.) можно представить при этом совокупностью частных операторов для случая, когда на "входе" и "выходе" по три переменных - соответственно: $P(t)$, $S_u(t)$, $H_u(t)$ и $Q(t)$, $S_k(t)$, $H_k(t)$.

$$A = \{A^{(1)}, A^{(2)}, A^{(3)}, A^{(4)}, A^{(5)}, A^{(6)}, A^{(7)}, A^{(8)}, A^{(9)},\} \quad (8)$$

В случае, если на "входе" $P(t)$ и $S_u(t)$, а на "выходе" три - $Q(t)$, $S_k(t)$, $H_k(t)$, то получим выражение:

$$A_0 = \{A_0^{(1)}, A_0^{(2)}, A_0^{(3)}, A_0^{(4)}, A_0^{(5)}, A_0^{(6)},\} \quad (9)$$

Задача построения модели регрессии технологического процесса любой сельскохозяйственной машины сводится к определению оценки условного математического ожидания $m_{y/f}$ исходной реализации $y(t)$ относительно фиксированных уровней входной реализации $f(t)$ [14].

Условное математическое ожидание $m_{y/f} = M \cdot \left[\frac{y(t_1)}{f} \right]$ случайного процесса $y(t)$ относительно

фиксированного значения другого процесса $F(t) = f$ в фиксированный момент времени t_1 определяется выражением:

$$m_{y/f} = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} [y_f(y) f; t_1] D_y \quad (10)$$

Это выражение представляет собой функцию регрессию - зависимость условного математического ожидания реализации случайного входного процесса $y(t)$ от значений реализации случайного выходного процесса $f(t)$. Уравнения регрессии могут быть линейными и нелинейными.

Поскольку для решения нашей задачи не выдвигается программа исследований по обоснованию рациональных или оптимальных значений конструктивных, кинематических и других параметров рабочих органов сельскохозяйственных машин, а рассматривается прогнозная задачи по определению показателей качества работы объекта, то остановимся на линейной регрессии.

ВЫВОДЫ

1. Линейные модели объектов ТО ПУОЗ в некоторой степени искажают физическую сущность явлений, происходящих в системе.

2. Решение сложных задач проектирования

технологических объектов и проведение качественных и количественных оценок их выходных координат возможно на основе линейных моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлов Е. В. 2012. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах юга Украины. Монография. 214. (Украина).
2. Кубышев В. А., Ю. В. Панус 1964. Определение потребного количества машин для обработки зерна на токах. Челябинск, 25 - 30.
1. Киреев М. В., С. М. Григорьев, Ковальчук Ю. К. 1981. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах. М. Колос, 224 .
2. Елизаров В. П. 1977. Предприятия послеуборочной обработки и хранения зерна (расчет на ЕОМ). М. : Колос, 216.
3. Киреев М.В., Дегтев В.М. 1982. Имитационное моделирование при испытаниях зерноочистительно-сушильных комплексов. 80 - 83.
3. Михайлов С. В., Дегтев В. М. 2010. Использование метода имитационного моделирования при обосновании параметров процесса послеуборочной обработки зерна. Вип. 10, Т. 8. Тр.ГДАТУ. 209 - 214.
4. 7.Дегтев В. М. 1984. Обоснование основных параметров технологического оборудования и машин для послеуборочной обработки зер- на в условиях Северо – запада Нечернозем- ной зоны.202.
5. Гозман Г. П., Бабченко В.Д., Зюлин А.Н. 1993. Концепция структурного построения технологических линий обработки семян в элитно-семеноводческих хозяйствах. Науч.-техн. бюл. Всерос. НИИ механизации с. х. Вып. 87. 16 - 18.
6. Шеннон Р. 1978. Имитационное моделирование систем - искусство и наука. 418.
7. 10. Клейнен Дж. 1978.Статистические методы в имитационном моделировании. М.: Мир. Т.1. 560. Т. 2.557.
8. Скирта Б. К. 1990. Имитационное моделирование в управлении сельскохозяйственным производством. 206.
9. Пичугина О.С. 2005. Имитационное моделирование в оценке надежности сложных технических систем.138-141.
10. Манасян С.К. 2008.Имитационное моделирование процессов сушки зерна в зерносушилках сельскохозяйственного назначения. Красноярск, 350.
11. Лурье А.Б.1970. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. 170 .
12. Леженкин А.Н. 1989.Повышение эффективности работы ворохоочистителя за счет интенсификации его технологического процесса. 166.
13. Лурье А.Б. 1981. Основы теории эффективности функционирования рабочих процессов сельскохозяйственных машин и их систем управления. Науч. труды ЛСХИ. Т. 415. 3 - 6.
14. ГОСТ 21878-76. 1976. Случайные процессы и динамические системы. Термины и определения. 33.
15. Пастушенко С., Огиенко Н. 2012. Теоретические аспекты исследования процесса сепарации технологической семенной массы овощебахчевых культур. Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin. Tom 14. №2.13–20.
16. Думенко К., Огиенко Е. 2012. Моделирование процесса обеспечения надежности зерноуборочных комбайнов.Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin, Tom 14. №2.51–56.
17. Михайлов Е. В. 2008. Формування оптимальних параметрів средств послеуборочної обробки зерна. Всеукраїнська науко – практична конференція. 70 – 71.(Україна)

PARAMETERS OF THE OPERATION POST-HARVEST PROCESSING OF GRAIN

Summary. While creating new technological complexes for Post-harvest Care (PHC), methods including real conditions of machinery and equipment operations should be used. At that the most reliable data may be obtained due to the imitation modelling method, accounting for the qualitative characteristics of grain-cleaning machines.

According to the latest researches, efficiency of the Post-harvest Care Machines is heavily tied to the terms and operations of the equipment used. Using linear models of PHC objects falsifies to some extent physical nature of phenomena happening in system, however, it enables to solve difficult tasks of technological objects engineering and estimating qualitative and quantitative characteristics of their exit data.

The purpose of the given project is to prepare necessary data for programme modelling and to make up plans for experiments as to PHC parameters.

In the present project you may trace PHC machines operational parameters. In technological models of PHC system operation the equipment quality factors are dependant on definite levels: working conditions, technological state of system and internal noises. There are technological model of PHC system and models of grain-cleaning machines (GCM) in the form of one and three subsystems correspondingly.

Analytical method of GCM models construction is limited to the description of their working devices and parts of these devices. At that we can face difficulties here because of numerous internal and external forces influencing grain material while its travelling through working devices on different stages.

For instance, stochastic conditions of machine operation is not taken into account, thus it's impossible to predict quality parameters of the objects under research in normal conditions. Using linear models of PHC objects falsifies to some extent physical nature of phenomena happening in system, however, it enables to solve difficult tasks of technological objects engineering and estimating qualitative and quantitative characteristics of their exit data.

Key words: Post-harvest Care, material, model, operational data.

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ

Юдовинский Валерий, Кюрчев Сергей, Пенев Олег, Мирненко Юрий
Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина. E-mail: vbu@melitopol.tv

V.Yudovynskyy, S Kurtchev, O.Penov, U.Mirnenko
Tavria State Agrotechnological University
B. Khmelnytsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. E-mail: vbu@melitopol.tv

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы изменения качества поверхностного слоя детали при алмазном выглаживании, которое происходит за счет температурного воздействия на поверхностные слои материала детали при обработке. Тепловой поток, создаваемый алмазным инструментом в процессе выглаживания, нагревает деталь до высоких температур, что приводит к отпуску термически обработанных поверхностей, снижая твердость поверхностных слоев. Особенно это влияние наблюдается при малых габаритах алмазного инструмента, которое характеризуется радиусом при вершине инструмента. Так при малых радиусах индентора и значительных усилиях выглаживания максимальная температура на поверхности детали очень большая и может достигать 1000°C. Изменение твердости поверхностных слоев детали в процессе алмазного выглаживания, приводит к изменению коэффициента износа материала, который, являясь функцией твердости материала, с увеличением температурного воздействия, будет расти. Не рекомендуется производить обработку алмазным выглаживанием при скоростях выше 2,5 м/с. Как смазывающе – охлаждающая жидкость при выглаживании черных металлов и сплавов следует применять индустриальное масло 20, а при обработке цветных металлов и сплавов – керосин. Поэтому, процесс алмазного выглаживания требует интенсивного охлаждения инструмента и детали. Даже в закаленных и цементруемых сталях максимально возможную твердость после обработки можно получить не больше 40HRC, что на треть снижает износостойкость поверхности детали, подвергнутой алмазному выглаживанию. Управляя режимами обработки можно с помощью представленной номограммы уточнения состояния поверхностного слоя к износу и снижения твердости можно контролировать величину коэффициента износа материала детали по технологическим параметрам: усилием прижима алмазного инструмента и радиусом при его вершине, который является характеристикой ее работоспособности.

Ключевые слова: алмазное выглаживание, режимы обработки, алмазный инструмент, глубина наклепанного слоя, тепловой поток, коэффициент износа материалов деталей.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМ

Развитие современной техники предъявляет все более высокие требования к качеству деталей машин: точности размеров и формы, физико-механическим свойствам и рельефу поверхности; к их эксплуатационным характеристикам: износостойкости, усталостной прочности, коррозионной стойкости, герметичности и тому подобные.

Надежность машин в значительной степени определяется состоянием и способностью поверхностного слоя их деталей, параметры которых, как правило, формируются на финишных операциях изготовления и определяются технологией производства.

Одним из наиболее перспективных методов повышения качества обработанной поверхности деталей машин при механообработке есть отделочно-укрепляющая обработка поверхностно - пластической деформацией (ППД). В связи с этим очень актуальные исследования алмазного выглаживания, которое получило достаточно большое распространение.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Отдельно вопросами алмазного выглаживания занимались Папшев Д.Д. [3], В. М. Смелянский [1], А.Н. Резников [2].

Однако, в процессе деформаций поверхностного слоя за счет свойств материала и малой зоны действия алмаза, возникает тепловой поток, который прогревает поверхностный слой к высоким температурам, влияя на износостойкие свойства поверхностного слоя.

Тепловыми вопросами занимался А.Н. Резников [2], какой изложил методы расчета и экспериментального изучения тепловых процессов в технологических системах. Он описал способы интенсификации механической обработки, основанные на управлении тепловыми процессами.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Установление влияния алмазного выглаживания на качество и износостойкость поверхностного слоя детали.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Закономерности изменения тепловых потоков на поверхностях индентора в зависимости от параметров процесса обработки - радиусу индентора r и усилия выглаживания P представлены на рис. 1,2.

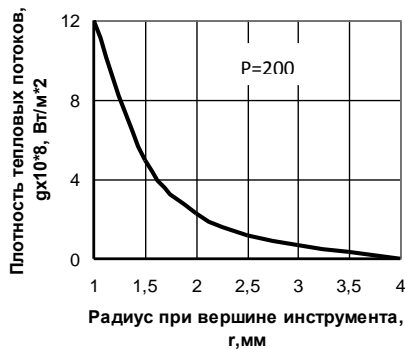


Рис. 1. Графика изменения плотности тепловых потоков на поверхности индентора от радиуса индентора r .

Fig. 1. Graphic arts of change of closeness of thermal streams on the surface of indenter from the radius of indenter of r .

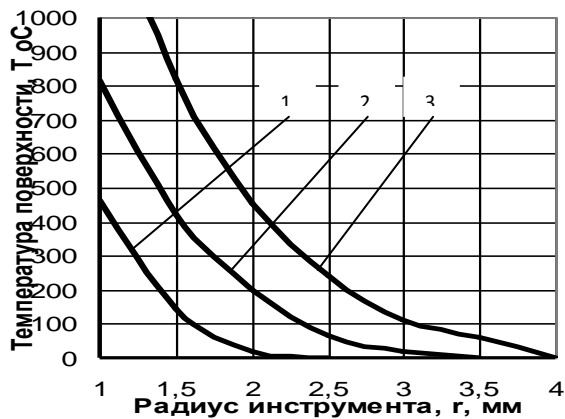


Рис. 2. Графика изменения плотности тепловых потоков на поверхности индентора от усилия выглаживания P .

Fig. 2. Graphic arts of change of closeness of thermal streams on the surface of indenter from effort of pressing

Расчеты выполнялись для следующих условий: обрабатываемый материал – сталь45 ($\sigma_e = 750$ Мпа); диаметр детали $d = 200$ мм; скорость $V = 3$ м/с.

С увеличением радиуса индентора тепловой поток на передней поверхности резко уменьшается. С ростом усилия выглаживания тепловой поток на передней поверхности.

При обработке под воздействием алмаза возникают разные тепловые потоки. Распределение температур под воздействием источников теплоты q_{01} в зоне пластической деформации и источника теплоты q_{02} в зоне упругого возобновления $T_{12}(x, y) = T_1(x, y) + T_2(x, y)$. Распределение температур под воздействием источников теплоты на передней q_1 и задней q_2 поверхностях индентора $T_{34}(x, y) = T_3(x, y) + T_4(x, y)$.

Графика суммарного распределения температур по поверхности детали представлена на рис. 3. Следовательно, за счет стока теплоты в инструмент деталь охлаждается.

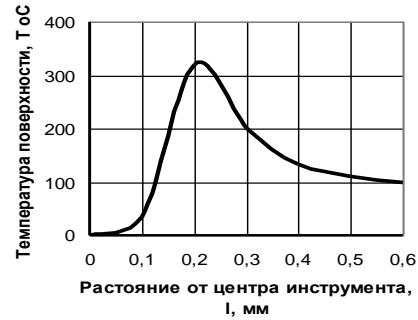


Рис. 3. Графика распределения суммарной температуры по поверхности детали при алмазном выглаживании.

Fig. 3. Graphic arts of distribution of total temperature on the surface of detail at the diamond pressing

На рис. 4 представлены графика зависимости максимальной температуры поверхности детали $T_{\Sigma \max}$ от радиуса индентора при разных значениях усилия выглаживания: $P = 100$ Н (кривая 1), $P = 150$ Н (кривая 2) и $P = 200$ Н (кривая 3).



Рис. 4. Графика зависимости максимальной температуры поверхности детали $T_{\Sigma \max}$ от радиуса индентора r

Fig. 4. Graphic arts of dependence of maximal temperature of surface of detail of $T_{\Sigma \max}$ from the radius of indenter of r

Как следует из графиков, при малых радиусах индентора и значительных усилиях выглаживания максимальная температура на поверхности детали очень большая и может достигать 1000°C (таблица 1).

Таблица 1. Значения радиусов рабочей части алмазного инструмента

Table 1. The values radiuses of working part of diamond instrument

Обрабатываемый материал	Твердость	Рекомендованный радиус алмаза, мм
Закаленные и цементуемые стали	60-65 HRC	1,0-1,5
Термически обработаны стали	35-50 HRC	1,5-2,0
Сырые и термоулучшенные стали	300 HB	2,0-2,5
Цветные металлы и сплавы	-	2,5-3,5

При увеличении радиуса индентора и снижении усилия выглаживания максимальная температура достаточно быстро уменьшается, что объясняется улучшением условий теплоотвода в индентор и снижением общего количества тепла, которое выделяется.

Другим фактором, который ограничивает выбор скорости выглаживания является высокая контактная температура, резко снижая стойкость инструмента. Поэтому не рекомендуется производить обработку алмазным выглаживанием при скоростях выше 2,5 м/с. Как жидкость, что смазывающе - охлаждающей, при выглаживании черных металлов и сплавов следует применять индустриальное масло 20, а при обработке цветных металлов и сплавов - керосин.

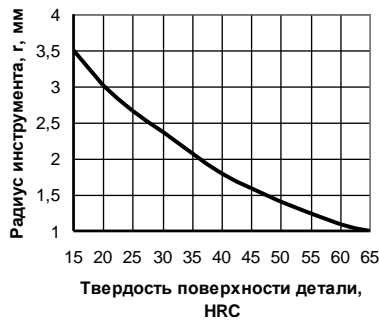


Рис. 5. Влияние твердости поверхности детали на величину радиуса при вершине инструмента (алмазу).

Fig. 5. Influence of hardness of surface of detail on the size of radius at the top of instrument (to the diamond).

Такие высокие температуры приводят к местному отпуску, который приводит к снижению твердости поверхностного слоя детали и снижения износостойкости. Поэтому, процесс алмазного выглаживания требует интенсивного охлаждения инструмента и детали. Даже в закаленных и цементуемых сталях максимально возможную твердость после обработки можно получить не больше 40HRC.

Оценка износостойкости поверхности определяется коэффициентом износа материалов, которой являет собой связь функций износа, скорости относительного перемещения, времени наработку соеди-

нения и давлений, которые действуют в данном соединении [4, 5].

$$K_{U(x,y)} = \frac{U(x_2)}{V(x_1) \cdot T(x_1) \cdot P(y_1)} \quad (1)$$

Следовательно, коэффициент износа - это характеристика свойств материалов деталей соединения и условия их износа

Поскольку коэффициент изнашивания материалов является функцией допустимой величины износа, силы трения и пути трения, а путь трения является функцией диаметра обработки, частоты вращения детали и времени работы, то можно определить период стойкости детали в зависимости от допустимого износа:

$$T = \frac{[U] \cdot 10^6}{V \cdot P \cdot K_U} \cdot x\theta, \quad (2)$$

где: $[U]$ – максимально допустимый износ инструмента, мкм; V – скорость резания, м/мин; K_U – коэффициент изнашивания материала инструмента, мкм/Па·км; P – нормальное давление на резец, Па.

В то же время коэффициент изнашивания материалов является функцией твердости материала и выражается зависимостью:

$$K_U = \left[\frac{6,785}{(HB)^{1,62}} \right] \times 10^{-6} \frac{\text{мкм}}{\text{Па} \cdot \text{км}}. \quad (3)$$

Коэффициент изнашивания является обобщенной характеристикой изнашивания материалов (U , мкм) с учетом давления (P , Па) и пути трения (S , км).

Зависимость коэффициенту износа материала K_U от твердости поверхности HB представлено на рис. 6.

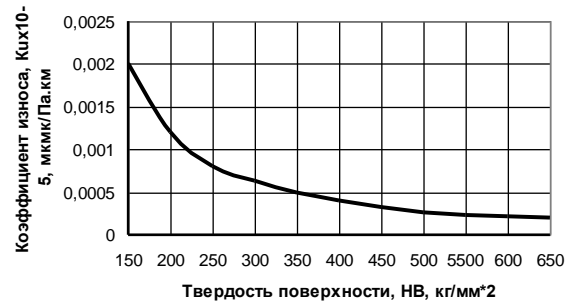


Рис. 6. Зависимость коэффициенту износа материала K_U от твердости поверхности HB

Fig. 6. Dependence to the coefficient of wear of material of K_U from hardness of surface of HB

Номограмма уточнения состояния поверхностного слоя к износу при алмазной обработке за счет повышения температуры и снижения твердости, представлена на рис. 7.

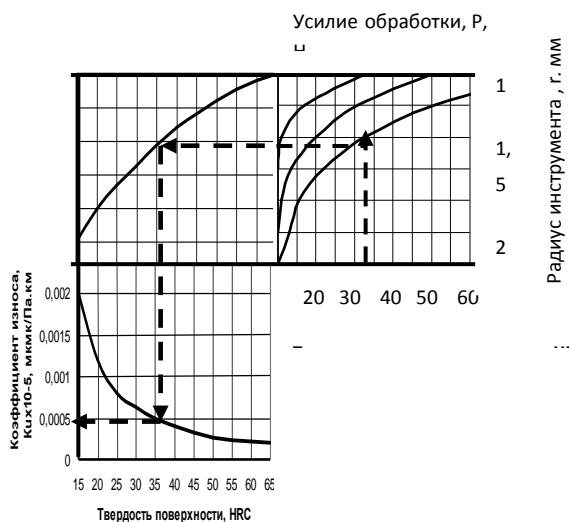


Рис. 7. Номограмма уточнения состояния поверхностного слоя к износу при алмазной обработке за счет повышения температуры и снижения твердости

Fig. 7. Nomogram of clarification of the state of superficial layer to the wear at diamond treatment due to the increase of temperature and decline of hardness

ВЫВОДЫ

1. В процессе обработки алмазным инструментом происходит не только укрепление поверхностного слоя, но и местный нагрев, который, при обработке закаленных сталей, произведет отпуск, снизив твердость поверхности детали

2. Снижение твердости поверхности приводит к росту коэффициента износа, что приводит к снижению износостойкости материала поверхности детали и ее работоспособности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смелянский В.М. 2002. Механика упрочнения деталей пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 300.
2. Резникова А.Н. 1977. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. М. Машиностроение, 391.
3. Папшев Д.Д. 1978. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 152.
4. Ковалев И.Т., Юдовинский В.Б. 1974. Коэффициент износа - показатель надежности деталей сопряжений //И.Т.Ковалев, В.Б. Юдовинский// «Надежность и качество», №2, 36-48.
5. Юдовинский В.Б., Журавель Д.П. 2012. Способ оценки триботехнических характеристик материалов через обобщенный показатель износа. Патент Украины. № 70695
6. Суслов А. Г. 1995. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 320.
7. Суслов Э.Д., Браун Н.А. Виткевич А.Г. 1995. Качество машин. Справочник в 2-х т.Т.1. М.: Машиностроение, 256.

8. Суслов Ю.В., Гуляев А.М., Дальский А.Г. 1995. Качество машин. Справочник в 2-х т.Т.2. М.: Машиностроение, 430.
9. Кроль О.С., Хмелевский Г.Л. 1991. Оптимизация и управление процессом резания. Учеб. Пособие. К.: УМК ВО, 140.
10. Дальский А.И., Суслова А.Г., Косилова Р.К. 2001. Справочник технологамашиностроителя. В 2-х т. Т. 2. М.: Машиностроение, 944.
11. Крагельский И.В. 1968. Трение и износ. М.: Машиностроение, 480.
12. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбаров В.С. 1977. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 256.
13. Михин Н.М. 1977. Внешнее трение твердых тел. М.: Машиностроение, 220.
14. Чистосердов П.С., 1975. Комбинированные инструменты для совмещения процессов резания и поверхностно-пластического деформирования. М.: НИИмаш, 45.
15. Чистосердов П.С., Жуковец Г.С. 1976. Комбинированные инструменты для обработки поверхностно-пластическим деформированием. М.: НИИФОРМ-ТЯЖМАШ, 59.
16. Чистосердов П.С., Жуковец Г.С. 1969. Новые конструкции инструментов для размерно-чистовой и упрочняющей обработки. Минск, «Беларусь», 300.
17. Хворостухин Л.А., Шишкин С.В, Ковалев И.П, Ишмаков Р.А. 1988. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением. М.: Машиностроение, 144.
18. Торбило В.М. 1972. Алмазное выглаживание. М.: Машиностроение, 105.
19. Клещев Г. 2012. Продление «жизненного цикла» штампового инструмента – основной критерий интегрированной сквозной системы автоматизации проектирования штампов. MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Vol. 14. No1. 167- 172.
20. Кольвашенко А. 2009. Исследование износа деталей шнеконапорного механизма пневмотранспор-тирующих машин. MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Vol. 11B. 98- 103.

CHANGE OF QUALITY OF SUPERFICIAL LAYER OF DETAIL AT DIAMOND PRESSING

Summary. In the article the questions of change of quality of superficial layer of detail are considered at the diamond pressing which takes place due to the temperature affecting superficial layers of material of detail at treatment.

A thermal stream, created a diamond instrument in the process of pressing, heats a detail to the high temperatures, that results in vacation of the thermally treated surfaces, reducing hardness of superficial layers. This influence is special observed at the small sizes of diamond instrument, which is characterized a radius at the top of instrument. So at the small radiuses of indentora and considerable efforts of pressing a maximal

temperature on-the-spot detail is very large and can arrive at 1000°S. Change hardness of superficial layers of detail in the process of the diamond pressing, causes the change of coefficient of wear of material which, being the function of hardness of material, with the increase of temperature influence, will grow. It is not recommended to produce treatment the diamond pressing at speeds higher 2,5 m/s. As an oiling – cooling liquid at pressing of black metals and alloys it is necessary to apply industrial butter 20, and at treatment of the coloured metals and alloys is kerosene. Therefore, the process of the diamond pressing requires the intensive cooling of instrument and detail. Even in hard-tempered and cemented stalyakh maximally possible hardness after treatment

it is possible to get no more 40hrc, that on the third reduces wearproofness of surface of detail, exposed to the diamond pressing. Managing the modes of treatment it is possible by the presented nomogram of clarification of the state of superficial layer to the wear and decline of hardness it is possible to control the size of coefficient of wear of material of detail on technological parameters: by effort of clamp of diamond instrument and radius at his top, which is description of its capacity.

Key words: diamond pressing, modes of treatment, diamond instrument, depth of naklepannogo layer, thermal stream, coefficient of wear of materials of details.

РАЗРАБОТКА ПЛАНЕТАРНЫХ ГИДРОМОТОРОВ ДЛЯ СИЛОВЫХ ГИДРОПРИВОДОВ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Анатолий Панченко, Анжела Волошина, Игорь Панченко
Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина. E-mail: tia_tgata@bk.ru

Anatoliy Panchenko, Angela Voloshina, Igor Panchenko
Taurian Tavria State Agrotechnological University
B.Khmelnytsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. E-mail: tia_tgata@bk.ru

Аннотация. Рассмотрены планетарные гидромоторы с различными выходными характеристиками, обусловленными конструктивными особенностями вытеснительного и распределительного блоков. Разработано семейство планетарных гидромоторов, состоящее из четырех унифицированных рядов серии ПРГ, представленное гидромоторами номинальной мощностью 33 кВт и рабочим объемом 800...1600 см³, мощностью 22 кВт и рабочим объемом 160...630 см³, мощностью 11кВт и рабочим объемом 50...200 см³, мощностью 8 кВт и рабочим объемом 32...125 см³. Разработаны планетарные гидромоторы малой мощности, представленные двумя унифицированными рядами ПРГ-2 и ПРГ-7 с номинальной мощностью 2 кВт, рабочим объемом 12,5...50 см³ и мощностью 7 кВт, рабочим объемом 50...400 см³, соответственно. Разработан унифицированный ряд гидровращателей ГВП-18, номинальной мощностью 18 кВт и рабочим объемом 2500...8000 см³, а также унифицированный ряд гидромоторов ГГ-11, номинальной мощностью 11 кВт и рабочим объемом 32...80 см³. В зависимости от конструктивных особенностей гидромоторов, обусловленных их выходными характеристиками, разработанные гидромоторы различаются способами компенсации планетарного движения вытеснителей и распределения рабочей жидкости. Рассмотренные планетарные и героторные гидромоторы предназначены для гидрофикации приводов активных рабочих органов сельскохозяйственной, строительной, дорожной и др. мобильной техники, и способны обеспечить частоту вращения рабочего органа в диапазоне 0,5...6000 об/мин, при изменения мощности от 2 кВт до 33 кВт.

Ключевые слова: планетарный гидромотор, героторный гидромотор, внешнее зубчатое зацепление, карданная передача, внешний компенсирующий механизм, торцевое распределение, цапфенное распределение, непосредственное распределение, героторное распределение, рабочая жидкость.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Возрастающие масштабы производства мобильной техники делают особенно актуальным вопрос, гидрофикации приводов ее активных рабочих органов [1, 2] и как следствие, расширение номенклатуры высокомоментных низкооборотных гидро-

моторов.

Самыми распространенными гидромоторами, применяемыми в силовых гидроприводах мобильной техники, являются планетарные [1-10]. Эти гидромоторы допускают форсирование по давлению, устойчиво работают в большом диапазоне изменения частот вращения, имеют высокий КПД и большие моменты страгивания. Преимуществом этих гидромоторов является возможность установки непосредственно в приводной механизм транспортеров, лебедок, битеров, мотор-колес и т.д.

Поэтому, разработка планетарных гидромоторов с различными выходными характеристиками, обусловленными конструктивным исполнением вытеснительного блока, с циклоидальным профилем вытеснителей; механизмом, компенсирующим планетарное движение вытеснителей; распределительной системы, создающей вращающее гидравлическое поле, является одной из актуальных задач развития мобильной техники.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализируя технические требования к активным рабочим органам с низкой частотой вращения и высоким крутящим моментом можно выявить потребность в гидрофикации следующих их групп [1, 2]: бурильная техника (буры); лесозаготовительная техника (харвестерные и другие головки); коммунальная техника (транспортеры, разбрасывающие диски); и как самый крупный потребитель гидрооборудования – сельскохозяйственная техника: машины для внесения минеральных и органических удобрений (разбрасывающие диски, транспортеры); зерно-, кукурузо-, свекло- и картофелеуборочные комбайны (наклонная камера, соломотряс, транспортеры, битеры, копачи, элеваторы, шнеки); машины для химической защиты (транспортеры, мешалки); плодо- и ягодоуборочные машины (транспортеры, вибраторы, вентиляторы).

Анализ гидравлических схем мобильной техники показал [1], что в состав гидроагрегата привода активных рабочих органов мобильной техники, как правило, входят: приводной двигатель, нерегулируемый шестеренный насос, предохранительный клапан непрямого действия и высокомоментный низкооборотный гидромотор роторного типа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

К основным требованиям, которые предъявляются к гидравлическим машинам, которые применяются в гидроагрегатах мобильных машин относятся [4,5]: обеспечение необходимой производительности, мощности или крутящего момента при заданном давлении и максимальном КПД, минимальные габаритные размеры и вес, минимальная сложность и трудоемкость изготовления, надежность работы и большой ресурс, легкость монтажа, простота эксплуатации. Более всего перечисленным требованиям удовлетворяют роторные гидравлические машины, имеющие различные: формы контура рабочей полости: эпитрохоиду (эпициклоиду), гипотрохоиду (гипоциклоиду), шестерню с внутренним зубом различного профиля; конфигурации зубьев вытеснителей (ротора или статора): элементы эпитрохоиды (эпициклоиды), элементы гипотрохоиды (гипоциклоиды), логарифмическую кривую, круговой профиль; виды движения основных рабочих органов: планетарное движение внутреннего ротора, планетарное движение внешнего ротора, вращение внутреннего и внешнего вытеснителей вокруг своих центров; виды кинематической связи ротора с выходным валом: непосредственная жесткая связь, при помощи эксцентрика, зубчатого зацепления или шарнирного и шлицевого соединения; способы синхронизации движения ротора: без силового контакта роторов или ротора с поверхностью рабочей полости статора, посредством взаимодействия роторов или ротора со статором; способы распределения рабочей жидкости: торцевое распределение путем вращающегося или неподвижного торцевого распределителя, внутреннее распределение через отверстия и каналы внутреннего ротора, внешнее распределение через отверстия и каналы в теле статора или внешнего ротора, распределение при помощи цапфенного распределителя, комбинированное распределение; по реверсивности: реверсивные и нереверсивные; по регулируемости: регулируемые и нерегулируемые; по величине крутящего момента и скорости вращения выходного вала: высокомоментные низкооборотные и низкомоментные высокооборотные.

На сегодняшний день наиболее широкое применение в гидроприводах вращательного действия мобильной техники получили аксиально-поршневые, шестеренные и сравнительно новые планетарные и героторные гидромашин [2-5].

Анализ конструктивных особенностей роторных гидромашин показал [1-10], что несмотря на разнообразие гидромашин, используемых в приводах активных рабочих органов мобильной техники только планетарные гидромашин допускают формирование по давлению, они, в зависимости от кинематической схемы работы вытеснителей могут быть быстро- или тихоходными и могут работать с высоким КПД во всем диапазоне регулирования.

Поэтому при рассмотрении различных типов гидромашин, обуславливающих технический уровень современного силового гидропривода мобильной техники, наибольшего внимания заслуживают гидравлические машины планетарного типа.

Разработка планетарных гидромоторов с различными выходными характеристиками, обусловленными конструктивным исполнением вытеснительного блока, с циклоидальным профилем вытеснителей; механизмом, компенсирующим планетарное движение вытеснителей; распределительной системы, создающей вращающее гидравлическое поле, является одной из актуальных задач развития силового гидропривода мобильной техники.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для решения поставленной задачи, связанной с гидрофикацией приводов мобильной техники, лабораторией «Гидравлические машины и гидропривод сельскохозяйственной техники» кафедры «Мобильные энергетические средства» Таврического государственного агротехнологического университета разработано ряд гидромашин с планетарным и героторным движениями вытеснителей [8,10,11-16].

Планетарное движение вытеснителей гидромашин характеризуется вращением подвижного вытеснителя 3 (рис. 1) внутри неподвижного вытеснителя 1 со вставными зубьями 2 (роликками).

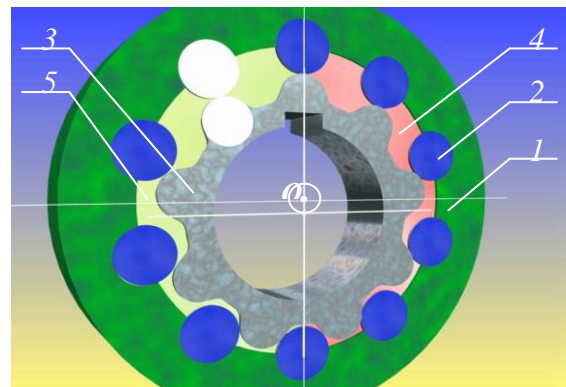


Рис. 1. Планетарное движение вытеснителей: 1 – охватывающий вытеснитель; 2 – зубья (роликки); 3 – охватываемый вытеснитель; 4 – зона нагнетания; 5 – зона слива

Fig. 1. Displacers planetary movement: 1 – external displacer; 2 – teeth (rollers); 3 – internal displacer; 4 – pumping zone; 5 – drain zone

Движение вытеснителя 3 происходит под действием вращающегося гидравлического поля характеризующегося зоной нагнетания 4 и зоной слива 5, которые расположены симметрично. Подвижный вытеснитель 3 вращается в сторону противоположную движению гидравлического поля, при этом центр подвижного вытеснителя 3 движется по окружности относительно неподвижного центра O вытеснителя 1.

Гидромашин с таким движением вытеснителей называют – планетарные (орбитальные). За один оборот гидравлического поля подвижный вытеснитель 3 поворачивается на один зуб, следовательно, полный оборот вал гидромотора (вытеснитель) совершит за количество оборотов гидравлического поля равное числу зубьев этого вытеснителя. По-

этому планетарные гидромашины обладают большим рабочим объемом, а значит, имеют низкую частоту вращения и высокий крутящий момент, а следовательно, используются в качестве гидромоторов.

Планетарное движение вытеснителей используется в гидромоторах с частотой вращения выходного вала:

- 0,5...60 об/мин – низкооборотных;
- 40...600 об/мин – среднеоборотных;
- 500...2500 об/мин – высокооборотных.

Разработано семейство планетарных гидромоторов (рис. 2), состоящее из четырех унифицированных рядов серии ПРГ, представленное гидромоторами номинальной мощностью 33 кВт и рабочим объемом 800...1600 см³ (рис. 2, а), мощностью 22 кВт и с рабочим объемом 160...630 см³ (рис. 2, б), мощностью 11кВт и рабочим объемом 50...200 см³ (рис. 2, в) и мощностью 8 кВт и рабочим объемом 32...125 см³ (рис. 2, г) [17-21].

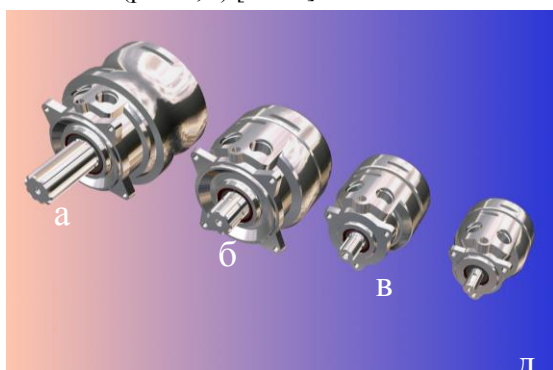


Рис. 2. Семейство унифицированных рядов планетарных гидромоторов серии ПРГ: а – ПРГ-33, б – ПРГ-22, в – ПРГ-11, д – ПРГ-8

Fig. 2. Unified ranges of planetary hydraulic motors series PRG: а – PRG-33, б – PRG-22, в – PRG-11, д – PRG-8

Принцип работы этих гидромашин основан на принципе работы планетарного редуктора (рис. 3).

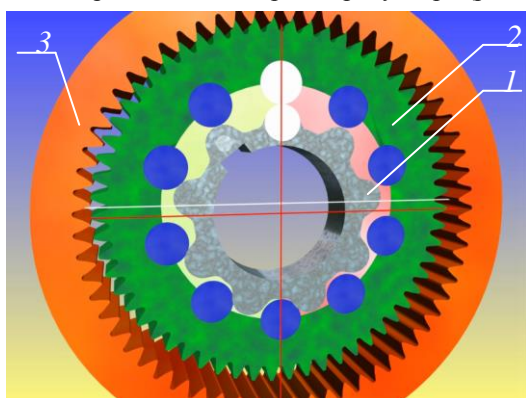


Рис. 3. Схема движения вытеснителей в планетарных гидромоторах семейства унифицированных рядов ПРГ-33, ПРГ-22, ПРГ-11, и ПРГ-8: 1 – охватываемый вытеснитель (солнечная шестерня); 2 – охватывающий вытеснитель (сателлит); 3 – корпус (коронная шестерня)

Fig. 3. The diagram of the displacers movement in the planetary hydraulic motors from series of the PRG-33, PRG-22, PRG-11, PRG-8 unified ranges: 1 – internal displacer (planetary pinion); 2 – external displacer (planetary pinion); 3 – case (crown gear)

Роль солнечной шестерни (рис. 3) выполняет подвижный охватываемый вытеснитель 1. Он вращается концентрично корпусу 3, который выполняет роль коронной шестерни.

Роль сателлита, в данном гидромоторе, выполняет охватывающий вытеснитель 2, который контактирует своими внутренними зубьями с солнечной шестерней 1, образуя гипоциклоидальное зацепление, а внешней зубчатой поверхностью связан с корпусом 3 (коронной шестерней), тем самым компенсируя свое планетарное движение. Водилом, во всех гидромашинах планетарного типа, является рабочая жидкость, сформированная распределительной системой во вращающееся гидравлическое поле.

В планетарных гидромоторах семейства унифицированных рядов (рис. 2), для формирования гидравлического поля, используется торцевая распределительная система (рис. 4), образованная прилегающими поверхностями подвижного распределителя 2 и неподвижного золотника 1, на которых выполнены распределительные окна.

При работе планетарного гидромотора (рис. 4), к неподвижно установленному в крышке (на схеме не показана) золотнику 1 подводится под давлением рабочая жидкость, которая через распределительные ок на 3 попадает в зону нагнетания 5 вращающегося распределителя 2 (на схеме показан прозрачным), где формируется вращающееся гидравлическое поле подводимое к рабочим камерам образованным зубчатыми поверхностями охватывающего 7 и охватываемого 8 вытеснителей. Жидкость, совершившая полезную работу, отводится из рабочих камер через зону слива 6 к одному из кольцевых каналов 4.

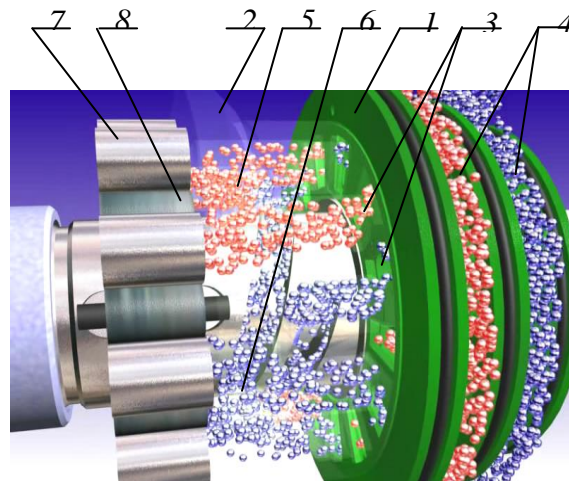


Рис. 4. Принцип работы торцевого распределения рабочей жидкости: 1 – золотник; 2 – распределитель; 3 – распределительные окна; 4 – кольцевые каналы; 5 – зона нагнетания; 6 – зона слива; 7 – охватывающий вытеснитель; 8 – охватываемый вытеснитель

Fig. 4. Principle of operation of the working fluid end distribution: 1 – slide; 2 – distributor; 3 – distributive ports; 4 – ring channels; 5 – pumping zone; 6 – drain zone; 7 – external displacer; 8 – internal displacer.

Для создания планетарных гидромоторов малой мощности [8,9,11] (меньше 8 кВт) был использован принцип компенсации планетарного движения вытеснителя с помощью карданной передачи. Компенсирование планетарного движения вытеснителей с помощью карданной передачи применяется в среднеоборотных и высокооборотных гидромоторах.

Разработанные планетарные гидромоторы рассматриваемого типа (рис. 5) представлены двумя унифицированными рядами ПРГ-2 и ПРГ-7, представленное гидромоторами номинальной мощностью 2 кВт и рабочим объемом 12,5...50 см³ (рис. 5, а) и мощностью 7 кВт и с рабочим объемом 50...400 см³ (рис. 5, б), соответственно.

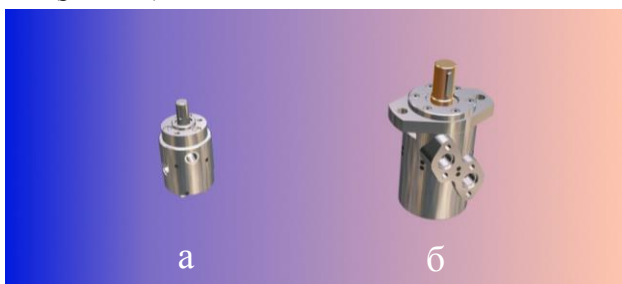


Рис. 5. Планетарные гидромоторы с карданной передачей серии ПРГ: а - ПРГ-2, б - ПРГ-7

Fig. 5. Planetary hydraulic motors with the cardan drive series PRG: а - PRG -2, б - PRG -7

Внутри неподвижного вытеснителя 1 (рис. 6) со вставленными роликами 2 (зубьями), вращается внутренний вытеснитель 3, причем его центр движется по окружности вокруг центра вытеснителя 1, совершая планетарное движение, которое компенсируется в концентрическое вращение вала гидромотора 4 с помощью карданной передачи. Карданная передача состоит из кардана 5 находящегося внутри полого вала 4, который с помощью муфт 6 соединяет вал 4 с подвижным вытеснителем 3.

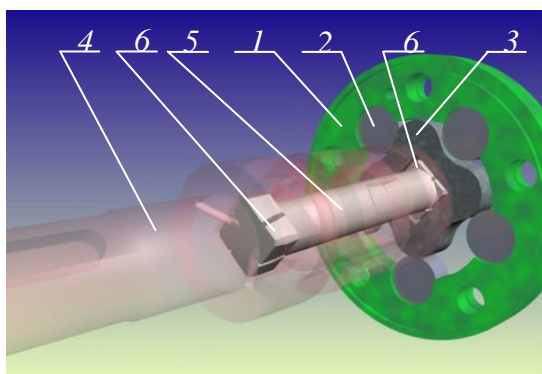


Рис. 6. Компенсирование планетарного движения вытеснителей с помощью карданной передачи: 1 – охватывающий вытеснитель; 2 – ролики; 3 – охватываемый вытеснитель; 4 – вал гидромотора; 5 – кардан; 6 – муфты карданной передачи

Fig. 6. Compensation of the displacers planetary movement by means of cardan drive: 1 – external displacer; 2 – roller; 3 – internal displacer; 4 – hydromotor shaft; 5 – cardan; 6 – cardan drive .

Для формирования гидравлического поля рабочей жидкости, выполняющего роль водителя, в данных гидромоторах используется распределенная система цапфенного типа (рис. 7) представляющая собой вал 6, с выполненными на нем проточками с пазами для подвода 4 и отвода 5 рабочей жидкости, выполняющими роль золотника. Вал 6 гидромотора установлен в корпусе 1, с выполненными в нем радиальными 7 и торцевыми 8 отверстиями, выполняющими роль распределителя.

В корпусе 1 (рис. 7) гидромотора имеется входное отверстие 2, для подвода рабочей жидкости и выходное отверстие 3 для слива рабочей жидкости. Жидкость через отверстия 2, под давление поступает в проточки и пазы нагнетания 4, выполненные на валу 6. Вращающееся гидравлическое поле, в рассматриваемой распределительной системе, формируется пазами нагнетания 4 и радиальными отверстиями 7 и через торцевые отверстия 8 подается в рабочие камеры 9. Отработанная жидкость отводится из рабочих камер через пазы слива 5, систему радиальных 7 и торцевых 8 отверстий к выходному отверстию 3.

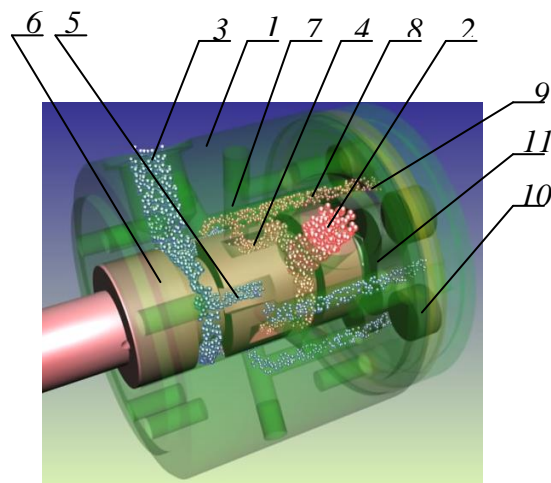


Рис. 7. Принцип работы цапфенной распределительной системы: 1 – корпус; 2 – входное отверстие; 3 – выходное отверстие; 4 – пазы нагнетания; 5 – пазы слива; 6 – вал; 7 – радиальные отверстия; 8 – торцевые отверстия; 9 – рабочие камеры; 10 – охватывающий вытеснитель; 11 – охватываемый вытеснитель

Fig. 7. Principle of journal distribution system operation: 1 – case; 2 – inlet; 3 – outlet; 4 – pumping slots; 5 – drain slots; 6 – shaft; 7 – radial ports; 8 – end ports; 9 – working chambers; 10 – external displacer; 11 – internal displacer.

Для приводов активных рабочих органов мобильной сельскохозяйственной техники нужны гидромоторы с очень большими (более 5000 Н·м) крутящими моментами и низкими (от 0,5 об/мин) частотами вращения. Таким требованиям удовлетворяют специальные гидравлические машины – планетарные гидровращатели [8, 9, 13-16, 22, 23].

Разработанные машины рассматриваемого типа (рис. 8) представлены унифицированным рядом гидровращателей ГВП-18, номинальной мощностью 18 кВт и рабочим объемом 2500...8000 см³.

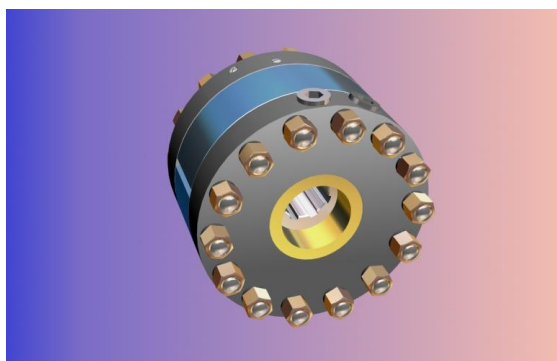


Рис. 8. Гидровращатель планетарного типа ГВП-18

Fig. 8. GVP-18 hydraulic rotator of planetary type

Разработанные гидровращатели серии ГВП-18, представляют собой гидромашины с внешним компенсирующим механизмом планетарного движения вытеснителей (рис. 9).

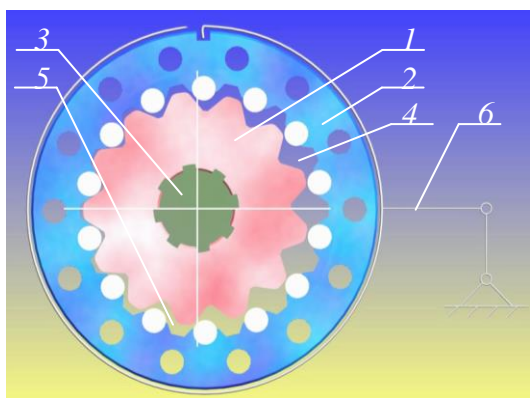


Рис. 9. Компенсирование планетарного движения вытеснителей с помощью внешнего компенсирующего механизма: 1 – охватываемый вытеснитель; 2 – охватывающий вытеснитель; 3 – вал приводного устройства; 4 – зона нагнетания; 5 – зона слива; 6 – двухзвенный рычаг

Fig. 9. Compensation of the displacers planetary movement by means of the outer compensative mechanism: 1 – internal displacer; 2 – internal displacer; 3 – driving shaft; 4 – pumping zone; 5 – drain zone; 6 – two-element lever

Внутри охватывающего вытеснителя 2 катится охватываемый вытеснитель 1, под действием гидравлического поля выполняющего роль водила, как во всех гидромашинах планетарного типа. Подвижный вытеснитель 1 соединен с валом 3 активного рабочего органа мобильной машины при помощи шлицевого соединения и является неподвижным относительно оси вращения вала рабочего органа, а колебательные плоскопараллельные движения совершает охватывающий вытеснитель 2, которые компенсируются с помощью двухзвенного рычага 6.

Для гидромоторов с внешним компенсирующим механизмом используется непосредственное распределение рабочей жидкости (рис. 10). Рабочая жидкость под давлением подается во входное отверстие 5, а сливается через выходное отверстие 6.

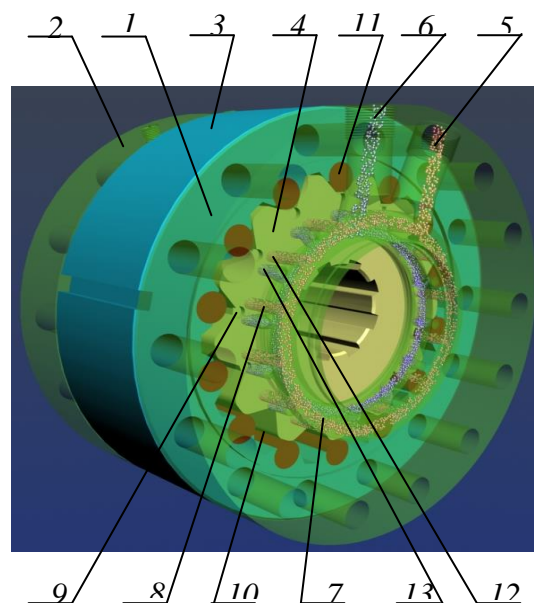


Рис. 10. Принцип работы непосредственной распределительной системы: 1 – правая крышка; 2 – левая крышка; 3 – направляющая; 4 – шестерня; 5 – входное отверстие; 6 – выходное отверстие; 7 – кольцевой канал; 8 – аксиальные отверстия; 9 – распределительные окна; 10 – рабочие камеры; 11 – ролики; 12 – окна нагнетания; 13 – окна слива

Fig. 10. Principle of the direct distributive system operation: 1 – right cover; 2 – left cover; 3 – guide casing; 4 – gear; 5 – inlet; 6 – outlet; 7 – ring channel; 8 – axial ports; 9 – distributing ports; 10 – working chambers; 11 – rollers; 12 – pumping ports; 13 – drain ports

Из входного отверстия рабочая жидкость под давлением поступает в кольцевой канал 7, выполненный в правой крышке 1, и от него одновременно – в аксиальные отверстия 8, откуда через перепускной канал в направляющей 3, поступает в аксиальные отверстия, выполненные в левой крышке 2. Далее жидкость через отверстия 9, выполненные на торцевых поверхностях шестерни 4, поступает в рабочие камеры 10, которые образованы внутренней поверхностью направляющей 3 (охватывающего вытеснителя) с роликами 11 и внешней поверхностью шестерни 4 (охватываемого вытеснителя).

Под действием давления жидкости направляющая 3 начинает обкатываться по шестерне 4, одновременно сообщая ей вращательное движение. Характерное (плоскопараллельное с вращением) движение шестерни 4 относительно торцевых поверхностей золотникового устройства обуславливает перемещение отверстий 9, выполненных на торцевых поверхностях шестерни 4 (распределительное устройство) по торцевой поверхности крышек 1 и 2, в которых выполнены отверстия нагнетания 12 и слива 13 золотникового устройства. Все это и представляет собой непосредственное распределение.

При проектировании высоко- и сверхвысокооборотных гидромоторов используют героторное движение вытеснителей [8, 9, 12].

Героторное движение вытеснителей гидромашин (рис. 11) характеризуется одновременным вращением подвижного вытеснителя 1 и подвижного вытеснителя 3 расположенного внутри вытеснителя 1, при этом каждый из вытеснителей вращается вокруг своего неподвижного центра – O_1 и O_2 , соответственно. Гидромашины с таким движением вытеснителя называют героторными.

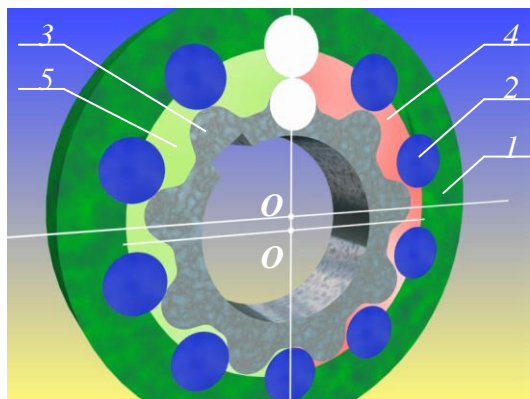


Рис. 11. Героторное движение вытеснителей:

1 – охватывающий вытеснитель; 2 – зубья (ролики); 3 – охватываемый вытеснитель; 4 – зона нагнетания; 5 – зона слива

Fig. 11. Gerotor movement of displacers: 1 – external displacer; 2 – teeth (rollers); 3 – internal displacer; 4 – pumping zone; 5 – drain zone

У гидромашин данного типа гидравлическое поле, представленное зоной нагнетания 4 и зоной слива 5, неподвижно и расположено симметрично линии центров $O_1 O_2$. Вытеснитель 3 (вал гидромашины) поворачивается на один оборот, смещаясь при этом на один зуб относительно вытеснителя 1. Героторные гидромашины обладают небольшим рабочим объемом, а значит, имеют высокую частоту вращения и низкий крутящий момент, а следовательно, используются в качестве насосов и высокооборотных гидромоторов.

Разработанные гидромашины данного типа (рис. 12) представлены унифицированным рядом гидромоторов ГГ-11, номинальной мощностью 11 кВт и рабочим объемом 32...80 см³.

Компенсирование героторного движения вытеснителей (роторов) осуществляется путем их фиксированного смещения (рис. 13). Подвижный (охватывающий) вытеснитель 1, со вставными зубьями 2 (роликами), эксцентрично установлен в корпусе 4. Внутри подвижного вытеснителя 1 размещен внутренний вытеснитель 3. Центр вытеснителя 3 расположен соосно с центром корпуса 4, а центр охватывающего вытеснителя 2 смещен на величину межцентрового расстояния (эксцентриситета) зубчатой пары. Такое расположение вытеснителей позволяет им одновременно вращаться каждому вокруг своего центра, при этом гидравлическое поле остается неподвижным.



Рис. 12. Гидромотор героторный ГГ-11

Fig. 12. GG-11 Gerotor hydraulic motor

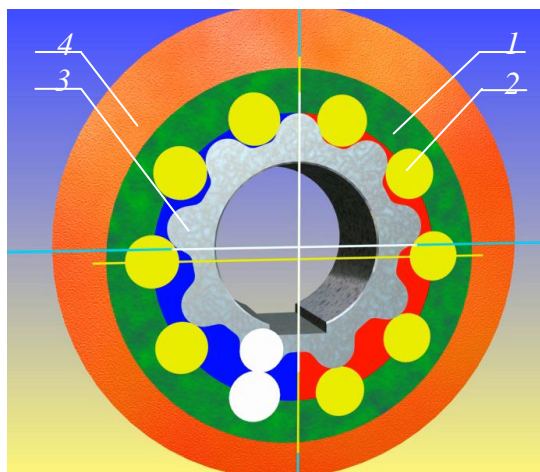


Рис. 13. Компенсирование героторного движения вытеснителей путем их фиксированного смещения:

1 – охватывающий вытеснитель; 2 – ролики; 3 – охватываемый вытеснитель; 4 – корпус

Fig. 13. Compensation of the displacers gerotor movement by means of their fixed shift: 1 – external displacer; 2 – rollers; 3 – internal displacer; 4 – case

Распределение рабочей жидкости в героторных гидромашинах осуществляется по аналогии обычных шестеренных гидромашин с внутренним зацеплением. Рабочая жидкость (рис. 14) под давлением подается во входное отверстие 5, откуда поступает в серповидное окно 6, выполненное в крышке 1, а затем в рабочие камеры 9, образованные охватывающим 2 и охватываемым 4 вытеснителями.

В режиме гидромотора, поступающая жидкость разжимает вытеснители 2 и 4, заставляя их вращаться. Гидравлическое поле (зона нагнетания 7 и зона слива 8) в данном случае неподвижно. На слив рабочая жидкость поступает аналогично в обратной последовательности.

Рассмотренные планетарные гидромашины: семейство унифицированных рядов планетарных гидромоторов с мощностью от 8 кВт до 33 кВт, гидромашины малой мощности от 2 до 7 кВт, гидровращатели с низкими частотами вращения мощностью 18кВт и героторные гидромашины с высокими частотами вращения мощностью 11 кВт предназначены для гидрофикации приводов активных рабочих органов сельскохозяйственной, строительной, дорожной и др. мобильной техники, и способны обеспечить частоту вращения рабочего органа в диапазоне 0,5–6000 об/мин, при изменении мощности от 2 кВт до 33 кВт.

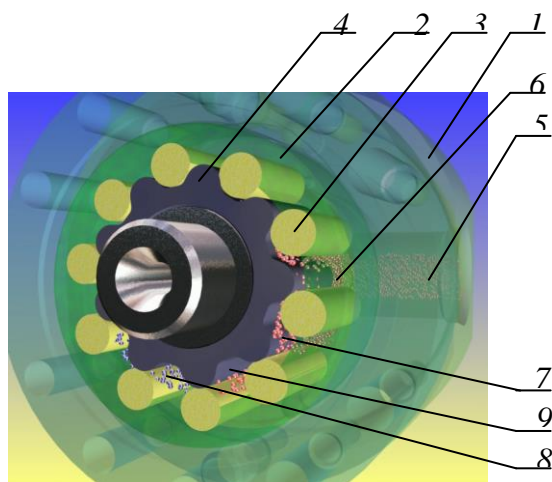


Рис. 14. Принцип распределения рабочей жидкости в героторных гидромашинах: 1 – крышка; 2 – охватывающий вытеснитель; 3 – ролики; 4 – охватываемый вытеснитель; 5 – входное отверстие; 6 – серповидное окно нагнетания; 7 – зона нагнетания; 8 – зона слива; 9 – рабочие камеры

Fig. 14. Principle of the working fluid distribution in gerotor hydraulic machines: 1 – cover; 2 – external displacer; 3 – roller; 4 – internal displacer; 5 – inlet; 6 – crescent-shaped pumping port; 7 – pumping zone; 8 – drain zone; 9 – working chambers

В результате проведенных исследований, разработаны планетарные и героторные гидромоторы с различными выходными характеристиками, обусловленными конструктивным исполнением вытеснительного блока; механизмом, компенсирующим планетарное движение вытеснителей; распределительной системы, создающей вращающее гидравлическое поле. Разработанные планетарные и героторные гидромоторы предназначены для гидрофикации приводов активных рабочих органов сельскохозяйственной, строительной, дорожной и др. мобильной техники, и способны обеспечить частоту вращения рабочего органа в диапазоне 0,5...6000 об/мин, при изменении мощности от 2 кВт до 33 кВт.

ВЫВОДЫ

В зависимости от конструктивного исполнения вытеснительного блока, с циклоидальным профилем вытеснителей; механизма, компенсирующего планетарное движение вытеснителей; распределительной системы, создающей вращающее гидравлическое поле разработаны:

1. Семейство планетарных гидромоторов, состоящее из четырех унифицированных рядов серии ПРГ, представленное гидромоторами номинальной мощностью 33 кВт и рабочим объемом 800...1600 см³, мощностью 22 кВт и рабочим объемом 160...630 см³, мощностью 11 кВт и рабочим объемом 50...200 см³, мощностью 8 кВт и рабочим объемом 32...125 см³,

2. Семейство планетарных гидромоторов малой мощности, состоящее из двух унифицированных рядов серии ПРГ, представленное гидромоторами номинальной мощностью 2 кВт и рабочим

объемом 12,5...50 см³, мощностью 7 кВт и с рабочим объемом 50...400 см³.

3. Унифицированный ряд гидровращателей ГВП-18, номинальной мощностью 18 кВт и рабочим объемом 2500...8000 см³ для приводов активных рабочих органов мобильной техники с очень большими (более 5000 Н·м) крутящими моментами и низкими (от 0,5 об/мин) частотами вращения.

4. Унифицированный ряд героторных гидромоторов ГГ-11, номинальной мощностью 11 кВт и рабочим объемом 32...80 см³ с очень большими частотами вращения.

Разработанные планетарные и героторные гидромоторы предназначены для гидрофикации приводов активных рабочих органов сельскохозяйственной, строительной, дорожной и др. мобильной техники, и способны обеспечить частоту вращения рабочего органа в диапазоне 0,5...6000 об/мин, при изменении мощности от 2 кВт до 33 кВт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Панченко А.И., Волошина А.А., Обернин Ю.П. 2013.** Основные направления гидрофикации мобильной техники. Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь: ТГАТУ. вып.13, т.6, 3–19.
2. **Волошина А.А. 2013.** Конструктивные особенности гидромашин планетарного типа, применяемых в гидроагрегатах мобильной техники. Научный вестник Таврического государственного агротехнологического университета [Электронный ресурс], Мелитополь: ТГАТУ, вып.3, т.1, 65–86.
3. **Башта Т.М. 1971.** Машиностроительная гидравлика. М.: Машиностроение, 672.
4. **Бирюков В.Н. 1977.** Роторно-поршневые гидравлические машины, М.: Машиностроение, 152.
5. **Ерасов Ф.Н. 1969.** Новые планетарные машины гидравлического привода. Киев, УкрНИИТИ, 55.
6. **Панченко А.И., Волошина А.А., Золотарев А.Ю., Титов Д.С. 2003.** Перспективы гидрофикации мобильной сельскохозяйственной техники. Промышленная гидравлика и пневматика, №1, 71–74 (Украина).
7. **Панченко А.И. 2006.** Гидромашины для привода активных рабочих органов и ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники. Техника АПК, №3, 11–13 (Украина).
8. **Панченко А.И., Волошина А.А. 2010.** Конструктивные особенности и принцип работы гидромашин с циклоидальной формой вытеснителей. Промышленная гидравлика и пневматика, №3(29), 57–69.
9. **Волошина А.А. 2011.** Классификация планетарных гидромашин, применяемых в силовых гидроприводах мобильной техники. Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь: ТГАТУ, вып. 11, т.1, 67–85.

10. **Панченко А.И., Волошина А.А. 2012.** Гидромашины с циклоидальной формой вытеснителей, применяемые в силовых гидроприводах мобильной техники. Интердрайв – 2012, Москва, 179–194.
11. **Панченко А.И., Волошина А.А., Зуев А.А., Кувачов В.П. 2012.** Обоснование путей улучшения выходных характеристик планетарных гидромашин малой мощности. Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь: ТГАТУ, вып.12, т.3, 33–41.
12. **Волошина А.А. 2012.** Конструктивные особенности и принцип работы героторных гидромашин. Научный вестник Таврического государственного агротехнологического университета [Электронный ресурс], Мелитополь: ТГАТУ, вып.2, т.5, 220–226.
13. **Волошина А.А. 2012.** Влияние конструктивных особенностей распределительных систем на выходные характеристики планетарных гидромашин. Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь: ТГАТУ, вып.12, т.5, 3–9.
14. **Панченко А.И., Волошина А.А., Панченко И.А. 2014.** Методика проектирования элементов вытеснительных систем гидровращателей планетарного типа. Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Х.: НТУ «ХПИ», № 1 (1044), 136–145.
15. **Панченко А.И., Волошина А.А., Панченко И.А. 2014.** Методологические основы проектирования гидравлических вращателей планетарного типа. MOTROL, Vol. 16, No 3, 179–186.
16. **Панченко А.И., Волошина А.А., Засядько А.И. 2014.** Математическая модель высокомоментного гидромотора с упругоинерционной нагрузкой. MOTROL, Vol. 16, No 5, 293–298.
17. **Панченко А.И., Волошина А.А., Панченко И.А. 2014.** Разработка стенда для испытаний унифицированного ряда гидравлических вращателей планетарного типа. Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь: ТГАТУ, вып. 14, т.4, 39–50.
18. **Панченко А.И., Кюрчев В.Н., Кюрчев С.В., Титов Д.С., Крутиков А.С. 2001.** Гидравлическая машина с циклоидальным внутренним зацеплением. Декларационный патент 37457А, F04C1/08, бюл. №4 (Украина).
19. **Панченко А.И., Кюрчев В.М., Ищенко О.А., Милаева И.И., Золоторев А.Ю. 2001.** Планетарно-ротаторный гидромотор. Декларационный патент 37477А, F04C2/08, бюл. № 4 (Украина).
20. **Панченко А.И., Кюрчев В.Н., Волошина А.А., Обернихин П.В., Бондарь А.Н. 2001.** Планетарно-ротаторный гидромотор. Декларационный патент 37478А, F04C2/08. бюл. № 4 (Украина).
21. **Панченко А.И., Волошина А.А., Панченко И.А., Засядько А.И., Обернихин Ю.П., Гуйва С.Д. 2014.** Планетарно-ротаторный гидромотор. Патент на полезную модель 94047, МПК F04C2/08, бюл. № 20 (Украина).
22. **Андренко П., Свиаренко М. 2009.** Математическая модель гидравлического гасителя пульсаций давления с автоматической подстройкой параметров. MOTROL, №11В, 42–49.
23. **Лурье З., Федоренко И. 2011.** Аппаратно-программный комплекс для определения моментов инерции элементов и в целом мехатронного гидроагрегата системы смазки. MOTROL, №13С, 106–115.

DEVELOPMENT OF PLANETARY HYDRAULIC VOTORS FOR THE POWER HYDRAULIC DRIVES OF MOBILE MACHINERY

Summary. The authors consider the planetary hydraulic motors with different output characteristics which are conditioned by design features of displacing and distributive units. The article includes results of the development of the planetary hydraulic motors series which consists of four unified PRG ranges. The series is represented by hydraulic motors with rated power of 33 kW and working volume of 800...1600 cm³, rated power of 11 kW and working volume of 50...200 cm³, rated power of 8 kW and working volume of 32...125 cm³. Low power planetary hydraulic motors have been developed. They include two unified PRG-2 and PRG-7 ranges with rated power of 2 kW and working volume of 12.5...50 cm³ and rated power of 7 kW and working volume of 40...400 cm³, respectively. The unified range of GPV-18 hydraulic rotators with rated power of 18 kW and working volume of 2500...8000 cm³ and unified range of GG-11 hydraulic motors with rated power of 11 kW and working volume of 32...80 cm³ have been developed. Considered planetary and gerotor hydraulic motors are designed to be used for the active working tools drive in farm, building, road and other mobile machinery. They are able to provide the working tool rotary speed from 0.5 to 6000 revolutions per minute under power change from 2 to 33 kW. According to the specific hydraulic motors design which is conditioned by their output characteristics developed motors differ in the methods of planetary movement of displacers compensation and working fluid distribution.

Key words: planetary hydraulic motor, gerotor hydraulic motor, outer gearing, cardan drive, outer compensative mechanism, end distribution, journal distribution, direct distribution, gerotor distribution, working fluid.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ

Денис Демьяненко

*Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, 72310, Украина E-mail: q3uriel@ya.ru*

Denis Demyanenko

*Tavria State Agrotechnological University
B. Khmel'nitsky Avenue, 18, Melitopol, 72310, Ukraine. E-mail: q3uriel@ya.ru*

Аннотация. В данной статье рассмотрен характер влияния влаготепловой обработки (процесс микронизации) на физико-механические свойства зерновых кормов, таких как соя, ячмень и рожь. Экспериментально установлена средняя площадь поверхности единичной частички для каждого вида зернового материала. Получены зависимости изменения массы, коэффициента внешнего трения и влажности от температуры и времени обработки. Рассчитано соотношение площади тепловой обработки и влаги в зерне, что подтверждают полученные в ходе лабораторных исследований зависимости, а именно то, что наиболее интенсивное испарение влаги проходит в том виде зерна, где соотношение площади тепловой обработки и влаги в зерне наибольшее. Для обоснования оптимальных параметров процесса влажно-тепловой обработки зерновых кормов путем математического моделирования однослойной дозированной подачи зернового материала по плоскости обработки используется метод дискретного элемента, для чего, в свою очередь, были получены зависимости не только для навесок зерна, но и для отдельных частичек каждого из исследуемых материалов. Также были определены значения угла естественного откоса для исследуемых типов зерна и коэффициент внутреннего трения. Предоставлено теоретическое обоснование для результатов, полученных в ходе исследований. В завершении статьи сделаны выводы по научной работе. Также определены дальнейшие пути проведения научных исследований, в частности, полученные путем лабораторных исследований зависимости физико-механических свойств зерновых материалов от температуры и времени обработки позволяют провести расчеты математической модели однослойного перемещения зернового материала по наклонной круговой вибрационной поверхности.

Ключевые слова: физико-механические свойства, коэффициент трения, влажность, зерновые корма, тепловая обработка, инфракрасное излучение, микронизация.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Перспективным способом подготовки зерновых кормов к скармливанию является влаготепловая обработка, где микронизация занимает особое место.

В процессе тепловой обработки зерна изменяются физико-механические свойства материала, что существенно влияет на параметры его взаимодействия с рабочим органом и, в целом, – на равномерное однослойное распределение перемещаемого с перекачиванием зерна на плоскости обработки, что является важным фактором качества теплового процесса. Изменения физико-механических свойств зерновых материалов в процессе тепловой обработки требуют соответствующих изменений параметров рабочих органов механизма его однослойной дозированной подачи [1–4].

Для определения закономерностей изменений параметров оборудования (частота и амплитуда вибрации, а также динамический угол наклона рабочей поверхности), необходимо установить зависимости физико-механических свойств зерновых материалов (масса, коэффициент внутреннего и внешнего трения, влажность, угол естественного откоса) от температуры и времени обработки. Без этих данных невозможно построить математическую модель процесса качественной подачи зерна и оптимальных параметров тепловой обработки [5, 6].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ предыдущих исследований показывает, что существуют литературные источники, где приведены исследования физико-механических свойств зерна, но результатов исследований, которые показали бы зависимости одновременного изменения массы, коэффициентов трения и влажности от температуры и времени обработки, нами не обнаружено [7, 8].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является выявление зависимостей коэффициентов трения, массы, влажности от температуры и времени обработки зернового материала. Это позволит в дальнейшем обосновать оптимальные параметры процесса влаготепловой обработки зерновых кормов путем математического моделирования однослойного перемещения зернового материала по поверхности обработки горизонтальными колебаниями.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Метод исследований предусматривает создание условий близких к условиям процесса обработки зерна инфракрасным излучением. Методика определения зависимостей массы и влажности зерна (соя, ячмень и рожь) от температуры и времени обработки включала согласно [9] следующие этапы: увлажнение всех навесок зерна до 20% и ее контроль с помощью влагомера ВСП-100, отбор проб массой 2г. с каждой навески для проведения опытов в пятикратном повторности.

Нагрев проб зерна проводилась на протяжении 180 секунд в анализаторе влажности «AXIS» при температуре 130°C с динамическим взвешиванием и контролем влажности. Зависимости коэффициента трения от температуры и времени нагрева были получены на лабораторной установке ТМ21-А, где зерно и поверхность трения нагревались до заданной температуры в 130°C и пошагово определялись коэффициенты трения на каждом этапе изменения температуры, согласно указаниям [10].

Для определения коэффициентов внутреннего трения необходимо знать углы естественного откоса для каждого материала. Последние были выявлены на лабораторной установке типа УВТ-3М в соответствии с указаниями [11].

Полученные зависимости показывают характер изменения массы и влажности навесок различных зерновых культур в зависимости от времени обработки. Масса частиц снижается с разной интенсивностью (рис. 1). Так масса навески зерна сои в среднем количестве 11 зерен меняется при обработке при температуре 130°C согласно нелинейной зависимости $M_{nc} = 0,0003x^2 - 0,014x + 2,0137$. Масса навесок ячменя (52 зерна) и ржи (63 зерна), соответственно: $M_{ня} = 0,0007x^2 - 0,0237x + 2,0265$ и $M_{рп} = 0,003x^2 - 0,019x + 2,0262$.

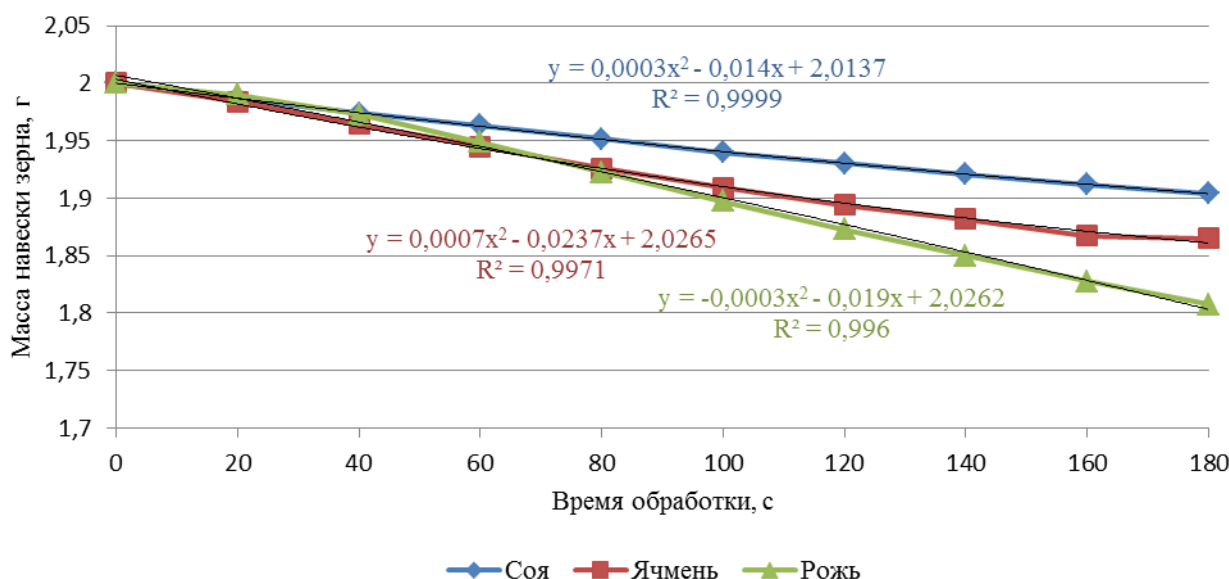


Рис. 1. Зависимость массы навески зерна от времени тепловой обработки
Fig. 1. Dependence of grain sample mass on the time of heat treatment

Масса навесок снижается в разной степени из-за того, что влияние температуры в 130°C на частички разного размера и плотности проявляется неодинаково. Необходимо экспериментально определить площадь поверхности зернин каждого вида материала. Для этого использовалась методика определения эквивалентного диаметра зерна. Определялся эквивалентный диаметр зерна следующим образом: из партии зерна отбиралась навеска массой 0,5 кг, руководствуясь методикой [12]. Из пробы выделялись две навески зерна по 5 г и от каждой из них отобраны по 100 зерен. Взвешивались отобранные 100 зерен, и определялась средняя масса одного зерна. В наполненный керосином мерный цилиндр помещались 100 отобранных зерен и по разнице отметок уровня керосина до и после погружения зерен находился средний объем зерна $V_3, \text{см}^3$.

Определение среднего объема одного зерна V_3 повторялось еще раз на другой партии из 100 зерен и для дальнейших расчетов принималось среднее значение из двух определений.

По полученному значению объема зерна был найден эквивалентный диаметр для каждого вида зерна D_3 по формуле:

$$D_3 = 1,24\sqrt[3]{V_3}, \quad (1)$$

где: V_3 – средний объем навески зерна.

По полученному значению D_3 определяют удельную площадь поверхности $S_n, \text{см}^2/\text{г}$ исходного зернового материала по формуле:

$$S_n = \frac{6}{\rho \cdot D_3}, \quad (2)$$

где: ρ – плотность зернового материала, $\text{г}/\text{см}^3$ (для сои – $0,75 \text{г}/\text{см}^3$; для ячменя – $0,61 \text{г}/\text{см}^3$; для ржи – $0,67 \text{г}/\text{см}^3$).

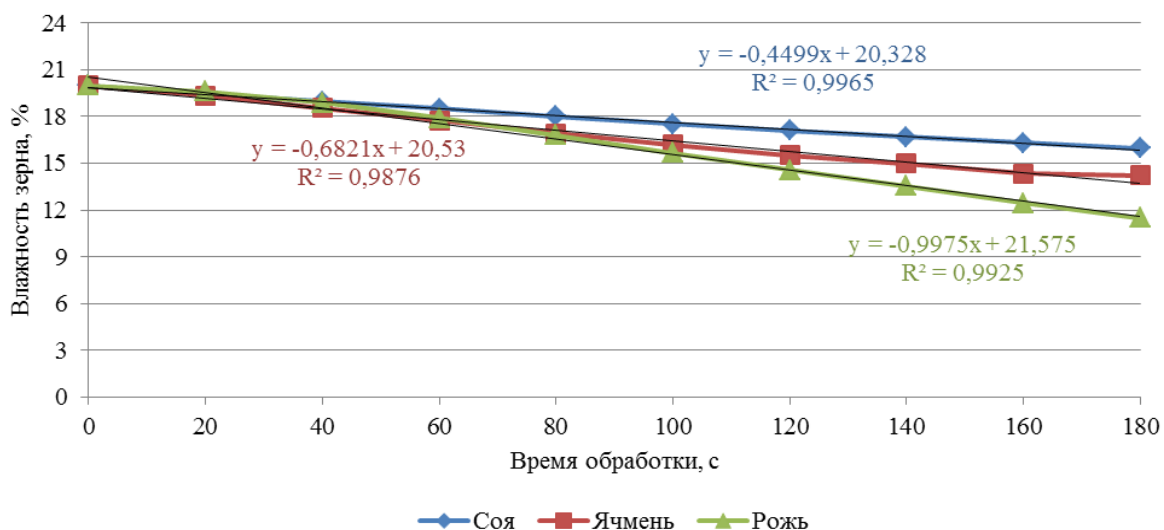


Рис. 2. Зависимость влажности зерна от времени тепловой обработки
Fig. 2. Dependence of grain moisture on the time of heat treatment

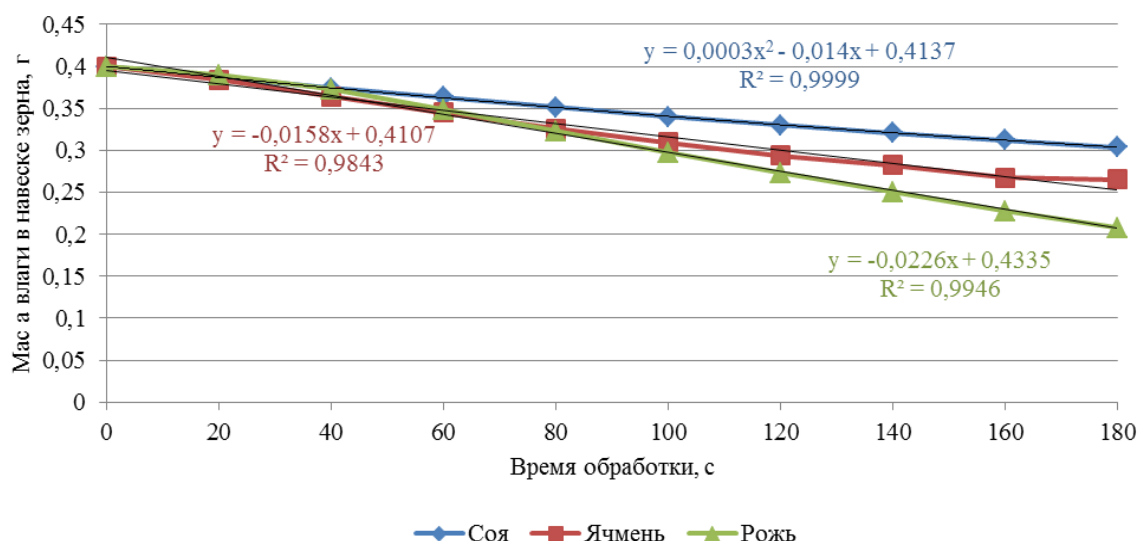


Рис. 3. Зависимость массы остаточной влаги в навеске зерна от времени обработки
Fig. 3. Dependence of the mass of the residual moisture in the grain sample on processing time

Поскольку средняя масса одной зернины каждого вида материала известна, можно определить площадь поверхности единичной частички зерна, которая в среднем составляет 47,9мм², 19мм² и 16,8 мм² для сои, ячменя и ржи соответственно. Допустим, что воздействие тепла осуществляется на половине этих площадей. Зная среднее количество зерен в каждой навеске, которая составляет 11 для сои, 52 для ячменя и 63 для ржи, можем получить соотношение площади тепловой обработки и влаги в зерне, составляющих, соответственно, 1,32 мм²/мг для сои, 2,47 мм²/мг для ячменя и 2,65 мм²/мг для ржи.

Расчитанные соотношения подтверждают полученные в ходе лабораторных исследований зависимости, а именно то, что наиболее интенсивное испарение влаги проходит в том виде зерна, где соотношение площади тепловой обработки и влаги в зерне наибольшее.

Зависимости влажности для разных видов зернового материала от времени тепловой обработки опи-

сываются следующими уравнениями: для сои $y = -0,4499x + 20,328$; для ячменя $y = -0,6821x + 20,53$; для ржи $y = -0,9975x + 21,575$. Полученные значения позволили рассчитать массу остаточной влаги в зернине. (рис 3).

Зависимости изменения массы остаточной влаги в зерне от времени обработки для разных видов зернового материала выглядят следующим образом: для сои $y = 0,0003x^2 - 0,014x + 0,4137$; для ячменя $y = -0,0158x + 0,4107$; для ржи $y = -0,0226x + 0,4335$. При обосновании оптимальных параметров процесса влажно-тепловой обработки зерновых кормов путем математического моделирования однослойной дозированной подачи зернового материала по плоскости обработки используется метод дискретного элемента [13]. Для этого необходимо получить зависимости не только для навесок зерна, но и для отдельных частичек каждого из исследуемых материалов. Поскольку количество частиц в каждой навеске известна, получаем зависимости массы и влажности от времени об-

работки для одной частички каждого вида зерна (рис. 4), а также зависимость массы влаги в единичной частичке зерна от времени обработки (рис. 5).

Зависимости изменения массы единичной частицы для разных видов зернового материала выглядят следующим образом: для сои $y = 3e-05x^2 - 0,0012x + 0,1754$; для ячменя $y = 2e-05x^2 - 0,0005x + 0,0386$; для ржи $y = 1e-06x^2 - 0,0004x + 0,032$.

Различная интенсивность изменения влаги объясняется тем, что исследуемые виды материала имеют различное соотношение площади тепловой обработки и влаги в зерне, которые составляют 1,32 мм²/мг для сои, 2,47 мм²/мг для ячменя и 2,65 мм²/мг для ржи соответственно.

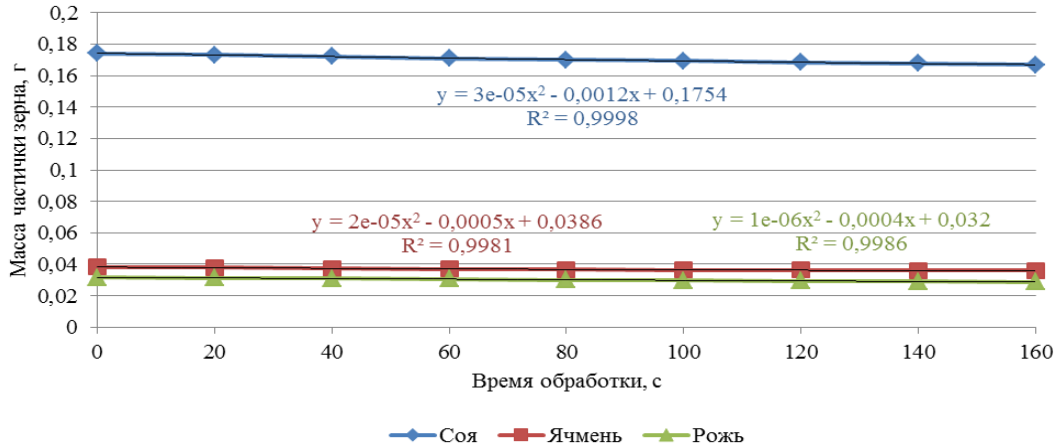


Рис. 4. Зависимость массы единичной частицы от времени обработки
Fig. 4. Dependence of single grain particle mass on processing time

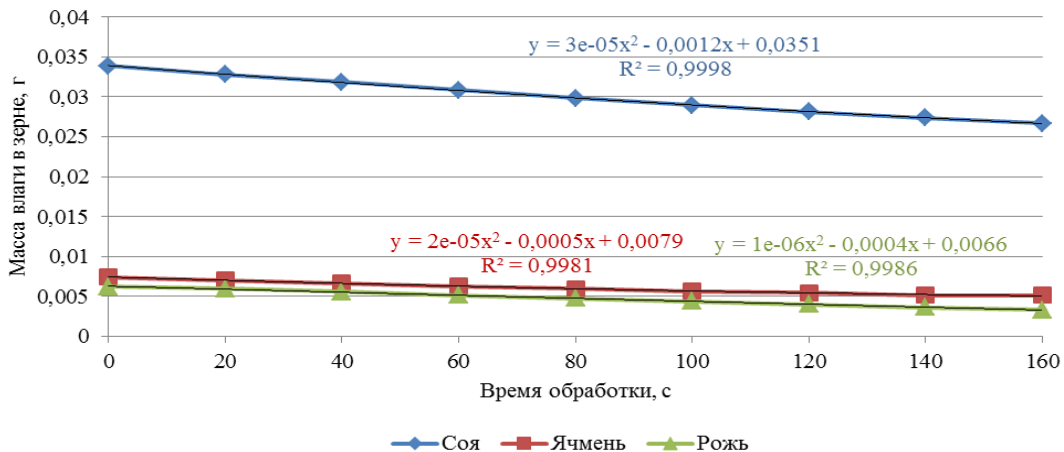


Рис. 5. Зависимость массы влаги в единичной частичке зерна от времени обработки
Fig. 5. Dependence of the mass of residual moisture in a grain particle on processing time

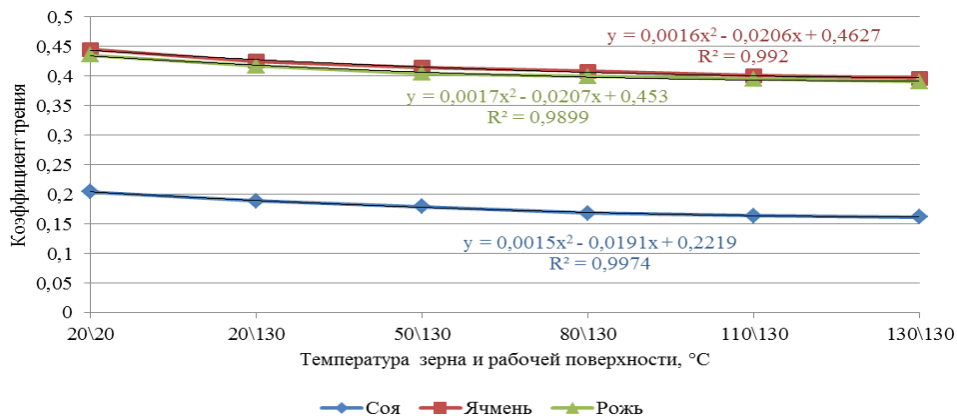


Рис. 6. Зависимость коэффициента трения зерна по металлу от температуры
Fig. 6. Dependence of metal-grain friction coefficient on temperature

Масса влаги в единичной частичке зерна и температура зерна и рабочей поверхности для разных видов зернового материала находятся в нелинейной зависимости и описываются уравнениями: для сои $y = -3e-05x^2 - 0,0012x + 0,0351$; для ячменя $y = 2e-05x^2 - 0,0005x + 0,0079$; для ржи $y = 1e-06x^2 - 0,0004x + 0,0066$. Нелинейность изменения влаги можно пояснить тем, что с уменьшением количества влаги в зерне, интенсивность ее испарения также уменьшается.

Также были получены зависимости коэффициента внешнего трения от температуры и времени обработки для различных степеней нагрева. Результаты измерений изображены графически на рисунке 6.

Коэффициент трения зерна по металлу для разных видов зернового материала зависит от темпера-

туры взаимодействующих объектов, и описываются нелинейными уравнениями: для сои $y = 0,0015x^2 - 0,0191x + 0,2219$; для ячменя $y = 0,0016x^2 - 0,0206x + 0,4627$; для ржи $y = 0,0017x^2 - 0,0207x + 0,453$.

Такой характер изменения коэффициентов трения объясняется тем, что при нагревании уменьшаются силы молекулярного взаимодействия веществ, что влечет за собой изменение коэффициента трения [14].

Значения угла естественного откоса для исследуемых материалов составляют: для сои – 24,96; для ячменя – 28,42; для ржи – 28,68. Определение угла естественного откоса (рис. 7) позволило рассчитать коэффициенты внутреннего трения для каждого вида зернового материала, которые составляют: для сои – 0,414; для ячменя – 0,479; для ржи – 0,484 соответственно.

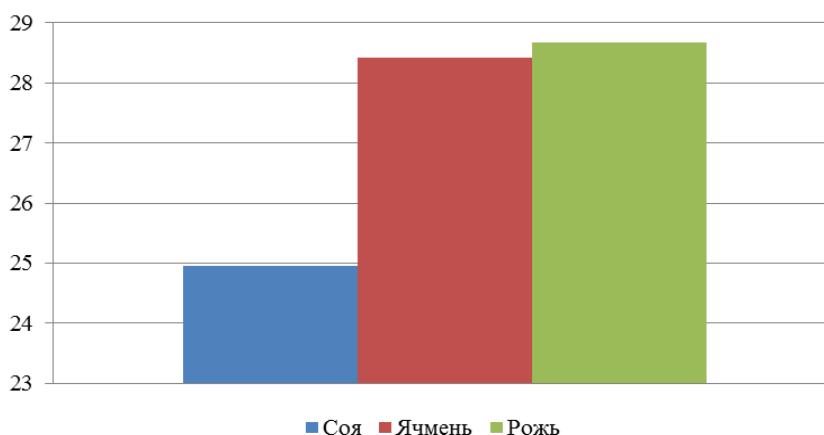


Рис. 7. Угол естественного откоса
Fig. 7. The angle of repose

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрен характер влияния тепловой обработки на физико-механические свойства зерновых кормов, таких как соя, ячмень и рожь.

2. Экспериментально установлена средняя площадь поверхности единичной частички для каждого вида материала. Рассчитано соотношение площади тепловой обработки и влаги в зерне.

3. Получены зависимости изменения массы, коэффициента внешнего трения и влажности от температуры и времени обработки, как для навесок, так и для единичных частичек зерновых материалов. Также были определены значения угла естественного откоса для исследуемых типов зерна, что позволило рассчитать коэффициент внутреннего трения.

4. Полученные путем лабораторных исследований зависимости физико-механических свойств зерновых кормов от температуры и времени обработки позволяют провести расчеты математической модели однослойного перемещения зернового материала по наклонной круговой вибрационной поверхности и построить опытный образец установки для проверки адекватности этой модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Шацкий В.В. 1998.** Моделирование механизированных процессов приготовления кормов: монография. ИМЖ УААН. Запорожье, Х-ПРЕСС, 140.
2. **Брагинец Н.В. 1989.** Микронизация зерна для кормовых целей. Механизация и электрификация сельского хозяйства. №1. 29-31.
3. **Худоногов А.М. 1988.** Технология обработки дикорастущего и сельскохозяйственного сырья высококонцентрированным инфракрасным нагревом. Диссертация доктора технических наук. Иркутск. 392.
4. **Калниньш И.Я., Панков Я.А. 1983.** Обработка фуражного зерна инфракрасным облучением. Кормопроизводство. №10. 16-18.
5. **Лукьяненко В. 2013.** Математическая модель движения взаимодействующих семян по наклонной вибрирующей поверхности и численные методы решения систем кинематических уравнений. Motrol. Том 15. 135-142.
6. **Мишуров Н.П. 1990.** Обоснование оптимальных параметров и режимов работы установки для обработки зерна ИК-излучением: Автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.20.01. 13.

7. **Щербаков В.Г. 1977.** Химия и биохимия масличных зерен. М.: Пищевая промышленность. 163.
8. **Максаков В.Я. 1983.** Влияние температуры и других действий на качество протеина кормов. Вестник сельскохозяйственной науки. № 11. 95-98.
9. **ГОСТ 1996.** Семена масличные. Метод определения влажности: ГОСТ 10856-96. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск. 6.
10. **ГОСТ 1973.** Зерно. Методы определения качества: ГОСТ 3040-55. М.: Изд. стандартов. 7.
11. **ГОСТ 2006.** Комбикорма, сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса: ГОСТ 28254-89. М.: Ст. информ. Москва. 4.
12. **Ревенко И.И., Брагинец М.В., Ребенко В.И., 2009.** Машины и оборудование для животноводства: Учебник. К.: Кондор. 46-57. (Украина).
13. **Арсентьев В.А. 2010.** Методы динамики частиц и дискретных элементов как инструмент исследования и оптимизации процессов переработки природных материалов. Обогащение руд. №1. 30–35.
14. **Николаев С.А. 2011.** Молекулярное взаимодействие. Журнал «Самиздат». 1-3.
15. **Химка С.М. 2012.** Обоснование параметров вибрационного дозатора сыпучих кормов: Автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.05.11. М.: 23. (Украина).
16. **Карлин С. 1971.** Основы теории случайных процессов / Перевод с английского под редакцией. Коваленко И.Н. М. Мир. 61.
17. **Завалий А., Янович И. 2009.** Система инфракрасного изотермического нагрева поверхности. Motrol. Том 11В. 172-175.
18. **Завалий А. 2011.** Оптико-геометрические модели проектирования отражающих поверхностей устройств инфракрасной сушки. Motrol. Том 13. 150-158.
19. **Dale N.M., Araba M., Whittle E. 1987.** Protein solubility as an indicator of optimum processing of soy-burn meal. Proceedings, Yeorgia nutrition conf, for the feed industry. Atlanta, LA. 11. 18-20.
20. **Калниньш И.Я. 1984.** Предварительная обработка кормового зерна. Мукомольно-элеваторная промышленность. №5. 30.
21. **Никитин Л.О., Бабич А.Я., Дрогобычский Т.М. 1997.** Управление прибором ИК излучения. Вестник аграрной науки. №4. 66-67. (Украина).

CHANGES OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GRAIN FEED DURING HEAT TREATMENT

Summary. Current article discusses the dependence of the heat treatment effect using infrared radiation (the process of micronization) on the physical and mechanical properties of grain feed, such as soybeans, barley and rye. The average surface area of single particles for each type of material was experimentally set. The dependences of the weight change, coefficient of friction and humidity on temperature and processing time are received. The ratio of the thermal processing area and the moisture in the grain was calculated. This ratio confirms obtained during laboratory tests dependences, namely, the fact that the most intense evaporation takes place in the forms of grains, wherein the ratio of the thermal processing area and the moisture in the grain is the largest. To justify the optimal parameters of wet-heat treatment process for feed grain by mathematical modeling of single-layer dosing delivery of grain material, the discrete element method is used. It requires obtaining dependences not only for batches of grain, but also for the individual particles of each of the test materials. The values of the repose angle for the studied types of grain, which allows calculating the coefficient of internal friction, are obtained. The theoretical basis for the results obtained in the course of research was highlighted. At the end of the article the conclusions of the scientific work are presented. The further ways of scientific research are defined. In particular, obtained by laboratory tests dependences of physical and mechanical properties of grain materials on temperature and processing time allow to calculate the mathematical model of a single layer moving of grain materials on the inclined circular vibrating surface.

Key words: physical and mechanical properties, friction, humidity, grain feed, thermal treatment, infrared radiation, micronization.

АСПЕКТЫ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПНЕВМОСЕПАРАТОРА МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Наталья Задосная

*Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, 72310, Украина*

Natalia Zadosnaya

*Tavria State Agrotechnological University
B.Khmelnitsky Avenue, 18, Melitopol, 72310, Ukraine*

Аннотация. Технология послеуборочной обработки семян подсолнечника - это сложная функциональная система, которая многогранно влияет на качество получаемых семян и зависит от их физико-механических свойств. Своевременное и эффективное проведение послеуборочной обработки повышает семенные и продовольственные качества подсолнечника, а также уменьшает его потери.

Важнейшей составной частью послеуборочной обработки является очистка вороха от различных примесей. Масличное сырье подсолнечника после его уборки представляет собой смесь семян основной культуры, а также масличных и различных сорных примесей минерального и органического происхождения. Послеуборочная очистка семян подсолнечника позволяет выделить грубые, легко-весные примеси и сорняки, имеющих высокую влажность и тем самым улучшить качество его обработки. На начальном этапе очистки наиболее часто разделение составляющих вороха семян подсолнечника происходит с учетом его аэродинамических свойств и особенно критических скоростей витания.

Несмотря на широкое использование явления движения материальных частиц в современных зерноочистительных машинах, связанных с сепарацией составляющих вороха, количественные закономерности движения тел с учетом сопротивления воздушной среды и сегодня нуждаются в дополнительном исследовании.

Анализ полученных значений показал, что масличная примесь по своему диапазона критических скоростей практически входит в состав полноценных семян подсолнечника, за исключением части дробленных, которые вместе с легкими примесями уйдут в отходы.

В работе определены фракционный состав и аэродинамические свойства масличного сырья подсолнечника, поступающего на зерноочистительные комплексы Юга Украины. Выполнен анализ существующих технологических средств очистки масличного сырья и обоснована технологическая схема пневмосепаратора.

Представлены схема технологическая и процесс работы высокопроизводительного пневморешетного сепаратора с замкнутой воздушной системой, приведены аспекты по обоснованию параметров и режимов работы пневмосепаратора маслично-

го сырья. Разработана методика установки параметров и режимов работы пневмосепаратора.

Ключевые слова: подсолнечник, фракционный состав, аэродинамические свойства, пневмосепаратор, методика, параметры, режимы.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Технология послеуборочной обработки семян подсолнечника - это сложная функциональная система, которая многогранно влияет на качество получаемых семян и зависит от их физико-механических свойств. Своевременное и эффективное проведение послеуборочной обработки повышает семенные и продовольственные качества подсолнечника, а также уменьшает его потери [1, 2].

Важнейшей составной частью послеуборочной обработки является очистка вороха от различных примесей. Масличное сырье подсолнечника после его уборки представляет собой смесь семян основной культуры, а также масличных различных сорных примесей минерального и органического происхождения. Послеуборочная очистка семян подсолнечника позволяет выделить грубые, легко-весные примеси и сорняки, имеющих высокую влажность и тем самым улучшить качество его обработки.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Зерноочистительные машины предварительной очистки зерна классифицируются по следующим признакам: - по мобильности, по признаку делимости зерновой смеси, по типу вентилятора, по типу системы воздушного потока, по типу канала воздушного потока, по типу решет и т.д. [3, 4, 5].

На начальном этапе очистки наиболее часто разделение составляющих вороха семян подсолнечника происходит с учетом его аэродинамических свойств и особенно критических скоростей витания. Несмотря на широкое использование явления движения материальных частиц в современных зерноочистительных машинах, связанных с сепарацией составляющих вороха, количественные закономерности движения тел с учетом сопротивления воздушной среды и сегодня нуждаются в дополнительном исследовании [6].

Некоторые зерноочистительные машины [7] с замкнутой воздушной системой имеют общий недостаток - отсутствие решет для выделения крупных примесей, что снижает качество очистки исходного материала.

Особый интерес представляет пневморешетный сепаратор зернового вороха с замкнутой воздушной системой, где существенное значение имеет устройство, позволяющее распределить воздушный поток на две составляющие - сепарирующую и питающую составляющую воздухораспределителя.

Предварительная очистка зернового вороха заключается в том, чтобы отделить от зерна крупные и легкие примеси и тем самым улучшить его качество. В области очистки зерна, перевод зернового вороха в псевдооживленное состояние представлено в работе [8], где зерновая смесь перемещается по лотку, а воздушный поток, подводимый верхним каналом, проходит через перфорированную поверхность лотка и слой зерна.

В работе [9], зерновой материал загрузочным приспособлением подается в питательное устройство пневмосепарирующего канала. На перфорированной наклонной плоскости происходит разжижение зернового материала воздушным потоком, который нагнетается вентилятором по воздухоподводящему каналу. В результате легкие примеси "всплывают" на поверхность зернового материала и поступают в пневмосепарирующий канал выше зоны ввода зерновой части исходного материала.

В работе [10] рассматривается методика экспериментальных исследований процесса сепарации на инерционно-гравитационном решетчатом сепараторе, где предусматривается определение физико-механических свойств зерна: коэффициента трения, фракционного состава, влажности; изучение закономерностей просеивания зерна через щели решета в зависимости от основных параметров и режимов работы.

В меньшей степени представлены исследования по методике определения параметров и режимов работы пневмосепаратора скальператорного типа.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Качество исходного материала, поступившего после уборки, определяли по результатам анализа отобранных из него образцов.

В соответствии с методикой определялось процентное содержание:

- семян полноценных - $M_{\text{нп}}, \%$;
- масляной примеси - $m_{\text{од}}, \%$;
- крупной сорной примеси - $m_{\text{кд}}, \%$;
- прохода сита диаметром 3 мм - $m_{\text{пс}}, \%$;
- легкой примеси - $m_{\text{лд}}, \%$;
- засоренность - $m_{\text{зд}}, \%$;
- чистота семян - $Z, \%$.

В результате проведенных лабораторно - производственных исследований были изучены качественные показатели подсолнечника, поступающего из разных областей Юга Украины. Взятие проб в соответствии с методикой осуществлялись с 60 еди-

ниц автотранспорта с августа по октябрь 2014 года. Выборка составила 60 проб.

По результатам испытаний определялось математическое ожидание - m , максимальное \max и минимальное \min значение посторонних примесей, среднее квадратическое отклонение - σ и коэффициент вариации - v .

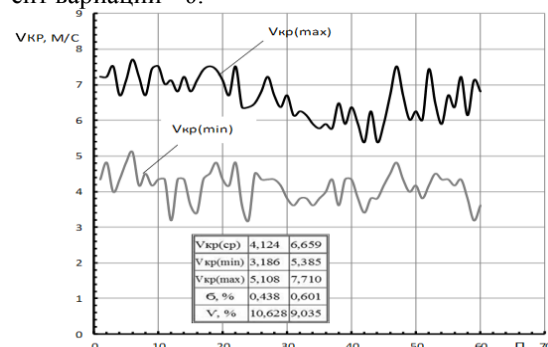


Рис. 1. Статистические характеристики критических скоростей витания полноценных семян

Fig. 1. Statistical characteristics critical speeds greetings full of seeds

Анализ рис. 1 показывает, что критическая скорость витания полноценных семян $V_{\text{кр.нп}}$ находится в широком диапазоне. Так ее минимальное математическое ожидание составило $V_{\text{нп}(\text{cp})}^{\text{min}} = 4,124 \text{ мс}^{-1}$, при $V_{\text{нп}(\text{min})}^{\text{min}} = 3,186 \text{ мс}^{-1}$, $V_{\text{нп}(\text{max})}^{\text{min}} = 5,108 \text{ мс}^{-1}$, среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0,44\%$ и коэффициенте вариации $v = 10,63\%$. Максимальное математическое ожидание составило $V_{\text{нп}(\text{cp})}^{\text{max}} = 6,659 \text{ мс}^{-1}$ при $V_{\text{нп}(\text{min})}^{\text{max}} = 5,385 \text{ мс}^{-1}$, $V_{\text{нп}(\text{max})}^{\text{max}} = 7,71 \text{ мс}^{-1}$, среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0,60\%$ и коэффициенте вариации $v = 9,03\%$. Диапазон критических скоростей витания полноценных семян составил $V_{\text{нп}(\text{min})}^{\text{min}} = 3,186 \text{ мс}^{-1}$ до $V_{\text{нп}(\text{max})}^{\text{max}} = 7,71 \text{ мс}^{-1}$.

Масляная примесь включает в себя щуплые (рис.2), дробленные (рис.3) и поврежденные семена (рис.4).

Анализ полученных значений показывает, что масляная примесь по своему диапазона критических скоростей практически входит в состав полноценных семян подсолнечника, за исключением части дробленных, которые вместе с легкими примесями уйдут в отходы.

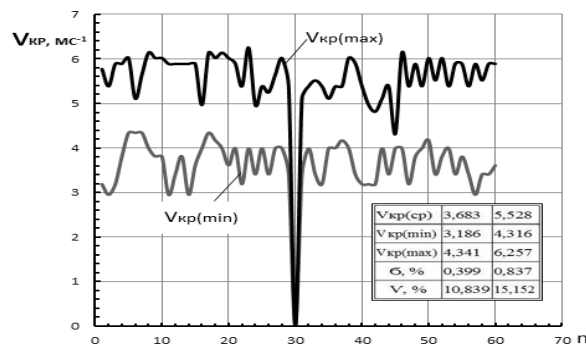


Рис. 2. Статистические характеристики критического скоростей витания щуплых семян

Fig. 2. Statistical characteristics of the critical velocity greetings puny seeds

Крупная примесь (рис.5.) состоит в основном из органических примесей в виде остатков листьев, стебель, корзинок.

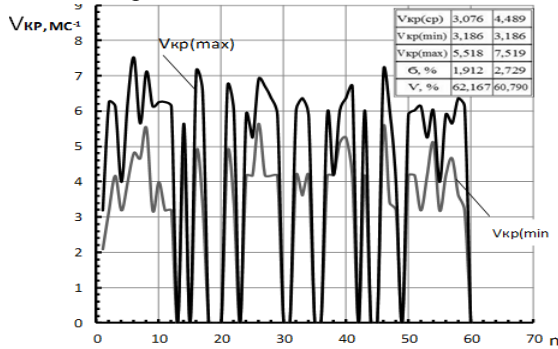


Рис. 3. Статистические характеристики критических скоростей витания дробленых семян

Fig. 3. Statistical characteristics critical speeds greetings crushed seeds

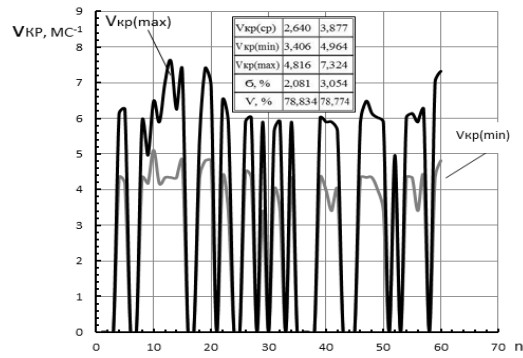


Рис. 4. Статистические характеристики критических скоростей витания поврежденных семян

Fig. 4. Statistical characteristics critical speeds greetings damaged seeds

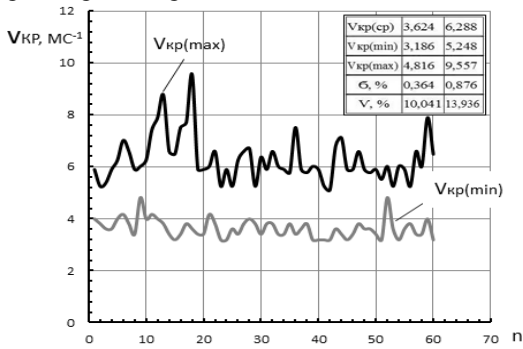


Рис. 5. Статистические характеристики критических скоростей витания крупных примесей

Fig. 5. Statistical characteristics critical speeds greetings major impurities

Анализ полученных значений показывает, что высокий диапазон критической скорости находится именно у этой категории примесей. В то же время большое количество примесей по характеристике входит в состав рассмотренных примесей, а значит их выделения возможно при условии обработки масличного сырья на пневмосепараторах с использованием как воздушных потоков, так и решет [11-14].

Проход через сито с ячейками диаметром 3,0 мм (рис.6).

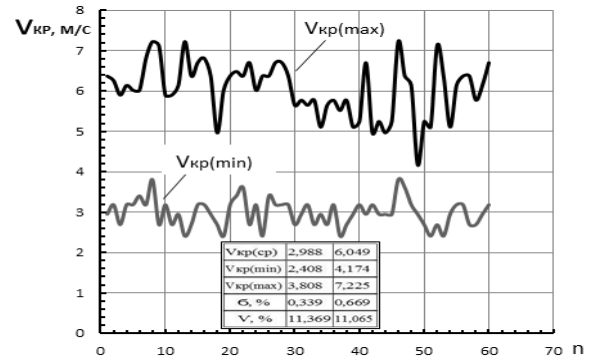


Рис. 6. Статистические характеристики критических скоростей витания прохода через сито с ячейками диаметром 3,0 мм

Fig. 6. Statistical characteristics Cree tic-speed greetings pass through the sieve with 3,0 mm

Диапазон изменения скоростей витания фракции прохода через сито с ячейками диаметром 3,0 мм составляет около 5 мс^{-1} , а это означает, что для их выделения необходима воздушно-решетная очистка.

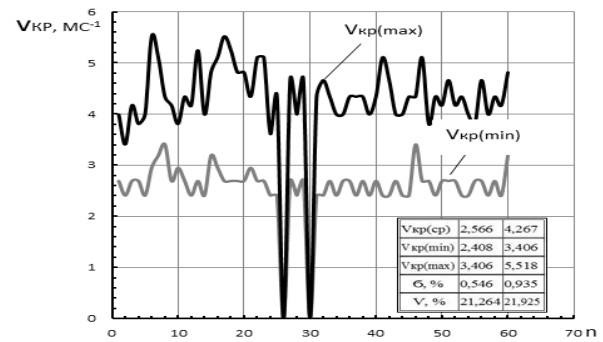


Рис. 7. Статистические характеристики критических скоростей витания легких примесей

Fig. 7. Statistical characteristics chnyh cover-speed greetings light impurities

Анализируя полученные значения мы видим, что у легких примесей диапазон критических скоростей витания находится в пределах больше 3 мс^{-1} . Следует обратить внимание, что выделенные нами в процессе разбора проб, легкие примеси, не всегда таковыми являются, так как отдельные составляющие находятся по значениям критических скоростей в середине критических скоростей полноценных семян.

В статье предлагается усовершенствование пневморешетного сепаратора с замкнутой воздушной системой, в котором путем установки пневмосепарирующей и осадочной камер со сложной геометрической поверхностью, соединенных всасывающим каналом с диаметрально вентилятором, создающим замкнутую воздушную систему обеспечивается улучшение процесса выделения легких примесей, уменьшение энергоемкости пневмосепарации и загрязненности окружающей среды [15-18].

Предложенная машина для очистки зерна (Рис. 8.) состоит из установленного под углом $60^\circ \dots 70^\circ$ К горизонтальной плоскости диаметрально-го вентилятора 1, к выходной горловине которого

присоединен воздухораспределительный канал 3, который в верхней части перекрыт лотком-интенсификатором 8. Верхняя стенка 4 воздухораспределительного канала 3 прилегает к началу лотка-интенсификатора 8 и к концу загрузочного устройства бункера 10 с заслонкой 9. Нижняя стенка 2 воздухораспределительного канала 3, прилегающего к цилиндрическому решету 7 с горизонтальной осью вращения, выполнена в виде жалюзийного воздухораспределителя 5. Лоток-интенсификатор 8 имеет перфорированную поверхность, а жалюзи воздухораспределителя 5 имеет возможность изменять живое сечение и угол наклона жалюзи. Для очистки поверхности цилиндрического решета 7 установлена очистительная щетка 12 с горизонтальной осью вращения. Пространство сверху цилиндрического решета 7 и очистительной щетки 12, ограниченное верхней стенкой 11, создает пневмосепарирующую камеру 13. Снизу цилиндрического решета 7 и очистительной щетки 12 установлены клапана вывода фракции очищенного зерна 22 и клапан вывода крупных примесей 21. Продолжение пневмосепарирующей камеры 13 переходит в осадочную камеру 17, в нижней части которой установлена отбойная плоскость 19 и устройство вывода легких примесей 18. В верхней части осадочной камеры установлена горловина 16 обратного всасывающего канала 20, соединенного с диаметральной вентилятором 1.

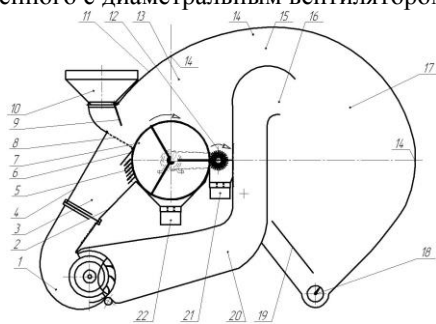


Рис.8. Схема технологическая пневморешетного сепаратора зерна с замкнутой воздушной системой: 1 – вентилятор диаметральный; 2 – стенка нижняя; 3 – канал воздухорас-пределительный; 4 – стенка верхняя; 5 – воздухораспределитель жалюзийный; 6 – стенка средняя; 7 – решето цилиндрическое; 8 – лоток-интенсификатор; 9 – заслонка; 10 – бункер; 11 – стенка верхняя камеры пневмосепарации; 12 – щетка очистительная; 13 – камера пневмосепарирующая; 14 – обечайка; 15 – канал пневмосепарирующий ; 16 – горловина; 17 – камера осадочная; 18 – устройство вывода легких примесей; 19 – плоскость отбойная; 20 - канал обратный всасывающий; 21 – клапан вывода крупных примесей; 22 – клапан вывода фракции очищенного зерна.

Fig. 8. Driving tehnologiseskaya pnevmoreshetnogo separator for grain-closed one cart-stifling system: 1 – crossflow fan; 2 – the bottom wall; 3 – channel vozduhoras-tribution; 4 – the top panel; 5 - whoduhoraspredelitel louver; 6 – wall of the medium; 7 – a cylindrical sieve; 8 – tray-enhancer; 9 – over-dampers; 10 – the bunker; 11 – the upper wall of the chamber pneumoseparation; 12 – brush cleaning; 13 – camera pneumoseparating; 14 – shell; 15 – channel pneumosep-

arating; 16 – neck; 17 – camera sedimentary; 18 – output of light impurities; 19 – baffle plane; 20 – suction-channel reverse-binding; 21 – the valve output large impurities; 22 – the valve output fractions refined grains.

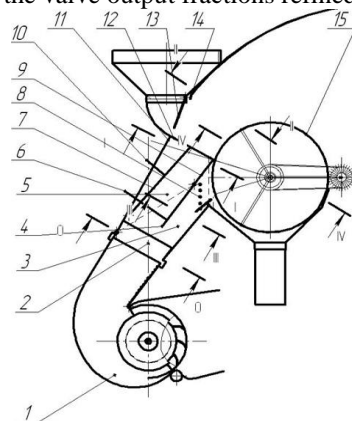


Рис. 9. Схема лабораторно-производственной установки для определения основных параметров и режимов работы питающей и сепарирующей составляющих воздухораспределительного устройства: 1 – вентилятор диаметральный; 2 – воздухораспределитель; 3 – сепарирующая составляющая воздухораспределителя; 4 – средняя подвижная стенка; 5 – питающее составляющая воздухораспределителя; 6 – регулятор изменения угла наклона средней подвижной стенки; 7 – стенка подвижная задняя; 8 – воздухораспределитель жалюзийный; 9 – неподвижная часть средней стенки; 10 – регулятор изменения угла наклона задней подвижной стенки; 11 – задняя стенка; 12 – лоток интенсификатор; 13 – питающее устройство; 14 – бункер; 15 - решето цилиндрическое; 0 - 0 – сечение замера динамического давления на входе в воздухораспределитель; I - I – сечения замера динамического давления под лотком-интенсификатором; II - II – сечение замера динамического давления над лотком-интенсификатором; III - III – сечение замера динамического давления под жалюзийным воздухораспределителем; IV - IV – сечение замера динамического давления в сепарирующей зоне цилиндрического решета.

Fig. 9. The scheme of laboratory - production plant to determine the basic parameters and operating modes of feeding and separating components of the air distribution device: 1 – crossflow fan; 2 – diffuser; 3 – separating element diffuser; 4 - average movable wall; 5 – supply component of the diffuser; 6 – controller changes the angle of the middle of the movable wall; 7 – a movable rear wall; 8 – diffuser louver; 9 – the fixed part of the dividing wall; 10 – controller changes the angle of her ass, the movable wall; 11 – the back wall; 12 – tray enhancer; 13 – power supply; 14 – the bunker; 15 – cylindrical sieve; 0 - 0 – cross section measurement of dynamic pressure inlet diffuser; I - I – section measuring dynamic pressure under the pan-intensifier; II - II – cross section measurement of dynamic pressure on the tray-intensifier; III - III – section measuring dynamic pressure under the louvered air diffuser; IV - IV – cross section measurement of dynamic pressure in the zone separating the cylindrical sieve.

Методикой предусматривается определение области рациональных значений основных парамет-

ров и режимов работы питающей составляющей и жалюзийного воздухораспределителя за счет:

- подачи зернового вороха;
- подачи воздушного потока;
- угла наклона средней подвижной стенки б воздухораспределительного устройства;
- коэффициента живого сечения лотка-интенсификатора.

Методикой предусмотрено определение:

- режима псевдооживления от величины рабочей щели b , частоты вращения вентилятора n , при различных значениях угла наклона средней подвижной стенки воздухораспределителя устройства ε' и коэффициента живого сечения лотка-интенсификатора за счет подвижной задней стенки ζ ;

- значений динамического давления P_0 и расхода воздуха Q_0 на входе в воздухораспределительное устройство в сечении 0 - 0;

- значений динамического давления P_1 и расхода воздуха Q_1 под лотком-интенсификатором в пересечении I - I;

- значений динамического давления P_2 и расхода воздуха Q_2 над лотком-интенсификатором в пересечении II - II;

- значений динамического давления P_3 и расхода воздуха Q_3 в пересечении III - III в направлении сепарирующей составляющей воздухораспределительного устройства от величины рабочей щели b , частоты вращения вентилятора n , при различных значениях угла наклона средней подвижной стенки ε' и коэффициента живого сечения лотка-интенсификатора за счет подвижной задней стенки ζ .

- значений динамического давления P_4 и расхода воздуха Q_4 в пересечении IV - IV, над лотком-интенсификатором и во внутренней зоне цилиндрического решета.

ВЫВОДЫ

1. В работе представлены результаты и анализ аэродинамических свойств семян подсолнечника и его составляющих, поступающих на зерноочистительные комплексы юга Украины.

Анализ полученных значений показал, что масляная примесь по своему диапазону критических скоростей витания входит в состав полноценных семян подсолнечника.

Легкие примеси, частично находятся в середине диапазона критических скоростей полноценных семян и большая их часть может быть отделена воздушным потоком.

Анализ аэродинамических свойств крупных примесей, показывает, что наибольший диапазона критической скорости находится именно у этой категории примесей. а значит их выделения возможно при условии обработки семенного вороха на пневмосепараторе с использованием как воздушных потоков, так и решет.

2. Анализируя фракции составляющих вороха подсолнечника, можно сделать вывод, что математическое ожидание чистоты исходного материала

составляет 92,8%, max - 97,1%, min - 84,6%. А засоренности- 7,2%, при этом max - 22,5%, а min = 2,1%.

Из анализа общего количества примесей в ворохе подсолнечника: математическое ожидание масляной в исходном материале - 37,25%, крупной сорной примеси - 25,7%, прохода через сито $\varnothing 3\text{мм}$ - 36,5%, легких примесей - 0,55%.

3. Внедрение в конструкцию зерноочистительной машины цилиндрического решета с горизонтальной осью вращения и диаметального вентилятора позволило обосновать технологическую схему и процесс работы пневморешетного сепаратора с замкнутой воздушной системой.

4. Разработана методика установки и определения параметров и режимов работы пневморешетного сепаратора масляного сырья подсолнечника.

5. За счет определения режимов подачи вороха, воздушного потока, коэффициента живого сечения лотка-интенсификатора и угла наклона задней и средней стенки питающей составляющей воздухораспределительного устройства, обеспечение создания псевдооживленного состояния и сегрегации слоя семенного вороха над лотком-интенсификатором, можно обеспечить повышение эффективности работы пневмосепаратора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлов Е.В. 2012. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах юга Украины Монография. 214. (Украина)
2. Михайлов Е.В., Задосная Н.А. 2013. Свойства семян подсолнечника и показатели качества масляного сырья, поступающего на Мелитопольский маслоэкстракционный завод. Тр. ТГАТУ. Вип. 13. т. 3. 118-123. (Украина).
3. Михайлов Е.В., Белокопытов А.А., Дудка В.С., Перетягько А.В. 2011. Пат. № 61469 У Украины, МПКВ07В1 / 28. Решетчатый сепаратор Бюл. № 14, 4. (Украина).
4. Михайлов Е.В., Белокопытов А.А., Задосная Н.А., Сердюк Д.В. 2012. Анализ пневматических систем зерноочистительных машин и усовершенствование их классификации. Тр. ТГАТУ. Вип. 12. т. 5. 50 - 61. (Украина).
5. Сычугов Н.П., Жолобов Н.В., Корнеев С.В. 2003. Пневмосепаратор для очистки и фракционирования зернового материала. Номер публикации патента: 2199401 Опубликовано: 27.02.2003 кл. В 07 В 4/02.
6. Белокопытов А.А. 2012. Анализ результатов определения критической скорости и коэффициента парусности составляющих зернового вороха. Науковий вестник ТГАТУ. Вып. 2, т. 5. 198-207. (Украина).
7. Олейников В.Д., Грабельковский Н.И., Гехтман А.А., Антюхина В.В., Сычугов Н.П., Бурков, А. И., Куклин С.М. 1987. Зерноочистительная машина А. с. N 1313526, МКИ 4 В 07 В 4/00. N 20.
8. Тарасенко А.П. 2008. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян. 102-108.

9. Дегтев В. М. 1984. Обоснование основных параметров технологического оборудования и машин для послеуборочной обработки зерна. 68-78.
10. Ямпиллов С.С. 2004. Технологические и технические решения проблемы очистки зерна решетами. 165.
11. ОСТ 70.10.2-83. 1984. Зерноочистительные машины, агрегаты, зерноочистительно-сушильные комплексы. Программа и методы испытаний. 112-118.
12. Чижиков А.Г., Бабченко В.Д., Машков Е.А. 1981. Операционная технология послеуборочной обработки и хранения зерна (в Нечерноземной зоне). 88-95.
13. Ямпиллов С.С., Пашинова Н.В. 2011. Моделирование аэродинамических свойств семян основных зерновых культур/ С.С. Ямпиллов. Научно-практический журнал "Вестник ИрГСХА". Вып. 42. 123-133.
14. Думенко К. Огиенко Е. 2012. Моделирование процесса обеспечения надежности зерноуборочных комбайнов / К. Думенко Е. Шевченко // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2012. – Том 14. №2 . – 51–56.
15. Леженкин А.Н. 1989. Повышение эффективности работы ворохоочистителя за счет интенсификации его технологического процесса. 166.
16. Пастушенко С., Огиенко Н. 2012. Теоретические аспекты исследования процесса сепарации технологической семенной массы овощебахчевых культур. Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Том 14. №2. 13–20.
17. Сепаратор предварительной очистки СП-70 http://3398.by.all.biz/goodsseparator-predvaritelnoj-ochistki-sp-70_38129
18. Петух М.В. 2006. Обоснование параметров процесса решетного сепарирования зерновых смесей. Харьков, 20.
19. Фадеев Л.В. 2012. Щадящая технология подготовки семян - путь повышения урожайности. Агрохимия, агротехника, агротехнологии. № 1. 28-31.
20. Михайлов Е.В., Белокопытов А.А., Кольцов М.С. 2010. Аспекты методики определения параметров воздушного потока в пневмосистеме машины предварительной очистки зерна. Тр. ТГАТУ. Вып. 11 т. 1. 242-250. (Украина).

ASPECTS OF FOUNDATION PARAMETERS AND MODES OF SUNFLOWER PNEVMOSEPARATOR OILSEEDS

Summary. Technology postharvest treatment of sunflower seeds - a complex functional system, which has many effects on the quality of the seeds, depending on their physico-mechanical properties. Timely and effective implementation of post-harvest treatment improves the quality of the seed and food of sunflower-technika and reduces its losses.

The most important part of the post-harvest handling is cleaning piles of various impurities. Olives raw sunflower after the harvest is a mixture of the main crop seeds, as well as oil and various trash mineral and organic origin. Post-harvest cleaning sunflower seed allows you to select coarse, light-weight impurities and weeds that have a high moisture content and thereby improve the quality of its processing. Initially, the most common treatment of separation is a heap of sunflower seeds occurs because of its aerodynamic properties, and especially the critical speeds withania.

Despite the widespread use of the phenomenon of motion of material particles in modern-zer noochistitelnyh machines associated with the separation of components of the heap, quantitative principles of motion of bodies in view of the resistivity-con air and now in need of additional study.

Analysis of the values showed that the weight-personal admixture of its critical speed range is practically a part of the high-grade sunflower seed, with the exception of the crushing, which together with the light impurities will go to waste.

The paper identified the fractional composition and properties of the AE-pled oilseeds sunflower, Grain entering the complex of the South of Ukraine. The analysis of existing technological means cleaning of oilseeds and justified flowsheet sifter.

A scheme of technological and work process high-pnevmore shetnogo separator with a closed air system are shown aspects of the justification of parameters and operating modes sifter oilseeds. A method for setting the parameters and operating modes sifter.

Key words: after-ripening grain processing, material, model, functioning index

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ШИРОКОКОЛЕЙНОГО АГРОСРЕДСТВА ПРИ КИНЕМАТИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ЕГО УПРАВЛЕНИЯ

Владимир Кувачев

*Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, 72310, Украина. E-mail: kuvachoff@mail.ru*

Vladimir Kuvachov

*Tavria State Agrotechnological University
B. Khmelnytsky Avenue, 18, Melitopol, 72310, Ukraine. E-mail: kuvachoff@mail.ru*

Аннотация. Перспективными энерготехнологическими средствами для колёсной системы земледелия являются специализированные ширококолёсные агросредства мостового типа. Их управление может строиться за кинематическим или силовым принципом осуществления поворота. При кинематическом повороте применяются схемы поворотом управляемых колёс (передних, задних или одновременно и передних, и задних) относительно остова машины. Наибольшее распространение у мостовых тракторов получили схемы поворота с управляемыми колёсами.

В статье представлены теоретические основы динамики плоскопараллельного движения специализированного ширококолёсного агросредства в горизонтальной плоскости при кинематическом способе его управления (поворотом колёс).

В основу теоретических исследований положены основные принципы теоретической механики, теории мобильных энергетических средств, статистической динамики и теории автоматического регулирования линейных динамических систем при воспроизведении ими статистически случайных управляющих и возмущающих входных воздействий. В основу анализа оценки степени влияния схемы и параметров исследуемого агросредства на его управляемость и устойчивость движения положены амплитудные и фазовые частотные характеристики. Физическим объектом теоретических исследований являлся опытный образец специализированного агросредства с шириной колеи 2,8 м.

Математические модели движения агросредства представлены в дифференциальной и операторной форме записи. На основании математических моделей построены расчетные амплитудно- и фазово-частотные характеристики отработки динамической системой управляющего воздействия, представленное средним углом поворота передних колёс агросредства, при различных поступательных скоростях его движения. Построенные математические модели, амплитудно- и фазово-частотные характеристики позволяют оценить влияние параметра управляющего воздействия специализированного ширококолёсного агросредства, а также его конструктивных и других параметров на управляемость и устойчивость движения.

Ключевые слова: Controlled Traffic Farming, Wide Span Tractor, колёсное земледелие, мостовой трактор, теоретические исследования, движение в горизонтальной плоскости.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Разработка и распространение в последние годы систем «точного земледелия», развитие информационных технологий и т.п. позволили сформулировать концепцию управляемого адаптивного земледелия, то есть определить место и роль механизированных технологий и машин в производстве рентабельной продукции [1]. Исходя из вышеупомянутой концепции следует, что средства механизации для сельскохозяйственного производства должны быть максимально эффективными.

Стремительное развитие колёсной системы земледелия (Controlled Traffic Farming - CTF) [2-5] в последнее время в мире убедительно свидетельствует о широких перспективах использования «мостовых тракторов» (Wide Span Tractor) [6, 7].

Мостовой трактор для колёсной системы земледелия, как и любое мобильное энергосредство, представляет собой сложный объект управления, которое может быть адаптировано к ручному или автоматическому управлению и построено за кинематическим или силовым принципом осуществления поворота [8]. Кинематический поворот, как известно, реализуется поворотом управляемых колёс (передних, задних или одновременно и передних, и задних) относительно остова машины. Наибольшее распространение получили схемы поворота мостовых тракторов с управляемыми колёсами [6, 7].

Известно, что работа какой-либо колёсной машины происходит в условиях действия большого количества возмущающих факторов (сил и их моментов), которые изменяют ее положение в пространстве и отклоняют движение от заданной траектории [9].

Качество отработки тот или иной динамической системы входных переменных зависит от ее характеристик. Относительно ширококолёсного агросредства мостового типа такими есть его схема, а также конструктивные и другие параметры. Поэтому, правильный выбор последних, с позиции нужной управляемости и устойчивости его движения, обеспечивает агросредству оптимальное преобразование управля-

ющего и возмущающего воздействия, действующих на него.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В Украине ученые Таврического государственного агротехнологического университета (г. Мелитополь) создали исследовательский образец специализированного ширококолейного агросредства, предназначенного для выполнения практической всего комплекса сельскохозяйственных работ, движение которого на поле осуществляется по следам постоянной технологической колеи [10, 13]. Согласно требованиям автоматизации указанные специализированные ширококолейные агросредства целесообразно подчинять принципам функционирования координатно-транспортной системы [14].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является разработка динамической модели плоско-параллельного движения в горизонтальной плоскости ширококолейного агросредства при кинематическом способе его управления (поворотом колес), с помощью которой необходимо исследовать влияние параметров внешних воздействий, а также его конструктивно-технологических и других параметров на управляемость и устойчивость движения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В основу теоретических исследований положены основы теоретической механики, теории мобильных энергетических средств, статистической динамики и теории автоматического регулирования линейных динамических систем при воспроизведении ими статистически случайных управляющих и возмущающих входных воздействий. В частности, в основу анализа оценки степени влияния схемы и параметров исследуемого агросредства на его управляемость и устойчивость движения положены амплитудные и фазовые частотные характеристики [15, 16].

Ширококолейное специализированное агросредство представляет собой довольно сложную динамическую систему. Эта сложность определена ее многомерностью, высоким порядком дифференциальных уравнений движения и особенно наличием нелинейных зависимостей между ее отдельными координатами. Поэтому, на данном этапе изучения динамики ширококолейного агросредства целесообразно рассмотреть его упрощенную схему в виде стационарной линейной модели (рис. 1). Такая идеализация системы во многих случаях, например [17], довольно эффективна для сложных сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления, динамика которых изученная еще недостаточно.

В представленной схеме (рис. 1) влияние всех сил, действующих на агросредство со стороны сельскохозяйственных орудий, выразим через их главный вектор R (составляющие R' и R'' соответственно) и главный момент M_R .

Характер возмущений в полной мере зависит от конструктивной схемы агросредства и его технологического назначения.

С учетом вышеизложенных предположений примем, что исследуемое агросредство осуществляет на гоне равномерное поступательное движение со скоростью V_0 относительно неподвижной горизонтальной плоскости XOY (рис. 1).

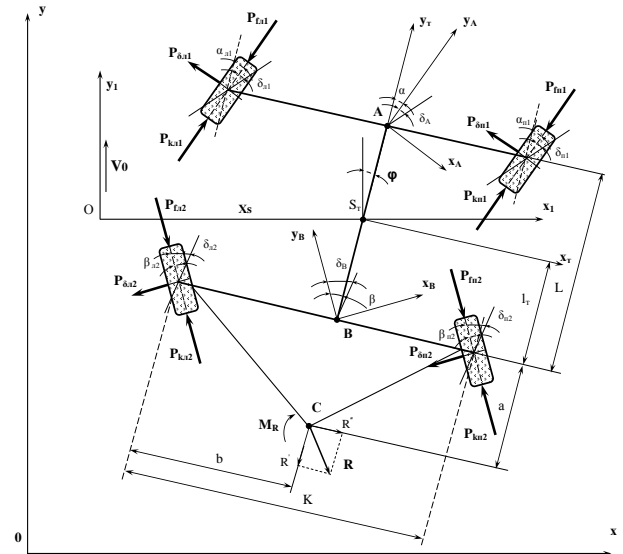


Рис. 1. Схема сил, действующих на агросредство в горизонтальной плоскости при кинематическом способе его управления (поворотом колес)

Fig. 1. Scheme of the forces acting on Wide Span Means in a horizontal plane when the kinematics method of its control (wheel rotation)

В процессе выполнения работы его остов под влиянием случайных возмущений отклоняется от начального положения и получает дополнительные скорости, - начинается его относительное движение по отношению к плоскости X_1OY_1 . При этом плоскость $X_T S_T Y_T$, связанная с центром масс агросредства, оборачивает его в плоскости X_1OY_1 вокруг оси, проходящей через точку S_T . Мерой этого поворота служит угол φ , который построен продольной осью $S_T Y_T$ агросредства и осью OY_1 . В процессе относительного движения его центр масс перемещается по оси OX_1 , что характеризуется изменением абсциссы X_s . Таким образом, исследуемое агросредство по отношению к плоскости X_1OY_1 имеет две степени свободы, которым соответствуют две обобщенные координаты: угол φ и перемещение абсциссы X_s центра его масс S_T .

Следует отметить, что даже в линейной интерпретации математическая модель движения ширококолейного агросредства представляет собой систему довольно сложных дифференциальных уравнений. Поэтому, с целью упрощения их составления, приняты следующие допущения: крен и дифферент агросредства отсутствуют; агросредство рассматривается как физическое твердое тело, которое имеет продольную плоскость симметрии, проходящую через центр его масс; колебание тягового сопротивления сельскохозяйственных орудий существенно не влияет на скорость поступательного движения, в силу чего она принимается постоянной; боковое взаимодействие шин агросредства с деформируемой поверхностью рассматривается в рамках гипотезы "бокового увода" [18]; гироскопические и

стабилизирующие моменты шин и моменты сопротивления их скручиванию, относительно вертикальной оси, в силу их малости не учитываются.

При математическом моделировании движения в горизонтальной плоскости ширококолейного агросредства динамическую модель его функционирования удобно рассматривать в виде реакций на входные управляющие и возмущающие влияния, которые однозначно определяют в первом случае - управляемость, а во втором - устойчивость его движения [19].

К внешним силам, действующим на агросредство при его плоско-параллельном движении, можно отнести:

- силы сопротивления перекатывания передних (P_{fn1}, P_{fn1}) и задних (P_{fn2}, P_{fn2}) колес агросредства;
- касательные силы $P_{kn1}, P_{kn2}, P_{kn1}, P_{kn2}$;
- боковые силы $P_{\delta n1}, P_{\delta n2}, P_{\delta n1}, P_{\delta n2}$, которые приводят к возникновению углов увода передних δ_{n1}, δ_{n1} и задних δ_{n2}, δ_{n2} колес агросредства;
- главный вектор R и главный момент M_R сил, действующих со стороны сельскохозяйственных орудий.

Для математического описания бокового взаимодействия колесного транспортного средства с агрофоном наиболее часто используется гипотеза «бокового увода» в линейной интерпретации [18]. В этом случае для определения боковых горизонтальных сил в местах контакта колес с почвой используют коэффициенты сопротивления боковому уводу шин согласно гипотезе Рокара [18]. Итак:

$$\begin{aligned} P_{\delta n1} &= k_{n1} \cdot \delta_{n1}, & P_{\delta n1} &= k_{n1} \cdot \delta_{n1}, \\ P_{\delta n2} &= k_{n2} \cdot \delta_{n2}, & P_{\delta n2} &= k_{n2} \cdot \delta_{n2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где: k_{n1}, k_{n1} и k_{n2}, k_{n2} – коэффициенты сопротивления увода передних и задних колес агросредства.

Дифференциальные уравнения движения агросредства по отношению к плоскости X_1OY_1 (см. рис. 1) будем составлять в виде уравнений Лагранжа второго рода.

Кинетическая энергия агросредства относительно плоскости X_1OY_1 (рис. 1) состоит из двух слагаемых, отображающих его поступательное и вращательное движение

$$T = (M_m \cdot V_{sm} + J_{sm} \cdot \omega_m) / 2, \quad (2)$$

где: M_m – масса агросредства; V_{sm} – линейная скорость центра масс агросредства относительно плоскости X_1OY_1 ; J_{sm} – момент инерции агросредства относительно его центра масс, рассчитывается по методике [20]; ω_m – угловая скорость агросредства.

Очевидно, что

$$V_{sm} = \dot{X}_S, \quad \omega_m = \dot{\varphi}. \quad (3)$$

После подстановки в (2) производных угловых и линейных скоростей (3) получим:

$$T = 0,5(M_m \cdot \dot{X}_S^2 + J_m \cdot \dot{\varphi}^2). \quad (4)$$

Взяв производные по принятым обобщенным координатам, после дифференцирования получим:

$$\begin{cases} M_m \cdot \ddot{X}_S = Q_x; \\ J_m \cdot \ddot{\varphi} = Q_\varphi, \end{cases} \quad (5)$$

где: Q_x и Q_φ – обобщенные силы, определяющие перемещение агросредства по соответствующим обобщенным координатам.

С учетом малости последних, уравнения для определения обобщенных сил имеют вид:

$$\begin{aligned} Q_x &= (P_{kn1} - P_{fn1} + P_{kn1} - P_{fn1}) \cdot \alpha - \\ &- (P_{kn2} - P_{fn2} + P_{kn2} - P_{fn2}) \cdot \beta + R'' - P_{\delta n1} - P_{\delta n2} - P_{\delta n1} - P_{\delta n2}; \\ Q_\varphi &= (L - l_m) \left[(P_{kn1} - P_{fn1}) + (P_{kn1} - P_{fn1}) \right] \cdot \alpha + \\ &+ l_m \left[(P_{kn2} - P_{fn2}) + (P_{kn2} - P_{fn2}) \right] \cdot \beta + \\ &+ b(P_{kn1} - P_{fn1} + P_{kn2} - P_{fn2}) - (K - b)(P_{kn1} - P_{fn1} + P_{kn2} - P_{fn2}) - \\ &- (L - l_m)(P_{\delta n1} + P_{\delta n1}) + l_m(P_{\delta n2} + P_{\delta n2}) + M_R - R''(l_m + a), \end{aligned} \quad (6)$$

где: L, l_m и K, a – конструктивные параметры прицепа которых понятна из рис. 1, α и β – средние углы поворота передних и задних колес соответственно.

Используя методику [18] определения углов увода шин и боковых сил, после подстановки (6) в (5) и проведение ряда преобразований получим математическую модель движения ширококолейного агросредства в горизонтальной плоскости при кинематическом способе его управления в дифференциальной форме записи:

$$\begin{cases} A_{11} \cdot \ddot{X}_S + A_{12} \cdot \dot{X}_S + A_{13} \cdot \dot{\varphi} + A_{14} \cdot \varphi = f_{11} \cdot \alpha + f_{12} \cdot \beta + R'', \\ A_{21} \cdot \ddot{\varphi} + A_{22} \cdot \dot{\varphi} + A_{23} \cdot \varphi + A_{24} \cdot \dot{X}_S = f_{21} \cdot \alpha + f_{22} \cdot \beta - \\ - R''(l_m + a) + M_R - (K - b)(P_{kn1} - P_{fn1} + P_{kn2} - P_{fn2}) \\ + b(P_{kn1} - P_{fn1} + P_{kn2} - P_{fn2}), \end{cases} \quad (7)$$

где: $A_{11} = M_m$;

$$\begin{aligned} A_{12} &= (k_{n1} + k_{n2} + k_{n1} + k_{n2}) / V_0; \\ A_{13} &= ((k_{n1} + k_{n1})(L - l_m) - (k_{n2} + k_{n2}) \cdot l_m) / V_0; \\ A_{14} &= - (k_{n1} + k_{n2} + k_{n1} + k_{n2}); \\ f_{11} &= (P_{kn1} - P_{fn1} + P_{kn1} - P_{fn1}) + k_{n1} + k_{n1}; \\ f_{12} &= k_{n2} + k_{n2} - (P_{kn2} - P_{fn2} + P_{kn2} - P_{fn2}); \\ A_{21} &= J_m; \\ A_{22} &= ((k_{n1} - k_{n1})(L - l_m)^2 + (k_{n2} - k_{n2}) \cdot l_m^2) / V_0; \\ A_{23} &= -(k_{n1} + k_{n1})(L - l_m) + (k_{n2} + k_{n2}) \cdot l_m; \\ A_{24} &= (k_{n1} + k_{n1})(L - l_m) - (k_{n2} + k_{n2}) \cdot l_m / V_0; \\ f_{21} &= (L - l_m) \cdot ((P_{kn1} - P_{fn1}) + (P_{kn1} - P_{fn1}) + k_{n1} + k_{n1}); \\ f_{22} &= l_m \cdot ((P_{kn2} - P_{fn2}) - (P_{kn2} - P_{fn2}) - k_{n2} - k_{n2}). \end{aligned}$$

В операторной форме записи система уравнений (7) имеет вид:

$$\begin{cases} K_{11} \cdot X_S(s) + K_{12} \cdot \varphi(s) = F_{11} \cdot \alpha + F_{12} \cdot \beta + F_{13} \cdot R'' + \\ + F_{14} \cdot M_R + F_{15}, \\ K_{21} \cdot X_S(s) + K_{22} \cdot \varphi(s) = F_{21} \cdot \alpha + F_{22} \cdot \beta + F_{23} \cdot R'' + \\ + F_{24} \cdot M_R + F_{25}, \end{cases} \quad (8)$$

где: $K_{11} = A_{11} \cdot s^2 + A_{12} \cdot s$; $K_{21} = A_{24} \cdot s$;
 $K_{12} = A_{13} \cdot s + A_{14}$; $K_{22} = A_{21} \cdot s^2 + A_{22} \cdot s + A_{23}$;
 $F_{11} = f_{11}$; $F_{21} = f_{21}$;
 $F_{12} = f_{12}$; $F_{22} = f_{22}$;
 $F_{13} = 1$; $F_{23} = -(l_m + a)$;
 $F_{14} = 0$; $F_{24} = 1$;
 $F_{15} = 0$;
 $F_{25} = -(K - b) \cdot (P_{kn1} - P_{fn1} + P_{kn2} - P_{fn2}) +$
 $+ b \cdot (P_{kn1} - P_{fn1} + P_{kn2} - P_{fn2})$;
 $s = d/dt$ – оператор дифференцирования.

Построенные математические модели (7) и (8) позволяют оценить устойчивость и управляемость движения практически любого ширококолейного агросредства при его кинематическом способе

управления.

В математической модели рассматриваемой динамической системы в операторной форме записи (8) операторами управляющего воздействия являются углы поворота передних α и задних β колес. А характеристиками возмущающего воздействия являются: составляющая R'' главного вектора R сопротивления сельскохозяйственного орудия и главный момент M_R .

Для построения амплитудно- и фазово-частотных характеристик выражения передаточных функций динамики плоско-параллельного движения в горизонтальной плоскости ширококолейного агросредства при кинематическом способе его управления имеют вид:

1) по управляющему воздействию угла поворота передних колес α :

- по линейному перемещению X_S

$$W_1 = \frac{D_1 + (0,5L - l_m) \cdot D_3}{D_\Delta}, \quad (9)$$

- относительно курсового угла φ

$$W_3 = \frac{D_3}{D_\Delta}; \quad (10)$$

2) по возмущающему воздействию силы R'' :

- по линейному перемещению X_S

$$W_2 = \frac{D_2 + (0,5L - l_m) \cdot D_4}{D_\Delta}, \quad (11)$$

- относительно курсового угла φ

$$W_4 = \frac{D_4}{D_\Delta}, \quad (12)$$

где: $D_\Delta, D_1 \dots D_4$ – определители, выражения которых определяются следующим образом:

$$D_\Delta = K_{11} \cdot K_{12} - K_{12} \cdot K_{21};$$

$$D_1 = A_{21} \cdot f_{11} \cdot s^2 + (A_{22} \cdot f_{11} - A_{13} \cdot f_{21}) \cdot s + (A_{23} \cdot f_{11} - A_{14} \cdot f_{21});$$

$$D_2 = A_{21} \cdot F_{13} \cdot s^2 + (A_{22} \cdot F_{13} - A_{13} \cdot F_{23}) \cdot s + (A_{23} \cdot F_{13} - A_{14} \cdot F_{23});$$

$$D_3 = A_{11} \cdot f_{21} \cdot s^2 + (A_{12} \cdot f_{21} - A_{24} \cdot f_{11}) \cdot s;$$

$$D_4 = A_{11} \cdot F_{23} \cdot s^2 + (A_{12} \cdot F_{23} - A_{24} \cdot F_{13}) \cdot s.$$

После подстановки указанных определителей в (9-12) каждая i -ая передаточная функция примет вид:

$$W_i = \frac{b_2 \cdot s^2 + b_1 \cdot s + b_0}{a_4 \cdot s^4 + a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0}, \quad (15)$$

где: $a_4 = A_{11} \cdot A_{21}$; $a_3 = A_{11} \cdot A_{22} + A_{12} \cdot A_{21}$; $a_2 = A_{11} \cdot A_{23} + A_{12} \cdot A_{22} - A_{13} \cdot A_{24}$; $a_1 = A_{12} \cdot A_{23} - A_{14} \cdot A_{24}$; $a_0 = 0$; $b_0 \dots b_2$ – коэффициенты, природа которых обусловлена функциональной связью конструктивно-технологических параметров исследуемого агросредства и характеристиками возмущающего и управляющего воздействий:

- для W_1 : $b_2 = (0,5L - l_m) \cdot A_{11} \cdot f_{21} + A_{24} \cdot f_{11}$;

$b_1 = A_{12} \cdot f_{11} - A_{13} \cdot f_{21} + (0,5L - l_m) \cdot (A_{12} \cdot f_{21} - A_{24} \cdot f_{11})$;

$b_0 = A_{23} \cdot f_{11} - A_{14} \cdot f_{21}$;

- для W_2 : $b_2 = (0,5L - l_m) \cdot A_{11} \cdot F_{23} + A_{24} \cdot F_{13}$;

$b_1 = A_{22} \cdot F_{13} - A_{13} \cdot F_{23} + (0,5L - l_m) \cdot (A_{12} \cdot F_{23} - A_{24} \cdot F_{13})$;

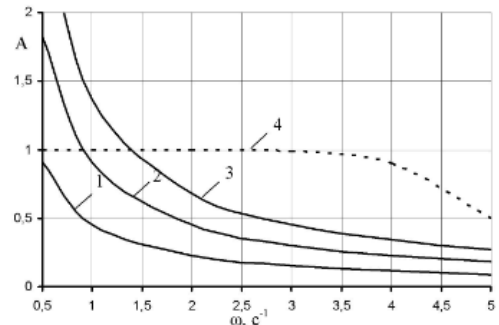
$b_0 = A_{23} \cdot F_{13} - A_{14} \cdot F_{23}$;

- для W_3 : $b_2 = A_{11} \cdot f_{21}$; $b_1 = A_{12} \cdot f_{21} - A_{24} \cdot f_{11}$; $b_0 = 0$;

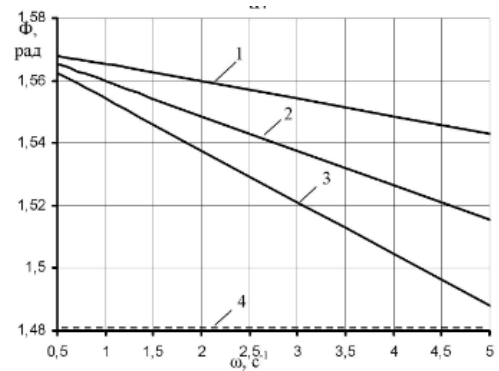
- для W_4 : $b_2 = A_{11} \cdot F_{23}$; $b_1 = A_{12} \cdot F_{23} - A_{24} \cdot F_{13}$; $b_0 = 0$.

Физическим объектом теоретических исследований являлся опытный образец специализированного агросредства для колеевой системы земледелия, разработанный в Таврическом государственном агротехнологическом университете [9]. Расчет амплитудно- и фазово-частотных характеристик (рис. 2) осуществлялся при следующих конструктивно-технологических параметрах агросредства:

$M_m = 1000$ кг, $J_m = 1125$ кг·м², $K = 2,8$ м, $L = 2,3$ м, $l_m = 1,15$ м, $a = 1$ м, $b = 1,5$ м, шины марки 11,2R32 со следующими параметрами: $k_r = k_n = 33446$ Н/град, $p_{ш} = 0,15$ МПа, $r_k = 0,6457$ м, $b_{ш} = 0,284$ м.



а)



б)

Рис. 2. Амплитудно- (а) и фазово-частотные характеристики обработки агросредством управляющего воздействия (угла поворота α передних колес) при различных скоростях его движения: 1 – 1 м/с; 2 – 2 м/с; 3 – 3 м/с; 4 – идеальные характеристики

Fig. 2. Amplitude (a) and phase (b) frequency characteristics of the practice Wide Span Tractor control action (the rotation angle α of the front wheels) at various speeds of motion: 1 – 1 m/s; 2 – 2 m/s; 3 – 3 m/s; 4 – ideal characteristics

Анализ расчетных амплитудно- и фазово-частотных характеристик (рис. 2) показал, что управляемость ширококолейного агросредства существенно зависит от скорости его движения. При низких скоростях движения ($V_0 = 1$ м/с) имеем существенное недорегулирование в динамической системе управляющего воздействия (угла поворота α передних колес) (кривая 1, рис. 2а). При этом желаемая частота колебаний угла поворота α передних колес находится

на уровне $0,5 \text{ с}^{-1}$, где значение коэффициента усиления входного управляющего воздействия приближается к $A = 1$. Вместе с тем, увеличение скорости движения агросредства до 2 и 3 м/с на низких частотах ($\omega < 1,3 \text{ с}^{-1}$) способствует перерегулированию динамической системы (кривая 2 и 3, рис. 2а), а на частотах $\omega > 1,3 \text{ с}^{-1}$ наоборот - приближает характеристики к идеальной.

Что касается фазового сдвига отработки динамической системой управляющего воздействия, то при увеличении рабочих скоростей движения агросредства до 3 м/с (кривая 3, рис. 2б) фазово-частотная характеристика наиболее близка к идеальной.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны математические модели и получены новые закономерности плоско-параллельного движения ширококолейного агросредства для колеиной системы земледелия при кинематическом способе его управления.

2. Разработанные теоретические основы позволяют осуществлять обоснование новых схем, конструктивных параметров и режимов работы ширококолейного агросредства с приемлемой управляемостью и устойчивостью его движения в горизонтальной плоскости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Shevchenko I. 2006.** Адаптивные экофильные технологии и машины для обработки почвы как основа развития системы управляемого земледелия. MOTROL. № 8, 198–203.
2. **Controlled Traffic Farming – CTF.** Available online at: www.controlledtrafficfarming.com.
3. **Скуратович А. 2008.** Не давите мужики! Не давите!... Обзор: Как выращивать растения и не утаптывать почву. Электронный ресурс: www.METODOLOG.ru.
4. **Улексин В.А. 2008.** Мостовое земледелие. Монография. Днепропетровск, 224.
5. **Надыкто В.Т., Улексин В.А. 2008.** Колеиная и мостовая системы земледелия. Монография. Мелитополь, 270. (Украина).
6. **Chamen W.C.T. 2013.** Wide Span CTF. Available online at: <http://ctfeurope.co.uk/WhatIs/Wide-Span-CTF.aspx>.
7. **Pedersen H.H. 2013.** User requirements for a Wide Span Tractor for Controlled Traffic Farming. Available online at: <http://cigr.org/>.
8. **Улексин В.А. 2011.** Автоматизация управления транспортным средством в мостовом земледелии. Вестник Харьковского НТУСГ им. П. Василенко. Механизация сельскохозяйственного производства. Вып. 107. Т. 2. (Украина).
9. **Гуськов В.В. 1984.** Тракторы: Теория. М.: Машиностроение, 374.

10. **Кувачев В.П., Шульга А.В. 2014.** Пат. №93888 Украина. Мостовое средство для сельскохозяйственных работ. Бюл. № 20. (Украина).
11. **Кувачев В.П., Митков В.Б. 2013.** Способ реализации мостового земледелия. Пат. №84884 Украина. Бюл. №21. (Украина).
12. **Кувачев В.П., Куценко Ю.Н., Ковалев О.В. 2012.** Электрифицированный агромодуль – эффективное решение проблем механизации сельскохозяйственного производства. Труды Таврического ГАТУ. Вып. 12. Т. 2, 86–92. (Украина).
13. **Кувачев В.П. 2013.** Обоснование энергонасыщенности самоходных энерготехнологических средств мостового типа. Сборник научных статей Ставропольского ГАУ по материалам VIII Международной научно-практической конференции «Ресурсо- и энергосбережение в АПК. 101–110.
14. **Кувачев В.П. 2013.** Землеиспользование при обустройстве поля для работы энерготехнологических средств мостового типа. Научный вестник Таврического ГАТУ. Вып. 1. Т. 3, 116–126. (Украина).
15. **Лурье А.Б. 1979.** Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. Л.: Колос, 376.
16. **Лурье А.Б. 1976.** Автоматизация сельскохозяйственных агрегатов. Л.: Колос, 264.
17. **Tayanowskiy G., Tanaś W. 2006.** Учет динамики колебаний трактора в оценке его навесоспособности и нагруженности мостов. MOTROL. 8А, 271–279.
18. **Яровой В.Г. 1970.** Исследование бокового увода тракторных шин и его влияние на некоторые показатели криволинейного движения агрегата: автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. Харьков, 21.
19. **Надыкто В.Т. 2003.** Основы агрегатирования модульных энергетических средств. Мелитополь: КП «ММД», 240.
20. **Тимофеев А.И. 1971.** Движение мобильных сельскохозяйственных машин и агрегатов: автореф. дис. на соискание научной степени докт. техн. наук / Москва, 58.

MODELING OF WIDE SPAN TRACTOR PLANE-PARALLEL MOVEMENT IN HORIZONTAL PLANE UNDER THE KINEMATIC METHOD OF ITS CONTROL

Summary. Wide span tractors are advanced energy and technological means for controlled traffic farming. Control of modern wheeled vehicles may be adapted to manual operation and can be built according to kinematic turning or forced principle of turning. Under kinematic the schemes for controlled turning wheels have been implemented (front, rear, or front and rear simultaneously) relative to a frame of the machine. The most widespread scheme of turning for wide span tractors are the schemes of steerable wheels turning.

The theoretical foundations of the dynamics of plane-parallel motion of a wide span tractor in a horizontal plane under the kinematic method of its control (wheels turning) have been presents in the article.

In a theoretical study based on the foundations of theoretical mechanics, theory of mobile power equipment, statistical dynamics and the theory of automatic control of linear dynamical systems when the restoration work of their governing statistically control and disturbing input actions. The analysis is assessment of the degree of influence of the scheme and parameters of the studied wide span tractor on its handling and stability of motion based on the amplitude and phase frequency characteristics. Physical object of theoretical studies was the prototype of a specialized wide span tractor with a track of 2.8 m.

A mathematical model of motion wide span tractor in differential operator form of the record are outlined. Calculated amplitude- and phase-frequency characteristics of mining dynamic system control action, represented by the middle angle of the front wheels wide span tractor, under different forward speeds its movement is built on the basis of mathematical models. Constructed mathematical model, the amplitude- and phase-frequency characteristics allow us to estimate the effect of the control action of a wide span tractor, as well as engineering and other parameters on the handling and stability of motion.

Key words: Controlled Traffic Farming, Wide Span Tractor, treadway agriculture, theoretical studies, the movement in the horizontal plane.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ КОЛЕБАНИЙ РЫХЛИТЕЛЯ ПЛУГА ДЛЯ ВЫКОПКИ САЖЕНЦЕВ

Александр Матковский

Таврический государственный агротехнологический университет

Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, 72310, Украина. E-mail: aimatkovski@mail.ru

Aleksandr Matkovskyi

Tavria State Agrotechnological University

B. Khmelnitsky Avenue, 18, Melitopol, 72310, Ukraine. E-mail: aimatkovski@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен механизированный процесс выкопки саженцев плодовых культур с рыхлением почвенного пласта и сепарацией грунтовых агрегатов. Процесс предполагает перемещение почвенного пласта с корневой системой саженца на высоту, превышающую глубину выкопки. Обеспечение необходимой степени разрыхления почвенного пласта с корневой системой позволяет создать оптимальные условия труда работников на выборке саженцев по показателям трудового процесса. Корневая система саженцев во время выборки размещается в почвенном слое с достаточно нарушенными связями между почвенными агрегатами. Такое состояние позволяет извлекать саженцы из почвы с минимальными повреждениями корней. Исследовано движение почвенного пласта с саженцем по колеблющемуся рыхлителю и определены режимы колебаний, способствующие снижению силы связей между почвенными агрегатами. Приведен метод определения режимов колебаний рыхлителя выкопочно-го плуга при перемещении и рыхлении почвы с корневой системой саженцев на поверхность поля. Определена критическая частота вращения приводного вала для режима колебаний с подбрасыванием почвы. Рассмотрены условия перемещения почвы с саженцами по рабочим поверхностям рыхлителя значительной длины, которое приводит к увеличению усилий на обеспечение движения. Такое перемещение требует исследования с целью создания поверхностей, имеющих меньшую площадь контакта и время нахождения во взаимодействии. Доказано, что рыхление почвы с корневой системой саженцев будет достаточным, если во время извлечения саженцев из почвы рабочими, усилия на их вытягивание не превышают нормативных требований. Такие условия труда можно обеспечить при режиме работы рыхлителя с подбрасыванием почвы с корневой системой саженцев.

Ключевые слова: выкопочно-й плуг, параметры разрыхлителя, режим колебаний, выкапывание саженцев.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Технологический процесс выкапывания саженцев выкопочно-м плугом вмещает операции отделения (вырезание) и перемещения грунтового пласта с корневой системой саженца на высоту, превышаю-

щую глубину выкапывания с последующим гравитационным падением на дно борозды [1, 2, 3,4]. Следующей операцией является выборка, которая осуществляется извлечением саженцев из почвы [5]. Усилия на вытягивание саженцев должно соответствовать условиям труда по показателям трудового процесса. На усилия влияет степень разрыхления почвы.

Перемещение почвы по рабочим поверхностям, имеющих значительную длину приводит к повышению усилий на обеспечение движения [6, 7, 8]. Это можно отнести к задачам, требующих рассмотрения для уменьшения площади контакта и время нахождения во взаимодействии [9, 10, 11].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Изучению механики движения почвенного слоя посвящены исследования, касающиеся двугранного и трехгранного клина [12, 13, 14, 15, 16]. В данных работах перемещение грунта, при условии подпора со стороны неразрушенной почвенной среды, происходит по поверхностям параметры положения которых остаются неизменными. Отличаются условия движения, если положения поверхностей изменяется от колебаний во время перемещения почвы и дополнительно ставится задача разрушения связей между почвенными агрегатами. Это требует изучения условий обеспечения такого движения и влияния колебаний на разрыхление почвы [17, 18].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследовать движение почвенного пласта и саженцев по рыхлителю для определения режимов колебаний активного разрушения связей между почвенными агрегатами.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рабочий орган состоит из выкопочно-й скобы и рыхлителя, установленного на выкопочно-м плуге ВПН - 2. Отделение почвы с корневой системой саженца осуществляется выкопочно-й скобой 6, шарнирно присоединенным к ней рыхлителем 4 осуществляет дальнейшее перемещение её к поверхности поля (рис. 1).

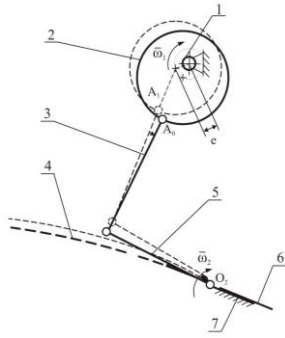


Рис. 1. Кинематическая схема привода разрыхлителя плуга: 1 – приводной вал; 2 – эксцентрик; 3 – эксцентриковая тяга; 4 – разрыхлитель; 5 – рычаг; 6 – выкопчная скоба; 7 – башмак.

Fig. 1. Kinematic scheme for plough ripper drive: 1 – drive shaft, 2 – eccentric, 3 – eccentric drive, 4 – ripper, 5 – lever, 6 – undercutter, 7 – bearing plate

Разрыхлитель колеблется вокруг горизонтальной оси продольно направлению движения выкопчного плуга от воздействия на него через рычаг 5 эксцентриковой тяги 3, которая приводится во вращение через эксцентрик 2 приводным валом 1.

Перемещение грунта с корневой системой происходит при его скольжении по поверхности, обеспечивается силой подпора со стороны неразрушенного почвенного горизонта. Это возможно когда сила сопротивления пласта сжатию будет достаточно для преодоления сил трения. Поэтому деформацию сжатия пласта за счет сил трения и веса во время его движения по поверхности разрыхлителя можно не учитывать. Принимаем за основу недеформированную модель отделенной почвы с корневой системой [19, 20].

Рассмотрим движение почвенных агрегатов с корневой системой после схода со скобы, как объекта, на который направлено действие разрыхлителя. Почва с корневой системой, двигаясь по разрыхлителю, производит относительное к нему и переносное с ним движение. Колебания разрыхлителя вызывают у почвенных агрегатов с корневой системой поворотное переносное движение. Абсолютное движение почвенных агрегатов происходит по отношению к полю. Если рассматривать движение почвы с корневой системой в отношении разрыхлителя, который движется относительно грунтового массива (поля), то имеем случай относительного движения.

Изобразим схему ускорений и скоростей для материальной точке С в которой сконцентрировано массу системы «почва - корневая система саженца» во время движения по разрыхлителю для случая когда он движется вниз (рис. 2).

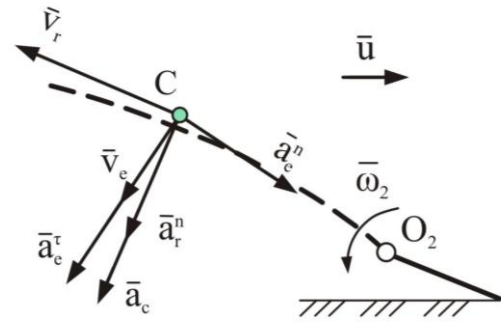


Рис. 2. Ускорения и скорости системы «почва - корневая система» т. С во время движения разрыхлителя вниз

Fig. 2. Acceleration and speeds in point C when ripper moves downward

На схеме (рис.2) для т. С отражены ускорения: \bar{a}_e^τ – касательное ускорение переносного движения, \bar{a}_e^n – нормальное ускорение переносного движения,

\bar{a}_n – ускорение Кориолиса; скорости: \bar{u} – скорость движения агрегата, \bar{v}_r – относительная скорость (по модулю равна скорости агрегата).

Выберем систему подвижных осей координат Сху (рис. 3), связанной с разрыхлителем, ось Сх направим по направлению относительной скорости (левая система осей координат). Сделаем допущения: движение почвы с корневой системой по направлению оси х будет прямолинейным, считая малую кривизну поверхности разрыхлителя (для предварительно принятого радиуса его дуги). Траектория перемещения т. С от колебаний разрыхлителя в направлении оси у будет прямолинейной в виду малого угла колебаний.

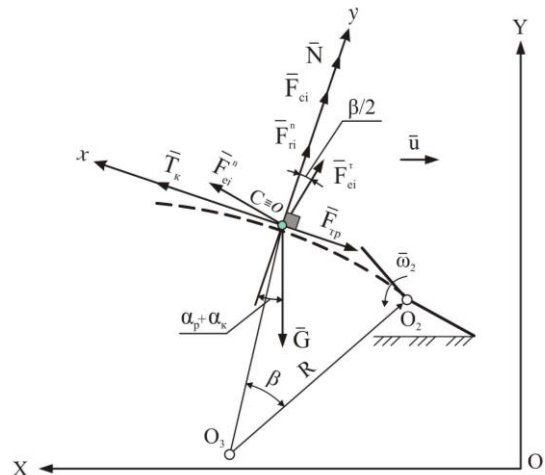


Рис. 3. Схема сил, действующих на т.С время движения по разрыхлителю вниз

Fig. 3. Scheme of forces acting on point C when ripper moves upward

Уравнения относительного движения грунтовых агрегатов для случая движения разрыхлителя вниз имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= \dot{\alpha}_e + F_{ei}^n \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ei}^\tau \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) - G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_e) - F_{\delta\delta} = 0 \\ m\ddot{y} &= N + F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ei}^\tau - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_e) - F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) - F_{ci} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Уравнение относительного движения грунто-
вых агрегатов для случая движения рыхлителя вниз
по оси у имеют вид:

$$m\ddot{y} = N + F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ri}^n - F_{ei}^t \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ci} - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_e) \quad (2)$$

Составляющие уравнения (2):

переносная касательная сила инерции:

$$F_{ei}^t = m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t}{l_{\hat{a}}}, \quad (3)$$

кориолисова сила инерции:

$$F_{ci} = 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) v_r}{l_{\hat{a}}}, \quad (4)$$

относительная нормальная сила инерции:

$$F_{r3}^n = m \frac{v_r^2}{R}, \quad (5)$$

сила тяжести:

$$G = m \cdot g. \quad (6)$$

Грунтовые агрегаты остаются на поверхности
рыхлителя при колебаниях, если $N > 0$. Если это
условие не выполняется, то они отрываются от по-
верхности и тогда $F_{mp} = Nf = 0$.

Уравнение (6) полета грунтовых агрегатов по-
сле сокращения на m примет вид:

$$\ddot{y} = \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \frac{v_r^2}{R} + \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + 2 \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} - g \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right)}{1} \quad (7)$$

где: e – эксцентриситет, ω_1 – угловая скорость экс-
центрика, l – длина рычага; R – радиус кривизны
поверхности; t – момент времени; g – ускорение
свободного падения.

Условие динамического равновесия в момент
отрыва почвы с корневой системой, когда $\ddot{y} = 0$
имеет вид:

$$\left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \frac{v_r^2}{R} + \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + 2 \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} - g \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right)}{1} = 0. \quad (8)$$

Максимальное ускорение

$e \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \omega_1^2 = e \cdot \omega_1^2$ возможно для первого оборо-
та эксцентрика при $\omega_1 \cdot t = \pi$, поэтому уравнение (8)
примет вид:

$$\frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right)}{l} = g \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) - \frac{v_r^2}{R} \quad (9)$$

Левая часть уравнения (9) является ускорением
колебаний. Параметр кинематического режима K
составит:

$$\hat{E} = \frac{e \cdot \omega_1^2}{g} = \frac{l \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) - \frac{v_r^2}{R}}{v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right)}. \quad (10)$$

По величине коэффициента K можно получить
режимы работы рыхлителя: если $K > 1$ – движение
почвенных агрегатов происходит с отрывом от по-
верхности рыхлителя (режим с подбрасыванием);
если $K < 1$ – движение почвенных агрегатов проис-
ходит без отрыва от поверхности рыхлителя.

В уравнении (10) если выразить угловую ско-
рость эксцентрика через число оборотов:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (11)$$

то можно определить критическую частоту рашения
эксцентрика для режима с подбрасыванием:

$$n_e \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) - \frac{v_r^2}{R}}{e \cdot v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{R}\right)}} \cdot l. \quad (12)$$

Полученная зависимость дает возможность
рассчитать и выбрать необходимые пределы изме-
нения конструктивных параметров и режимов рабо-
ты рыхлителя при экспериментальных исследовани-
ях.

По полученной формуле (14) для n_k построен
график критической частоты вращения эксцентрика,
где есть область (отмечена заливкой) когда движе-
ние грунтовых агрегатов с корневой системой будет
происходить с отрывом от поверхности рыхлителя.
Расчет выполнен для исходных данных: $v_r = 1,5$ м /
с;

$e = 0,019$ м; $\omega_1 = 40$ рад / с; $\alpha_p = 0,38$ рад; $l = 0,4$
м;
 $g = 9,81$ м / с²; $R = 2,7$ м; $L = 1$

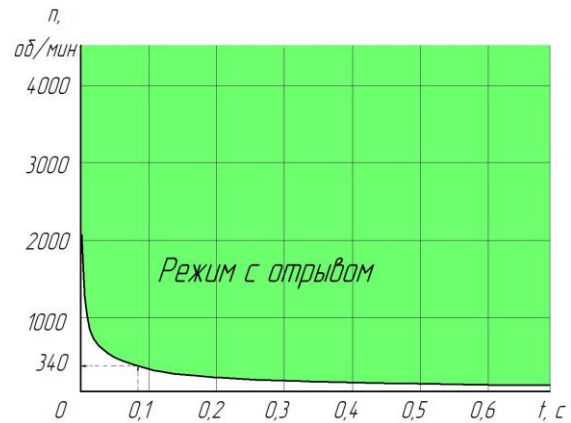


Рис. 4. Критическая частоты вращения эксцен-
трика в функции от времени взаимодействия t рых-
лителя с почвой

Fig. 4. The curve of eccentric rotation critical
frequency during integration t ripper and soil

График (рис. 4) позволяет определять критиче-
ские обороты эксцентрика. Для исходных парамет-
ров: l , e , v_r нужно определить время начала отрыва,
зависящее от количества колебаний n и длины рых-
лителя L . Сначала, определяется время перемещения
почвенных агрегатов по рыхлительно после их схода
со скобы до падения на дно борозды:

$$T = \frac{L}{v_r}. \quad (13)$$

Далее, задавшись числом колебаний рыхлителя n за время T , определяем продолжительность одного колебания:

$$t_{\hat{e}} = \frac{T}{n}. \quad (14)$$

Необходимо, чтобы отрыв грунтовых агрегатов начался за время больше половины первого периода вращения эксцентрика, поэтому время отрыва составит:

$$t_{\hat{a}} \geq \frac{t_{\hat{e}}}{2}. \quad (15)$$

Для $n = 4$ время отрыва составит $t_{\hat{a}} = 0,083$ с., которое откладываем на оси времени (рис. 4) и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой графика. Далее опускаем перпендикуляр на ось значений частоты вращения и получаем значения критических оборотов $n_k \approx 340$ об / мин.

ВЫВОДЫ

По результатам исследований получена зависимость для определения параметров и кинематических режимов работы рыхлителя, позволяющая провести выбор и последующую оптимизацию:

1. конструктивных параметров: длины рычага, длины рыхлителя, величины эксцентриситета;
2. кинематических параметров: частоты вращения эксцентрика, количества колебаний рыхлителя за время взаимодействия с почвой и саженцами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Фришев С.Г. 1997.** Для выкапывания саженцев плодовых культур. Техника в АПК. № 2, 28–29. (Украина).
2. **Сафонов О.А. 1997.** Механизация выращивания саженцев. Техника в АПК. № 2, 26–27. (Украина).
3. **Клиновой С.И. 1994** Обоснование технологического процесса выкопки саженцев и параметров вибрационного копателя : автореф. дис. канд. техн. наук. М.: [б. в.], 25.
4. **Фришев С.Г. 1998.** Обоснование и разработка технологического комплекса машин для возделывания посадочного материала плодовых культур: дис... док. техн. наук : 05.20.01 К : 296
5. **Коваль Я. 2013.** Изгиб корня под воздействием рабочего органа корчевательной машины. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture –Vol. 15. No 3. 288-292
6. **Бледных В.С., Олейников С.В. 1984.** Построение рабочей поверхности корпуса плуга на основе технологических требований. Совершенствование методов использования сельскохозяйственной техники. Научн. труды ЧИМЭСХ. Челябинск. 82–85
7. **Бледных В.С. 1990.** Тяговое сопротивление рабочих органов почвообрабатывающих машин. Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов. Сбор. научн. трудов. ЧИМЭСХ. Челябинск. 10–16.
8. Вопросы технологии механизации сельскохозяйственного производства. 1963. ЦНИИМи-ЭСХ Нечерноземной зоны СССР. Минск.: Госиздат с -х . литературы БССР, 263.
9. **Ксендзов В.А. Байдулетов К.О. 1991.** Механика взаимодействия двугранного клина со связным пластом почвы. Тракторы и сельскохозяйственные машины. №3, 27–28.
10. **Флайшер Н.М. 1979.** К теории тягового сопротивления плуга. Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. №35, 46–50.
11. **Баловнев В.И. 1981.** Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно - строительных машин. Москва, 335.
12. **Строй А.А. 1986.** К обоснованию некоторых размеров колеблющейся трапецеи-дальной рамки выкопной скобы. Совершенствование процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин. Сборник научных трудов УСХА. Киев, 99-104
13. **Клецкин Н.И. 1980.** Сельскохозяйственные машины. М.: Машиностроение, 431.
14. **Синеоков Г.Н., Панов И.М. 1977.** Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 328.
15. **Зеленин А.Н. 1968.** Основы разрушения грунтов механическими способами М.: Машиностроение, 376.
16. **Павлов А.В., Корабельский В.И., Павлоцкий А.С. 1975.** Геометрическое обоснование формы поверхности, совмещающей рациональное резание пласта почвы с его деформацией. Сб. прикл. геом. и инж. граф. № 19, 127 – 127.
17. **Грибановский А.П. 1974.** Оценка влияния скорости резания и геометрических параметров двугранного клина на его тяговое сопротивление. Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. №1, 96–99.
18. **Грушанский О.А. 1994.** Исследование технологии и обоснование параметров рабочего органа машины для пересадки крупномерных деревьев с комом земли : автореф. дис. на получение наук. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства». Украинский госуд. агр. ун-т. Киев, 29.
19. **Кудриницкий Р.Б. 2001.** Взаимодействие двугранного клина с почвой. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Вип. 85. 85–90. (Украина).
20. **Kovbasa V. 2011.** Fizichni tivnyannya deformuvannya gruntu z suttevim proyavom v' yazkoplastichnikh vlastivostey./ Volodymyr

**DETERMINATION OF PARAMETERS AND
MODES OF PLOUGH LIFTER FLUCTUATIONS
FOR NURSERY TRANSPLANTS EXCAVATION**

Summary. The mechanized process of fruit trees stocks digging out with loosening the soil layer and ground aggregates separation has been considered in the article. The process presupposes the soil layer moving with stock root system at the height exceeding the digging out depth. Proving the needed degree of soil layer loosening with root system enables to create optimal conditions for workers when sampling the stocks by work flows indices. The root system of the stock in the course of sampling is located in the ground layer having seriously damaged connections between ground aggregates. Such a state enables to dig the stocks out of the soil with minimal damage of the roots. The moving of the soil layer with stocks along oscillating ripper has been researched as well as the oscillating modes providing the decrease of the connections between ground aggregates have been defined. The technique for determining parameters of digger lifter to study the fluctuation

modes during breaking up of with nursery transplant root system on field surface have been suggested. The method for defining the excavating plough ripper oscillation modes when moving and loosening the soil with planting stocks root system to the field surface has been given. The critical frequency of driving shaft rotation for the mode with throwing soil up has been defined. The conditions of moving the soil with planting stocks along the working surfaces of the ripper having considerable length results to increasing the efforts for proving the movement have been considered. The above movement needs studying in order to create surfaces possessing smaller contact surface and time of being in the interaction. It was proved that soil loosening with planting stocks root system will be sufficient if under extracting the planting stocks from the soil by the workers the efforts needed for their extracting don't exceed normative requirements. These operation conditions may be provided under the ripper operation mode with throwing soil up with planting stocks root system.

Keywords: digger, lifter parameters, fluctuation modes, excavation of nursery transplants.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАРАБАННОГО ДОЗАТОРА С ЯЧЕИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Дмитрий Милько

*Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина. E-mail: milko_dmitry@mail.ru*

Dmitry Milko

*Tavria State Agrotechnological University
B. Khmelnitsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. E-mail: milko_dmitry@mail.ru*

Аннотация. В статье приведен анализ последних актуальных исследований в области решений вопросов дозирования сыпучих материалов. Большое внимание в статье уделено исследованиям качественных показателей процесса дозирования, а именно неравномерности внесения сыпучих материалов. Для исследования зависимостей неравномерности дозирования от конструктивно-кинематических параметров барабанного дозатора сыпучих материалов с решетчатой поверхностью был создан экспериментальный образец дозатора с возможностью изменения частоты вращения барабана и сменными рабочими поверхностями с различным диаметром ячеек. В качестве дозируемого сыпучего материала использовалась поваренная соль различной степени помола и строительная смесь для штукатурных работ соответственно с размерами 0,8, 0,41, 0,02 мм. Размеры диаметра ячеек изменялись в пределах от 3,5 до 5,5 мм с интервалом изменения в 1 мм. Изменение частоты вращения барабана с ячеистой поверхностью производилось в интервале от 16 до 82 об/мин. Также в статье представлены элементы методики проведения экспериментальных исследований и анализ полученных данных.

Зависимость неравномерности дозирования от конструктивно-кинематических параметров представлена как математически, так и графически в парных взаимодействиях факторов, а именно от частоты вращения и размера дозируемого материала при разных значениях диаметра ячеек на поверхности дозирования барабанного дозатора.

Представленные данные позволяют определить рациональные конструктивно-кинематические параметры барабанного дозатора с ячеистой поверхностью дозирования, которые влияют на неравномерность процесса дозирования. Полученный коэффициент вариации может говорить о сравнительно низкой неравномерности процесса дозирования а, следовательно, и возможности применения данной конструкции в промышленных целях.

Ключевые слова: барабанный дозатор, сыпучие материалы, экспериментальные исследования, ячеистая поверхность, неравномерность дозирования.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из основных условий снижения себестоимости производства животноводческой продукции является полноценное кормление животных. Отрасль кормоприготовления включает в себя множество аспектов. Но неотъемлемой частью практически всех процессов кормозаготовки, кормоприготовления и раздачи кормов является дозирование. Причем дозирование сыпучих компонентов по-прежнему занимает преимущественные позиции. В связи с этим необходимо отметить необходимость создания средств механизации дозирования с возможностями регулирования неравномерности дозирования в зависимости от требуемой точности. Достаточно известен факт о том, что повышая качество дозирования (неравномерность), значительно усложняется конструкция самого устройства, что приводит к повышению себестоимости производимого продукта. Исходя из этого ученые пытаются прибегнуть к компромиссу – создание недорогих дозирующих устройств с приемлемыми качественными показателями. Именно такая задача и преследовалась при создании барабанного дозатора с ячеистой поверхностью.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Весомый вклад в развитие и решение вопросов дозирования сыпучих материалов внесли Ю. Д. Видинеев, П. М. Василенко, Л. Я. Степук, Г. А. Рогатинский, С. П. Орлов, И. Г. Бойко и ряд других. Учитывая исследования названных авторов можно прийти к однозначному выводу, о том, что основным качественным показателем процесса является неравномерность дозирования. В свою очередь неравномерность дозирования зависит от конструктивных особенностей дозирующей установки [1, 2, 3, 4], которые и влияют на формирование и выдачу дозы материала [5, 6]. В исследованиях процессов дозирования оценивание качества процесса производится согласно отраслевому стандарту, через относительное среднеквадратическое отклонение или коэффициент вариации [7, 8, 9].

$$V = 100 \cdot \frac{s}{\bar{x}}, \quad (1)$$

где: \bar{x} – среднее значение массы порции; s – среднеквадратичное отклонение.

Определение \bar{x} и s производится с использование статистических функций пакета анализа MS Excel соответственно СРЗНАЧ и СТАНДОТКЛОН.В [10].

Для проведения экспериментальных исследований с учетом необходимых требований к процессу дозирования сыпучих компонентов на базе Таврического государственного агротехнологического университета был создан дозатор с ячеистой поверхностью барабана (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальный образец барабанного дозатора с ячеистой поверхностью.

Fig. 1. The experimental sample of drum dispenser with mesh surface.

ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Цель работы - получение экспериментальных зависимостей влияния конструктивно-кинематических параметров барабанного дозатора сыпучих компонентов с ячеистой поверхностью на неравномерность дозирования.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для решения поставленного задания использована методика планирования многофакторного эксперимента и реализован трехуровневый план второго порядка Бокса – Бенкина [11, 12, 13, 14].

В результате предварительных исследований было установлено, что основное влияние на неравномерность дозирования предложенного образца оказывают следующие факторы: частота вращения барабана n , диаметр ячеек поверхности

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов при проведении экспериментальных исследований.

Table 1. Levels and intervals of varying factors in conducting experimental research.

Уровни и интервалы варьирования	Кодовое обозначение	Факторы и их обозначение		
		Скорость вращения барабана n , об/мин.	Средняя длина частиц материала l , мм	Диаметр ячеек поверхности барабана d , мм
		X_1	X_2	X_3
Верхний уровень	+1	82	0,8	5,5
Основной уровень	0	49	0,41	4,5
Нижний уровень	-1	16	0,02	3,5
Интервал варьирования	ϵ	33	0,39	1

барабана d , а так же величина частиц дозируемого материала l [12, 13, 14].

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в таблице 1.

Выполнение экспериментальных исследований осуществлялось следующим образом. Испытуемый материал в порядке исследования (смесь для стартовой обработки стен $l = 0,02$ мм, соль поваренная «экстра» $l = 0,41$ мм, соль поваренная «каменная» $l = 0,8$ мм) засыпали в бункер и включали дозатор, в процессе работы дозатора материал направлялся в пробоотборник.

Исследования выполнялись в трехкратной повторности с взятием согласно [9] тридцати проб.

После заполнения пробоотборника пробы взвешивались на электронных весах с точностью дозирования 0,5 г. По полученным результатам согласно формулы (1) определялся коэффициент вариации, который и характеризует качество работы дозирующего устройства. Последовательность выполнения экспериментальных исследований выполнялась согласно с существующими методиками [15, 16].

Для получения регрессионной модели использовался пакет прикладных программ Statistica, который также автоматически рассчитывает и статистически оценивает значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента, ее адекватность по критерию Фишера и работоспособность по коэффициенту детерминации [17].

В результате расчетов было получено уравнение регрессии неравномерности дозирования, которое выглядит следующим образом

$$\begin{aligned} v = & 14,45031 - 0,00466n - 4,23687d - 5,81171l - \\ & - 0,00265nd + 0,05525nl - 2,74105dl - \\ & - 0,00013n^2 + 0,51696d^2 + 59,1934l^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Статистический анализ уравнения (2) показал, что все коэффициенты регрессионной модели статистически значимы на принятом уровне значимости 0,05, модель адекватна, т. к. фактическое значение критерия Фишера больше критического - $F_p = 13,797 > F_{05(9,71)} = 2,015$. Коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0,798 > 0,75$, что свидетельствует о работоспособности модели.

Для графической интерпретации полученных результатов исследования были построены поверхности отклика с помощью прикладной программы MATLAB [18, 19, 20], которые представлены на (рис. 2, 3, 4).

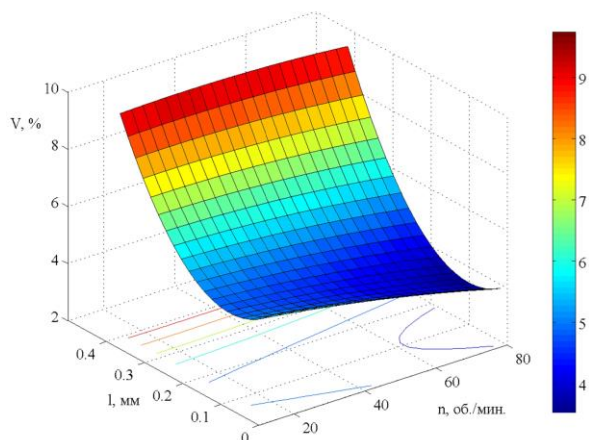


Рис. 2. Графическая интерпретация зависимости неравномерности дозирования от скорости вращения барабана n и величины частиц дозируемого материала l при диаметре ячеек дозирующей поверхности $d = 3,5$ мм

Fig. 2. The graphical interpretation of irregular dosing depending on drum speed n and the particle size of the dispensed material l cells with a diameter of the metering surface $d = 3,5$ mm

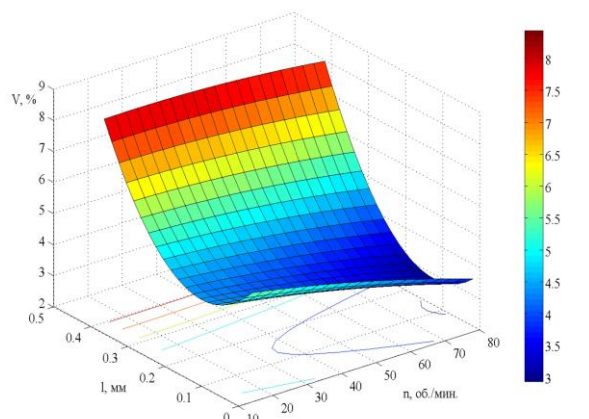


Рис. 3. Графическая интерпретация зависимости неравномерности дозирования от скорости вращения барабана n и величины частиц дозируемого материала l при диаметре ячеек дозирующей поверхности $d = 4,5$ мм

Fig. 3. The graphical interpretation of irregular dosing depending on drum speed n and the particle size of the dispensed material l cells with a diameter of the metering surface $d = 4,5$ mm

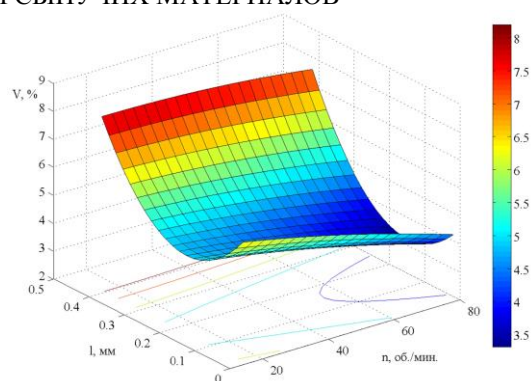


Рис. 4. Графическая интерпретация зависимости неравномерности дозирования от скорости вращения барабана n и величины частиц дозируемого материала l при диаметре ячеек дозирующей поверхности $d = 5,5$ мм

Fig. 4. The graphical interpretation of irregular dosing depending on drum speed n and the particle size of the dispensed material l cells with a diameter of the metering surface $d = 5,5$ mm

Анализируя приведенные поверхности следует отметить, что наблюдается снижение коэффициента вариации с увеличением частоты вращения барабана и находится в пределах 2,8%, однако учитывая тот факт, что дальнейшее повышение частоты вращения (свыше 82 об./мин.) приводит к повышенным энергетическим затратам считаем это не целесообразным [21]. Также следует учесть размер дозируемого материала, величина которого должна находиться в пределах 0,15-0,17 мм, тем самым обеспечивая наименьшую неравномерность дозирования. Причем наилучший эффект покажут барабаны с ячеистой поверхностью, у которых диаметр будет приближен к 5 мм.

ВЫВОДЫ

1. Применение методики планирования многофакторного эксперимента позволило определить оптимальные технологические и конструктивные параметры барабанного дозатора с ячеистой поверхностью дозирования.

2. Для обеспечения минимального значения коэффициента вариации, равного 2,8 %: скорость вращения барабана составляет 78 - 82 об./мин., диаметр ячеек дозирующей поверхности барабана 5 мм, размер частиц дозируемого материала 0,15-0,17 мм

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. **Степук Л.Я. 1986.** Механизация дозирования в кормоприготовлении. Минск: Ураджай, 152.
2. **Сиротюк В.М. 2011.** Экспериментальные исследования режимов работы энергосберегающего вибрационного дозатора сыпучих кормов. Мотрол, Механизация и электрификация растениеводства. Люблин. Том. 13D. 62-68.
3. **Сиротюк В.М. 2014.** Результаты экспериментального исследования энергосберегающего дозатора сыпучих кормов. Мотрол, Механизация и электрификация растениеводства. Люблин. Том. 16. 148-156.

4. **Мазоренко Д.И. 2014.** Моделирование процессов выхода сыпучих удобрений из дозирующего окна шнекового распределительного устройства. Мотрол, Механизация и электрификация растениеводства. Люблин, Том. 16. №7. 60-70.
5. **Русалев А.М. 2009.** Результаты экспериментальных исследований решетчатого дозатора сыпучих концентрированных кормов. Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенко Вып. 79. 64-72.
6. **Бойко И.Г. 2015.** Методика определения неравномерности дозирования сыпучих материалов с помощью автоматизированного устройства. Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенко Вып. 157. 78-82.
7. **Орлов С.П. 1966.** Дозирующие устройства. М.: Машиностроение, 288.
8. **ОСТ 70.19.2-83. 1984.** Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методика испытаний. Отраслевой стандарт. М.: Издательство стандартов. 114.
9. **Веденеева Е.А. 2008.** Функции и формулы Excel 2007. Библиотека пользователя. СПб.: Питер. 384.
10. **Мельников С.В. 1980.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 168.
11. **Ушкаренко И.А. 1988.** Планирование эксперимента и дисперсный анализ данных полевого опыта. Киев; Одесса: Выща школа. Головное издательство. 120.
12. **14. Митков А.Я. 1978.** Статистические методы в сельхозмашиностроении. М.: Машиностроение. 390.
13. **Веденяпин Г.В. 1973.** Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных. М.: Колос. 199.
14. **ГОСТ 11.004-74 СТ СЭВ 876-78. 1981.** Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для нормального распределения. - Введ. 10.07.1975. - М.: Издательство стандартов, 1981. 20.
15. **Кассандрова О.Н. 1970.** Обработка результатов измерений. М.: Наука. 104.
16. **Боровиков В. 2003.** STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. СПб.: Питер. 688.
17. **Дашенко А.Ф. 2003.** MATLAB в инженерных и научных расчетах. Одесса: Астропринт. 214.
18. **Дьяконов В.П. 2012.** MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс. 768.
19. **Гонсалес Р. 2006.** Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера. 616.
20. **Безпалов Р.И. 2014.** Критериальная модель неравномерности подачи мелкодисперсных материалов. Труды Таврического агротехнологического университета. Вып. 14. Т.3. 210-216.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE DRUM DISPENSER WITH CELLULAR SURFACE FOR LOOSE MATERIALS

Summary. The analysis of recent actual researches in the field of loose materials dosing issues is given at the article. Much attention is paid to the research of dosing process qualitative indicators, namely the unevenness of loose component adding. The experimental sample of the dispenser with the ability to change the drum speed and replaceable working surfaces with different diameter of the cells was created to investigate the dependence of the dosing unevenness from constructive and kinematic parameters of the drum dispenser for loose components with lattice surface Salt varying degrees of grinding and building mixture for plaster works accordingly with the size 0.8, 0.41, 0.02 mm was used as the dosing loose material. Cells diameter sizes varied from 3.5 to 5.5 mm with an interval of change of 1 mm. The changing the rotational speed of the drum surface with cellular was made in the interval between 16 to 82 rotations per minute. The sequence of conducted experimental research and analysis of received data also are illustrated at the article.

The dependence the unevenness dosing from the constructive and kinematic parameters is represented mathematically and with paired interaction of factors, namely rotation frequency and dosing material size or various cell diameter values on the drum dispenser dosing surface.

Presented data allow to determine the rational constructive and kinematic parameters of the drum dispenser with cellular dosing surface that affect to unevenness of the dosing process. Obtained coefficient of variation may indicate comparatively low unevenness of the dosing process and, consequently, the possibility of using this construction for industrial purposes.

Key words: drum dispenser, loose ingredients, experimental research, cellular surface, unevenness of dosing process.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

Александр Скляр, Радмила Скляр

Таврический государственный агротехнологический университет

Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина. E-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

Alexandr Skliar, Radmila Skliar

Tavria State Agrotechnological University

B.Khmelnytsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. E-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

Аннотация. В статье рассмотрены показатели, которые могут служить для наблюдения за биологическим процессом анаэробного разложения в биогазовых установках мокрого брожения. Дебит биогаза - это полученный объем газа за единицу времени, он при известном объеме подачи в реактор и составе субстрата служит в качестве основы для расчета удельного получения биогаза. В связи с дебитом газа можно рассчитать дебит метана - если он существенно падает, несмотря на неизменную загрузку, следует исходить из ингибирующего воздействия на метаногенные археи. Если отношение метан/углекислый газ в биогазе падает, причем состав субстрата не меняется, причина может заключаться в усиленном по сравнению с образованием метана образовании кислоты. Образование уксусной кислоты из высших жирных кислот и преобразование водорода в метан теоретически могут проходить вместе только в узком диапазоне концентрации. Биологические процессы отличаются температурными оптимумами, так как органические структуры при увеличении температуры могут терять свою стабильность и функциональность. Для балансирования процесса разложения нельзя обойтись без точного измерения подаваемого объема субстрата. Так как наряду с жидкими субстратами в реакторы подаются и твердые вещества, используются различные измерительные системы. Для концентрации применяются суммарные параметры, такие как содержание сухого вещества и органического сухого вещества. Оптимальный диапазон показателя кислотности pH для образования метана располагается в узкой полосе между 7 и 7,5, причем образование газа возможно и за пределами этого диапазона. Высокие концентрации аммония действуют как буфер и таким образом повышенные концентрации органических кислот не обязательно ведут к изменениям показателя pH. Плавающие корки и образование пены являются проблемами для оптимизации работы установки.

Ключевые слова: биогаз, измерение, температура, кислотность, микроэлементы, органические кислоты, субстрат, сухое вещество.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Контроль биологического процесса и его регулирование отличаются сложностью. Цель процесса

анаэробного разложения в сельском хозяйстве обычно заключается в получении постоянного объема метана. Наиболее часто используется реактор (полу-) непрерывного действия с механическим перемешиванием. Непрерывное производство метана здесь достигается, если имеется установившийся режим эксплуатации. В этом случае изменения показателей процесса равны нулю и достигается максимальная возможная для процесса скорость реакции [1-4].

Поэтому такие параметры как объемная нагрузка, время пребывания, достижимая степень разложения и скорость производства газа определяются заранее на этапе проектирования установки и выбора субстрата для переработки. Эксплуатационник установки должен обеспечить, чтобы эти параметры по возможности поддерживались неизменными. Впрочем, установившийся режим на практике не достижим, так как неизбежно возникают неполадки (например, изменение свойств субстратов, неполадки и выход из строя насосов, подача в реактор дезинфицирующих средств и т.д.) [5-8]. Эти неполадки ведут к отклонению от заданного состояния, которые должны быть обнаружены, чтобы можно было идентифицировать и устранить причину.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Отклонение от установившегося состояния может быть обнаружено напрямую посредством балансирования материальных потоков [11, 12]. Но на практике [3, 9, 10] точное измерение состава материалов на входе и выходе, а во многих случаях даже измерение фактически поданного в реактор объема субстрата и полученного объема газа являются проблематичными, так что точное закрытое балансирование массы нельзя реализовать с приемлемыми затратами. По этой причине на многих установках используются адаптированные частичные решения, которые не всегда достаточны для обеспечения стабильности процесса.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проанализировать существующие и самые распространенные показатели для оценки биологического процесса анаэробного разложения в биогазовых установках мокрого брожения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Объем образования биогаза является в качестве продукта обмена веществ и целевого параметра важным показателем. Дебит биогаза - это полученный объем газа за единицу времени (например, стк^{-1}), он при известном объеме подачи в реактор и составе субстрата служит в качестве основы для расчета удельного получения биогаза (на субстрат и объем). Без измерения дебита биогаза нельзя обойтись при балансировании процессов обмена веществ и для оценки производительности метаногенной популяции [9].

При установке приборов для измерения количества проходящего газа значение имеет расположение датчиков. Если нужно следить за процессами в отдельных реакторах, то и их дебит биогаза следует регистрировать отдельно. В случае с пленочными крышами для расчета дебита газа следует учитывать объем накопителя, его можно измерять на основании данных об уровне заполнения (например, датчик перемещения с канатной системой), внутреннем давлении и температуре в газовой камере. Датчики в газовой камере должны отвечать требованиям взрывозащиты и должны быть устойчивы к воздействию коррозии и высокой влажности.

Состав биогаза может служить для оценки различных факторов. Ниже даются объяснения по отдельным компонентам и их значению для процесса.

Доля метана в биогазе служит для оценки состояния метаногенного биоценоза. В связи с дебитом газа можно рассчитать дебит метана - если он существенно падает, несмотря на неизменную загрузку, следует исходить из ингибирующего воздействия на метаногенные археи. Для оценки производительности по метану места [9] для измерений следует предусмотреть во всех реакторах. Концентрация метана измеряется в биогазовой технологии при помощи инфракрасных датчиков или датчиков теплопроводности.

Углекислый газ образуется на этапе гидролиза/образования кислоты, а также в процессе образования метана. Он растворяется в воде и образует важный гидрокарбонатный буфер. Если отношение метан/углекислый газ в биогазе падает, причем состав субстрата не меняется, причина может заключаться в усиленном по сравнению с образованием метана образовании кислоты. В таком случае [9] нарушено равновесие массовых потоков процесса разложения. Причина может заключаться в колебании объема подаваемого материала или в ингибирующем воздействии на метаногенную популяцию.

Кислород должен содержаться в биогазе только в том случае, если он добавляется для биологического обессеривания. В этом случае измерение

кислорода может служить для установления необходимого для обессеривания содержания кислорода. Кислород может измеряться электрохимическими и парамагнитными датчиками.

На метаногенные археи воздействуют только высокие концентрации сероводорода (около 20 000 ppm), что на сельскохозяйственных биогазовых установках бывает редко. Измерение сероводорода производится электрохимическими датчиками.

Водород - это важный промежуточный продукт в процессе образования метана, который освобождается преимущественно в ходе образования кислоты, в частности уксусной, а затем преобразуется в метан. Предпринято множество попыток использования концентрации водорода в биогазе для обнаружения технологических неполадок. При этом значение имеет то, что образование уксусной кислоты из высших жирных кислот и преобразование водорода в метан теоретически могут проходить вместе только в узком диапазоне концентрации. Пригодность этого параметра является спорной, так как не всегда можно однозначно соотнести концентрацию водорода в биогазе и неполадку. Концентрацию водорода в биогазе можно просто измерять электрохимическими датчиками.

Скорость реакции растет при увеличении температуры. Но биологические процессы отличаются температурными оптимумами [11,12], так как органические структуры (например, белки) при увеличении температуры могут терять свою стабильность и функциональность. Для технического использования анаэробных процессов различают, в основном, два температурных диапазона:

- мезофильный диапазон около 37 - 43 °C
- термофильный диапазон около 50 - 60 °C

Так как при анаэробной ферментации почти не выделяется тепло (кроме некоторых биогазовых установок на возобновляемом сырье), субстрат нужно нагревать до температуры брожения. При этом важно, чтобы температура поддерживалась на одном уровне. Прежде всего, термофильный процесс чувствительно реагирует на колебания температуры.

Температурные датчики должны монтироваться на разной высоте, благодаря этому можно обнаружить расслоение и недостаточное перемешивание. Кроме того, нужно следить за тем, чтобы датчики не располагались в мертвых зонах или слишком близко к устройствам регулирования температуры. Для измерения температуры подходят резистивные датчики (например, PT 1000 или PT 100) или термоэлементы.

Для балансирования процесса разложения нельзя обойтись без точного измерения подаваемого объема субстрата. Так как наряду с жидкими субстратами в реакторы подаются и твердые вещества, используются различные измерительные системы.

Твердые вещества лучше всего взвешивать, что выполняется при помощи весов пневмоколесных погрузчиков или весовых установок на системах подачи в реакторы. При этом последние отличаются большей точностью и могут интегрироваться в автоматические системы управления технологическими процессами. Для весовых установок

используются датчики давления, которые предполагают наличие „парящих” резервуаров. Поэтому в области этих датчиков нужно избегать загрязнения, а также пополнения промежуточных резервуаров во время загрузки.

Для жидких субстратов на трубопроводах могут использоваться расходомеры, а в случае наличия приемных емкостей соответствующий объем можно получать и при помощи измерителей уровня.

Уровни заполнения (также для реакторов) могут определяться при помощи датчиков давления (гидростатическое давление в реакторе) или ультразвукового либо радарного измерения расстояния до поверхности. При выборе и размещении датчиков нужно следить за тем, чтобы особые эксплуатационные состояния, такие как отложения на днище реактора (например, песок), образование пены, осаждения серы в газовой камере и т.д. не влияли на точность измерений. Кроме того, следует обеспечить взрывозащиту.

Для расходомеров себя зарекомендовали приборы, которые работают без подвижных частей в измеряемой среде. В основном используются индуктивные и емкостные датчики [9, 14], иногда применяются ультразвуковые и теплопроводные датчики. В зависимости от технологии следует обеспечивать достаточный впускной участок перед датчиками для образования ламинарных потоков в трубе.

Наряду с количеством подаваемого субстрата для баланса массы нужно знать его концентрацию и состав.

Для концентрации применяются суммарные параметры, такие как содержание сухого вещества (СВ) и органического сухого вещества (оСВ) [12,19]. Для жидких субстратов также может применяться химическая потребность в кислороде (ХПК), кроме того иногда также используется общее содержание органического углерода (ОСОУ). Практическое значение имеют только два названных первыми показателя.

В качестве первого шага для определения разлагаемых долей в субстрате служит определение содержания воды или сухого вещества. Для этого проба высушивается в лаборатории при температуре 105°C до постоянного веса. Сейчас также уже существуют новые датчики на базе микроволн и ближнего ИК-диапазона, которые обеспечивают измерение указанных параметров без остановки процесса.

Исходные данные для оценки разлагаемости получают путем определения доли органических компонентов в сухом веществе. Органическое сухое вещество - это суммарный параметр, который получают при прокаливании высушенной пробы при температуре 550 °С. Потеря массы, также называется потерей при прокаливании, называется органическим сухим веществом. Этот показатель является суммарным параметром, который не дает никакой информации по разлагаемости или ожидаемому объему производства биогаза из протестируемого вещества. В литературе [10-15] встречаются ориентировочные показатели, при помощи которых, если известен субстрат и содержание оСВ, можно оценить ожидаемый объем производства газа. При вы-

сушивании пробы удаляются летучие вещества (например, отгоняемые с водяным паром кислоты), которые после этого уже не учитываются в результате анализа. Прежде всего, в случае с подкисленными субстратами (например, силосы) вероятны существенные ошибки при оценке газового потенциала. Поэтому Вайсбах разработал поправку, при помощи которой учитываются летучие вещества. Впрочем, этот метод является существенно более затратным [20].

Уточнение характеристики субстрата может быть достигнуто посредством классифицирования составных частей субстрата по Вендеру (сырая клетчатка, сырой белок, сырой жир и экстрактивные вещества без содержания азота, которые в комбинации с коэффициентами перевариваемости описывают, подходят ли органические вещества в качестве кормов) или распределения по Ван Соесту (гемицеллюлоза, целлюлоза и лигнин). Эти составные части определяют вид образованных промежуточных продуктов. Поэтому при внезапных переходах на другой субстрат может иметь место быстрое обогащение промежуточных продуктов, которые не могут разлагаться, так как популяция соответствующих бактерий отсутствует или растет медленно. При помощи анализа корма можно также точнее по сравнению с методом на базе содержания органического сухого вещества определить ожидаемый выход газа. Поэтому этот анализ больше подходит для оценки качества субстратов.

Органические кислоты являются промежуточным продуктом при образовании биогаза. Кислоты диссоциируют в зависимости от показателя рН в водном растворе. Соответствующие доли можно рассчитать следующим образом [9]:

$$f = \frac{10^{pK_s - pH}}{1 + 10^{pK_s - pH}}, \quad (1)$$

где: f – коэффициент диссоциации, pK_s – отрицательный, десятичный логарифм константы кислотной диссоциации; pH – показатель рН.

В установившемся состоянии скорости образования кислоты и преобразования равны, так что концентрация в реакторе является неизменной. Если образование кислот усиливается или/и их разложение затруднено, образовавшиеся кислоты насыщаются и их концентрация увеличивается. Так как рост бактерий согласно описанным Моно законам зависит от концентрации субстрата, увеличение концентрации кислоты влечет за собой увеличение скорости роста, таким образом, процесс в определенных границах стабилизируется самостоятельно. Но если скорость образования кислот постоянно превышает производительность разлагающих кислоты микроорганизмов, концентрация продолжает расти. Если не вмешаться, кислоты накапливаются до точки, в которой буферная емкость сброживаемого субстрата исчерпывается, и показатель рН снижается. Разложение кислоты затрудняется при повышенных концентрациях недиссоциированной доли кислот - этот эффект усиливается при понижении показателя рН.

Тяжело определить граничное значение для максимально допустимой концентрации кислоты в

установившемся состоянии, так как устанавливающаяся концентрация зависит от таких факторов, как время пребывания, используемый субстрат и имеющиеся ингибирующие вещества.

Для оценки процесса важно, чтобы концентрация кислоты оставалась неизменной. Если концентрация кислоты растет, нужно проявлять осторожность. Для оценки проекта в динамических условиях, то есть при изменениях концентрации кислоты, необходимы модели процесса.

Наряду с суммарными параметрами кислот концентрация отдельных кислот может дать дополнительную информацию. Если спектр показывает, что высшие кислоты по сравнению с уксусной кислотой увеличиваются сильнее, то преобразование этих кислот в уксусную кислоту затруднено. Преобразование высших кислот в уксусную кислоту - это эндогенный процесс, который проходит только при малых концентрациях водорода, кроме того, скорость роста этих микроорганизмов незначительна. Вследствие данных неблагоприятных условий эта отдельная фаза может стать узким местом процесса. Увеличенные концентрации пропионовой кислоты соответственно разлагаются медленно.

Биологические процессы сильно зависят от показателя рН. Оптимальный диапазон показателя рН для образования метана располагается в узкой полосе между 7 и 7,5, причем образование газа возможно и за пределами этого диапазона. При одноступенчатых технологиях показатель рН, как правило, устанавливается в оптимальном диапазоне автоматически, так как группы бактерий образуют систему с саморегулированием. При двухступенчатом процессе показатель рН на этапе гидролиза существенно ниже, обычно в диапазоне от 5 до 6,5, так как оптимум образующих кислоты бактерий находится именно здесь. Показатель рН на метаногенной ступени снова увеличивается до нейтрального диапазона благодаря буферной емкости среды и процессам разложения.

Показатель рН контролирует диссоциационное равновесие важных продуктов обмена веществ, таких как аммиак, органические кислоты и сероводород. Буферная емкость среды (в основном гидрокарбоната и аммония) обычно обеспечивает стабильный показатель рН. Но если имеют место существенные изменения и показатель рН выходит из оптимальной зоны, это в большинстве случаев признак серьезных неполадок, которые следует немедленно устранить.

Микроэлементами называются минеральные вещества, которые встречаются в очень незначительных концентрациях. На установках, которые работают исключительно на возобновляемом сырье (также на барде), бывают технологические неполадки, которые могут устраняться добавлением микроэлементов. Неполадки проявляются в уменьшении выхода газа и росте показателя кислотности. На установках, работающих на жидком навозе, такие феномены не наблюдаются. Точные механизмы и фактически лимитирующие вещества до сих пор не определены, но концентрация микроэлементов в

возобновляемом сырье значительно больше их концентрации в местных удобрениях [19].

Имеется информация о том, что добавление ионов железа в форме хлорида или гидроксида железа, которые часто используются для обесщелачивания, могут оказывать стабилизирующее воздействие. Это связано с тем, что сульфид образует тяжело растворимые сульфиды металлов, таким образом, ограничивается доступность микроэлементов. Если сульфид преимущественно связывается железом, увеличивается доступность других металлов.

При разложении органических субстанций, которые содержат азот, он преобразуется в аммиак (NH_3). Аммиак диссоциирует в воде, образуется аммоний. Азот нужен для строительства клеток, так что он является жизненно важным питательным веществом.

С другой стороны удалось доказать, что высокие концентрации аммиака/аммония в субстрате оказывают ингибирующее воздействие на образование метана. О точных механизмах, которые приводят к ингибированию, единое мнение еще отсутствует, но очевидно, что бактерии в состоянии адаптироваться к повышенным концентрациям. Поэтому важно четко указать на допустимые значения, так как реакция на повышенную концентрацию аммиака/аммония зависит от конкретного процесса.

Многое указывает на то, что ингибирующее воздействие восходит от недиссоциированной доли, то есть от аммиака, получается зависимость ингибирующего воздействия от имеющейся концентрации, температуры и показателя рН [19]. Из этого следует подтвержденный на практике вывод о том, что термофильные установки реагируют на высокие концентрации аммония чувствительнее, чем мезофильные установки. Взаимосвязь представлена при помощи следующего уравнения:

$$c_{\text{NH}_3} = c_{\text{NH}_4} \frac{10^{pH}}{e^{\frac{6344}{273+T}} + 10^{pH}}, \quad (2)$$

где: c_{NH_3} – концентрация аммиака ($\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$), c_{NH_4} – концентрация аммония ($\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$), T – температура ($^{\circ}\text{C}$).

Собранные данные из различных публикаций [10-15] по теме ингибирующего воздействия аммиака/аммония подчеркивают, что универсальных заключений по теме ингибирующего воздействия аммиака/ аммония делать нельзя.

При определенных обстоятельствах производство газа на протяжении определенного времени остается неизменным, но кислоты в сбрасываемом субстрате концентрируются. Высокие концентрации аммония действуют как буфер и таким образом повышенные концентрации органических кислот не обязательно ведут к изменениям показателя рН.

При условии продолжительного времени на адаптацию (до одного года) микроорганизмы могут приспособиться к высоким концентрациям аммиака. Исследования на реакторах с неподвижным слоем показали, что они могут лучше, чем реакторы с механическим перемешиванием приспособиться к повышенным концентрациям. Это позволяет сделать

закончение о том, что при адаптации определенную роль играет возраст бактерий - так что в качестве стратегии по борьбе с ингибированием можно выбрать большое время пребывания в реакторах с механическим перемешиванием.

До сих пор нет четкого понимания того, где находятся границы касательно концентрации аммиака, объемной нагрузки и времени пребывания. Для адаптации необходимо время и она связана с колебаниями производительности разложения. Вследствие этого процесс адаптации связан с экономическими рисками.

Аммиак/аммоний может измеряться посредством чувствительных к ионам зондов, кюветных тестов или традиционным образом при помощи дистиллирования и титрования. Использование зондов на практике не распространено, определение посредством анализа проб в лаборатории более распространено. Так как граничная концентрация зависит от конкретного процесса, концентрация аммиака сама по себе недостаточна для того, чтобы делать выводы о состоянии процесса. Наряду с определением содержания аммония всегда нужно определять и показатель рН, чтобы можно было оценить содержание аммиака. В случае неполадок эти данные могут помочь определить их причину.

Образование плавающих корок может представлять собой проблему на установках с волокнистым субстратом. Плавающие корки [15] образуются, если волокнистый материал всплывает и вследствие свойлачивания образует прочную структуру на поверхности. Если корка не размещивается соответствующими мешалками, она может нарастать до толщины в несколько метров. В этом случае ее приходится удалять вручную.

Но определенная стабильность структуры поверхности вполне желательна на установках, обессеривание на которых производится посредством подачи воздуха в газовую камеру. В данном случае поверхность служит в качестве плоскости обитания для обеспечивающих обессеривание бактерий.

Плавающие корки являются проблемой для оптимизации работы установки, в большинстве случаев они обнаруживаются визуально через смотровое окошко. В настоящее время измерительная техника, которая может фиксировать образование плавающих корок, отсутствует.

Образование пены является следствием уменьшения поверхностного натяжения, что вызывается поверхностно активными субстанциями. Точная причина образования пены в процессе образования биогаза неизвестна. Пена появляется при неоптимальных условиях (например, испорченный силос, перегрузка установки в комбинации с высокой концентрацией аммония). Возможно, что причина заключается в концентрировании поверхностно активных промежуточных продуктов или групп бактерий в процессе в комбинации с сильным образованием газа.

Образование пены может регистрироваться при помощи различных датчиков уровня. Так, датчик давления не будет реагировать на пену, а ультразвуковые датчики будут реагировать на пену как на из-

менение поверхности. Разность обеих систем дает высоту пены.

ВЫВОДЫ

1. При балансировании процессов обмена веществ и для оценки производительности метаногенной популяции необходимо измерять дебит биогаза.
2. Если существенно падает дебит метана, несмотря на неизменную загрузку, следует исходить из ингибирующего воздействия на метаногенные археи.
3. Если отношение метан/углекислый газ в биогазе падает, причем состав субстрата не менялся, причина может заключаться в усиленном по сравнению с образованием метана образовании кислоты. В таком случае нарушено равновесие массовых потоков процесса разложения.
4. Весовые установки на системах подачи в реакторы отличаются большей точностью и могут интегрироваться в автоматические системы управления технологическими процессами.
5. Рост бактерий зависит от концентрации субстрата, увеличение концентрации кислоты влечет за собой увеличение скорости роста, таким образом, процесс в определенных границах стабилизируется самостоятельно.
6. Оптимальный диапазон показателя рН для образования метана располагается в диапазоне 7 и 7,5.
7. В качестве краткосрочного решения при образовании пены эффективны антипенные присадки, в долгосрочной перспективе нужно идентифицировать и устранить причину.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Biogas production from animal wastes, energy plants and organic wastes./ [Amon, T., Hackl, E., Jeremic, D., Amon, B. and Boxberger, J.] In: 9th World Congress, Anaerobic Digestion, Anaerobic Conversion for Sustainability. Proceeding part 1, Antwerpen, Belgium, September 2-6; 2001.
2. **Flys I. 2010.** Engineer project management of production and processing. MOTROL. Vol. 12. 75–81.
3. **Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. 1982.** Биогаз: теория и практика. М.: Колос, 148.
4. **Веденев А.Г. 2006.** Биогазовые технологии в Кыргызской Республике. Бишкек: Типография «Евро», 90.
5. **Гюнтер Л.Л., Гольдфарб Л.Л. 1991.** Метантенки. М.: Стройиздат, 128.
6. **Панцхава Е.С., Кошкин Н.Л. 1993.** Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения. Теплоэнергетика. № 4, 20–23.
7. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнев, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К.: «Аграр Медіа Груп», 2011. 612.

8. **Koster, IW; Lettinga, G. 1988.** Anaerobic digestion at extreme ammonia concentrations. *BIOL. WASTES*. Vol. 25. № 1, 51-59.
9. Руководство по биогазу. От получения до использования. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR) [Электронный ресурс] /5- е полностью перераб. издание. - Гюльцов, 2010 г. Режим доступа до журн.: http://esco.co.ua/journal/2012_9/art272.pdf.
10. **Голуб Г., Швец Р. 2014.** Усовершенствование технологической схемы удаления и переработки навоза в органические удобрения и биогаз. *MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture*. Vol.16. No.4. 269-274.
11. **Шацкий В.В., Скляр А.Г., Скляр Р.В., Е.А. Солодка. 2013.** Влияние структуры субстрата на выход биогаза при метановом брожении. Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь: ТГАТУ. Вып. 13. Т. 3, 3 – 12. (Украина)
12. **Скляр А.Г., Скляр Р.В. 2013.** Анализ методов определения времени пребывания и нагрузки на метантенк. Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко. Вып. 148, 405-412. (Украина)
13. **Скляр А.Г., Скляр Р.В. 2012.** Обоснование схемы биогазовой установки с направляющими конусами/ О.Г. Скляр, Р.В. Скляр // Сборник научных трудов Винницкого национального аграрного университета. – Винница. Вып. №11 (65). Т.1, 360-363. (Украина)
14. **Эдер Б., Шульц Х. 1996.** Биогазовые установки. Практическое пособие [Электронный ресурс]/ Режим доступа до журн.: http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practices.pdf - Перевод с немецкого выполнен компанией Zorg Biogas в 2008 г.
15. **Скляр А.Г., Скляр Р.В. 2012.** Обоснование параметров процесса метаногенерации навоза с растительным сырьем. Научный вестник Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь. Вып.2, Т.2, 36-42. (Украина)
16. **Kryvoruchko V., Amon T., Amon B., Dubrovin V., Melnychuk M., Krasowski E. 2012.** Co fermentation of sugar by-products with typical agricultural substrates. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin. Vol. 14. No 3. 32-39.
17. **Мельничук М., Дубровин В, Таргоня В., Драгнев С. 2012.** Методологические основы разработки сельскохозяйственных биоконверсных комплексов. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin. Vol. 15. No 3. 3-12.
18. **Hopfner-Sixt K., Amon T., Bodiroza V., Kryvoruchko V., Milovanovic D., Zollitsch W., Boxberger J. 3/2006.** Biogas production from agricultural resources: characteristic values for material and energetic evaluation. *Landtechnik. Fachzeitschrift für Agrartechnik und ländliches Bauen*. ISSN 0023-8082.
19. **Skliar A., Skliar R. 2014.** Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL. Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin. Vol.16. No2. 183-188.
20. **Вайсбах Ф. и С. Штрубельт. 2008.** Коррекция содержания сухого вещества кукурузного силоса в качестве субстрата для биогаза. Сельскохозяйственная техника 63. Т. 2, 82-83 (Германия)

ANALYSIS OF INDICATORS FOR MONITORING BIOLOGICAL PROCESSES OF ANAEROBIC DIGESTION

Summary. The article describes the indicators that can be used to monitor the biological process of anaerobic digestion in wet fermentation biogas plants. Biogas production rate - is the obtained volume of gas produced per unit of time, it serves as a basis for the calculation of the specific production of biogas with a certain amount of feed to the reactor and the composition of the substrate. In connection with the gas production rate, the methane production rate can be calculated - if it drops significantly, despite invariable loading, it should be based on the inhibitory effects on archaea methanogen. If the ratio of methane / carbon dioxide in the biogas drops, though the solution of the substrate is not changed, the reason could be the enhanced formation of methane in comparison with the formation of acid. The formation of acetic acid from higher fatty acids and the conversion of hydrogen to methane may theoretically implement simultaneously only through a narrow range of concentrations. Biological processes are temperature optima different, since the organic structure while increasing temperature may lose its stability and functionality. To balance the decomposition process the substrate supply volume should be accurately measured. Since the liquid substrates are supplied to the reactor along with solid substances, different measuring systems are used. To apply the concentration total parameters such as dry matter content and organic dry matter are applied. The optimum pH acid value range for methane formation is of limited range between 7 and 7,5. High concentrations of ammonium function as a buffer and thus higher concentrations of organic acids does not necessarily lead to changes in pH. Floating cats and foam formation are the problems to optimize the plant operation.

Key words: biogas, measurement, temperature, acidity, minerals, trace elements, organic acids, substrate, dry matter.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»

Андрей Смелов, Ольга Полудненко

*Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина. E-mail: rm_tdatu@bk.ru*

Andriy Smielov, Olga Poludnenko

*Tavria State Agrotechnological University
B. Khmelnytsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. E-mail: rm_tdatu@bk.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы организации тестового контроля знаний студентов при изучении дисциплины «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения». Дано определение понятию «тест». Приведены основные принципы тестирования. Рассмотрены основные функции контроля: диагностическая, мотивационная, обратной связи, коррекционная, оценочная, которые реализуются в различных видах контроля. Указано назначение тестового контроля, приведены обобщающие критерии современного тестового контроля – научность, технологичность, эффективность. Рассмотрены критериально-ориентированный и нормативно-ориентированный подходы в сфере педагогического тестирования. В статье приведены типичные ошибки экзаменаторов на традиционном устном экзамене, указано на преимущества тестового контроля знаний и практических навыков студентов. Рассмотрены главные требования к разработке тестов, такие как адекватность (валидность); определенность (общее понимание); простота; однозначность и надежность. В работе приведены правила в отношении студентов, которые необходимо выполнять при применении тестового контроля. В статье представлена структурно-логическая схема теста по изучаемой дисциплине. Дана общая характеристика тестовым заданиям первого, второго и третьего уровней сложности. Предложено количественное соотношение заданий первого, второго и третьего уровней сложности при проведении текущего, модульного и итогового контроля по изучаемой дисциплине. В статье приведены примеры тестовых заданий всех трех уровней сложности к модулю «Технические измерения» для контроля знаний студентов направления подготовки «Процессы, машины и оборудование агропромышленного производства». В таблицах представлена система формирования заданий и накопления баллов по модулям и дисциплине в целом. Предложен метод перевода количества полученных баллов в оценку.

Ключевые слова: тест, контроль знаний, критерии контроля, механизм оценивания, тестовые задания

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Присоединение Украины к Болонскому процессу – важный шаг на пути реализации стратегического курса Украины в Европейский Союз. Это требует дальнейших коллективных усилий по обеспечению соответствия отечественного образования европейским стандартам и успешного его вхождения в единое европейское образовательное пространство. Подписание Украиной европейской хартии образования обуславливает поэтапное выполнение нашей страной всех ее требований. Болонская система оценки знаний студентов ассоциируется в первую очередь с модульным контролем, предусматривающим тестирование.

В кредитно-трансферной системе организации учебного процесса, введенной в высших учебных заведениях, значительную роль в обучении играет самостоятельная и индивидуальная работа студентов, что требует осуществления своевременного и качественного контроля результатов учебных достижений студентов, с целью своевременного выявления понимания ими самостоятельно изученного материала, приобретение умений и навыков и проведения необходимой коррекции. Также, всё увереннее заявляет о себе дистанционная форма обучения [1, 2]. В связи с этим возникает необходимость использования методов контроля, с помощью которых можно быстро и качественно проверить знания, умения и навыки большого количества студентов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Одним из наиболее эффективных механизмов оценки является тестирование знаний студентов.

Тестирование как термин в узком смысле означает использование и проведение теста, а в широком – совокупность этапов, планирования, составления и испытания тестов, обработки и интерпретации результатов проведения теста.

Основным понятием тестирования является понятие теста. Слово "тест" в переводе с английского языка означает - попытка, испытания, опыт.

Тест представляет собой стандартизованное, часто ограниченное во времени испытание, предназначенное для установления количественных и качественных индивидуально-психологических особенностей. Как правило, под стандартизацией понимают единообразие процедуры проведения и оценки выполнения теста [3, 4].

Тест достижений - это система заданий специфической формы, определенного содержания, возрастающей сложности, который позволяет качественно оценить структуру и эффективно измерить уровень знаний, умений, навыков и представлений по изучаемой дисциплине [5].

К основным принципам тестирования относятся: объективность измерения; систематичность контроля; открытость; независимость от субъективных оценок преподавателя, стандартизация процедуры оценивания; наличие различных уровней тестирования в зависимости от цели обучения (интеллектуальное развитие, развитие социального интеллекта, подготовка к профессиональной деятельности, формирование мировоззрения и т.д.); валидность и надежность контролируемых задач; применение современных технологий создания и обработки для достижения точности оценивания; организация изучения и учета обратного влияния новых форм контроля на процесс обучения; объективное оценивание степени достижения студентами учебных стандартов [6].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Курс «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения» является логическим завершением цикла общетехнических дисциплин: теории механизмов и машин, технологии конструктивных материалов, сопротивления материалов и деталей машин. Дисциплина «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения» обучает рассматривать задания усовершенствования качества изготовления, эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники комплексно – с позиции стандартизации, обеспечения взаимозаменяемости и контроля установленных технических требований [7].

В педагогической литературе широко обсуждается методика разработки тестовых технологий контроля и их внедрение в педагогическую практику (В.С. Аванесова, К. Ингенкамп, Пол Клайн, А.М. Майоров, Л. Долинер и др.), но следует отметить, что в научной и методической литературе не хватает необходимых материалов для преподавателей. Поэтому необходимо освещение основных критериев, предъявляемых к конструированию тестов, выяснение возможностей использования тестовых заданий в процессе изучения дисциплины «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», создание соответствующей системы тестовых заданий.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА МАТЕРИАЛА

Во многих научных трудах подробно проанализированы и обоснованы в общем количестве око-

ло трех десятков функций контроля, но все они сводятся к трем общим функциям: контролирующая, воспитательная и учебная. Кроме того, контроль выполняет специфические функции – это диагностическая, мотивационная, обратной связи, коррекционная, оценочная функции, которые реализуются в различных видах контроля. В.С. Аванесов определяет следующие функции тестового контроля: диагностическую, учебную, организационную и воспитательную [8, 9].

Диагностическая функция возникает из самой сущности тестового контроля: выявление уровня структуры подготовки получения валидной диагностики на разных этапах обучения.

Организирующая функция проявляется в проведении учебного процесса: в зависимости от результатов контроля принимаются решения преподавателями и студентами.

Воспитательная функция связана с повышением учебной мотивации студента, формированием ответственности за результаты своей учебной работы, самоорганизации процесса обучения и тому подобное.

Обучающая функция реализуется при использовании заданий в тестовой форме для выявления пробелов, дифференциации знания от незнания.

Обобщающими критериями современного тестового контроля являются:

- научность метода, то есть опора на теорию педагогических измерений, теоретический анализ возможностей, эмпирическая проверка, обязательная проверка полученных данных статистическими методами по критериям надежности и валидности;

- технологичность - возможность применения ав-томатизированных методов проверки и обработки результатов;

- эффективность, то есть проверка знаний быстрее по сравнению с традиционными методами, с меньшими затратами.

Исследования психологов показывают, что экзаменационная оценка на традиционном устном экзамене зависит не только от уровня реальных знаний студентов, но и от индивидуальной толерантности к волнениям, умения общаться, приспособиться к экзаменационному стрессу, а также и от типичных ошибок экзаменаторов, к которым относятся [10]:

- чрезмерная снисходительность или строгость;
- искусственное занижение экзаменатором оценки;

- ошибки, вызванные уровнем подготовки группы (в хорошо подготовленной группе экзаменатор склонен занижать оценки, потому, что стремится создать свою схему распределения оценок);

- ошибки, которые получили название "гало - эффект", в которых влияние на оценку оказывает эмоциональные установки экзаменатора относительно студента.

Результат - оценка экзаменатора зачастую не совпадает с той оценкой, которую дает выпускнику реальная жизнь. Тестирование дает возможность оценить знания студента более объективно.

В сфере педагогического тестирования существуют два подхода: нормативно-ориентированный и критериально-ориентированный [11]. Их главное отличие друг от друга заключается в способе интерпретации результатов измерения - тестовых баллов.

Для нормативно-ориентированного подхода характерно сопоставление индивидуального результата с результатами других студентов. Нормативно-ориентированные тесты лучше всего подходят для решения задач, связанных со сравнением уровня учебных достижений, ранжированием и отбором, а именно:

- сравнение индивидуальных результатов студентов со среднегрупповыми;
- сравнение учебных достижений отдельных студентов, проведение на этой основе ранжирования студентов;
- сравнение между собой достижений учебных групп и учебных заведений;
- отбор фиксированного количества испытуемых, например, при приеме в учебные заведения или переходе на следующую ступень (уровень) образования.

В основе критериально-ориентированного подхода лежит сопоставление индивидуальных результатов тестирования с общим объемом знаний, который должен быть усвоен студентом на данном этапе обучения. Критериально-ориентированные тесты используют для решения задач, которые связаны с оценкой доли учебного материала, усвоенного испытуемым, а именно:

- оценка доли учебного материала, усвоенного студентами;
- сопоставление со стандартом образования знаний отдельных студентов, учебных групп;
- аттестация учебных заведений на основе сопоставления знаний со стандартом;
- выбор стратегии дальнейшего обучения;
- диагностика трудностей в обучении;
- отбор испытуемых, которые достигли необходимого уровня знаний, например, после окончания учебного заведения.

Четкое осознание задач педагогического контроля необходимо потому, что от него зависит не только выбор способа интерпретации тестовых баллов, но и методы конструирования и особенности применения педагогических тестов. Возможно сочетание обоих подходов в одном тесте. Такие тесты наиболее информативны, но их разработка отличается повышенной сложностью [12]. Назначение тестового контроля - оценка уровня усвоения знаний и сформированности умений студентов. Методом тестового контроля можно получить оперативную, достоверную информацию о готовности студентов к восприятию нового материала, о знаниях, полученных в процессе обучения. Этот метод признан как надежный и объективный. Его преимущества в следующем: относительная простота реализации; минимальные затраты учебного времени для тестирования и времени преподавателя для проверки работ; скорость получения результатов испытания; наличие нормативной шкалы, с помощью которой определяется степень и качество отклонения от стандар-

тов; возможность проверки качества усвоения как теоретического, так и практического материала; разнообразие самого процесса обучения; использование тестов для компьютеризации [13,14].

Актуальность вопросов совершенствования педагогических оценок на основе тестов заключается в том, что они позволяют получать более тонкое и объективное отличие, которое так необходимо для эффективного управления качеством обучения.

Экзаменационное тестирование является не только более объективным методом оценки, но является методом, который больше щадит студента по сравнению с устным экзаменом. Установлено также и то, что в условиях тестирования уровень экзаменационной тревожности у студентов ниже, а степень внимания выше и физиологические характеристики состояния организма более благоприятные. Кроме этого, к существенным преимуществам тестового экзамена относятся: унификационные требования; единые критерии и нормы оценки; экономия времени преподавателя и студентов.

На тестовом экзамене низкая вероятность формирования у студентов негативных эмоций по отношению к дисциплине: экзамен носит безличный характер, а неудача студента не связывается с личностью экзаменатора.

Применение тестового экзамена требует выполнения некоторых правил в отношении студентов:

- студенты должны быть уверены, что тестирование - более объективная система оценки, с этой целью их необходимо ознакомить с процедурой подготовки тестового экзамена (как проводится отбор заданий и подсчет баллов, какие используются критерии оценки); кроме того, студентам предлагаются методические указания "Как работать с экзаменационным листом";
- задания в тестировании следует располагать в порядке постепенного роста сложности, это способствует снижению эмоционального напряжения в процессе тестирования (чем точнее студент предусмотрит свой результат, тем он активнее и тем меньше у него тревога);
- студентам необходимо сообщить о времени, отведенном на тестирование;
- следует помнить, что у студентов после окончания тестирования растет напряжение из-за ожидания оценки, поэтому подсчет баллов и вывод оценки должны проводиться по возможности в короткие сроки, желателен подсчет баллов на ЭВМ;
- студент должен знать, что после каждого экзамена тест пересматривается [15].

Прежде, чем составлять тесты преподаватель должен проанализировать материал и выделить те блоки, которые будут проверяться методом тестового контроля. Именно преподаватель формирует эталонные требования к теоретическим знаниям и практическим навыкам к каждому блоку учебного материала.

Эталонные требования формируются на основе требований учебных программ и входят в учебно-методический комплекс дисциплины. Они доводятся до сведения студентов, имеющих возможность ознакомиться с ними в кабинетах, читальном зале.

Эталонные требования преподаватель подает в форме уровневых тестов с учетом подготовки студентов. С помощью тестов делается попытка определить подготовку студента к деятельности на том или ином уровне.

Разработка тестов должна отвечать следующим главным требованиям: адекватность (валидность); определенность (общее понимание); простота; однозначность; надежность.

Адекватность делится на функциональную и содержательную. Функциональная адекватность - точное соответствие заданий эталонным требованиям знаний. Например, задания второго уровня выполняются с помощью только второго уровня знаний и не могут быть решены первым уровнем знаний. Содержательно-валидным считается такой тест, для решения которого является достаточным ранее изученный материал. Отсюда определяются соответствующие требования к содержанию учебного процесса.

Определенность (общее понимание) обуславливает построение тестов таким образом, чтобы студент понимал, какие знания, умения и навыки он должен показать и в каком объеме. С этой целью преподаватель в начале тестирования всех студентов проводит экспериментальную проверку возможностей выполнения задач тестов с отдельными студентами. При этом он учитывает правильное понимание требований тестов, устанавливает сроки выполнения тестов, их адекватность.

Простота требует ограничить задания тестов постановкой простых однозначных вопросов, заданий и проблем данного уровня. Если вопрос теста содержит в себе несколько заданий (проблем), студент за счет невнимательности может не ответить полностью, что может стать причиной неверной оценки знаний. Вопрос, задание, проблемы теста лучше формулировать с учетом требований простоты.

Однозначность предусматривает разработку преподавателем эталона последовательности и объема выполнения теста. Материал теста для каждого уровня считается усвоенным, если студент решил 70% задания. Такой подход обусловлен тем, что по данным психологов, уровень 70% является тем крайним пределом, за которым замедляется, а то и вовсе останавливается процесс формирования учебной деятельности. Не имея основы знаний, студент не может успешно работать и продвигаться в своем развитии.

Надежность требует проверки обеспечения последовательных результатов тестирования методами статистического анализа. При составлении тестов разного уровня необходимо рассчитать время для их выполнения, исходя из сложности тестов. Считается целесообразным время выполнения теста студентами увеличить в 4-5 раз от времени, потраченного преподавателем при решении теста.

Такой подход дает объективную оценку знаний студентов и учитывает различные аспекты учебной деятельности: умение узнавать и понимать материал, классифицировать явления и процессы, определять последовательность логических операций, сис-

тематизировать и синтезировать ситуации и процессы.

Отбор заданий по показателям сложности важен для успешного использования тестов. Так при подборе слишком сложных тестовых заданий валидность и надежность теста резко уменьшается. Слишком простые тестовые задания приведут к единообразию теста и его неэффективности [16].

Еще одной особенностью эффективных тестов является дискриминативность. Достижение удовлетворительного распределения показателей является одной из целей автора тестов. С помощью тщательного конструирования теста можно обеспечить соответствующий уровень дискриминативности, а это именно то, в чем тесты выигрывают по сравнению с другими формами контроля знаний [17].

В педагогической диагностике пытаются определить качество результатов измерения (в нашем случае - измерения успеваемости). Стоит отметить, что все вышеназванные критерии направлены на единое общее требование: тестирование должно давать максимально точные сведения об изучаемом явлении [18].

Создание тестовых заданий предусматривает разработку структуры, которую можно было бы легко менять и использовать как для текущего, так и итогового контроля знаний [19, 20]. При создании банков тестовых заданий необходимо к каждому смысловому модулю создать совокупность заданий трех уровней сложности. Данный банк задач будет использоваться при текущем контроле с помощью компьютерной программы. Параметры тестового задания: 10 - 1 уровня сложности, 5 - второго, и 2 - третьего. Структурно-логическая схема теста отдельного раздела может иметь вид, представленный на рис. 1.

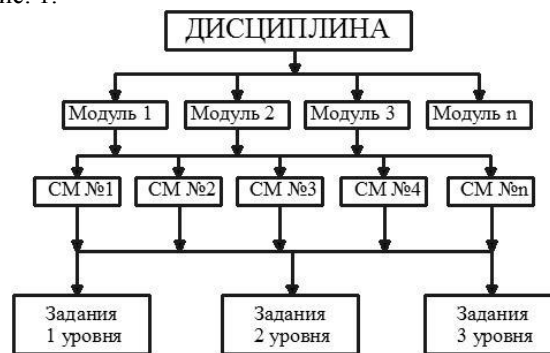


Рис. 1. Структурно-логическая схема теста
Fig. 1. Structure and logic scheme of tests

При проведении модульного контроля используется объединенный банк заданий (все смысловые модули). При проведении контроля результатов обучения по дисциплине используется банк задач из всех модулей. Данный банк может также быть использован при проверке остаточных знаний (ректорского контроля, комплексной контрольной работы и др.). Задания первого уровня сложности - задания выборочного типа, назначение которых - восстановление в памяти студентов изученного теоретического материала. Они несложные, поскольку содержат подсказки для студента, но очень важны. С их помощью проверяются знания теории, без знаний ко-

торой невозможно дальнейшее изучение дисциплины. Во время текущего контроля выполнение задний первого уровня сложности будет способствовать закреплению знаний студентов. К недостаткам данной группы заданий можно отнести то, что студент может "угадать" правильный ответ путем логического исключения неправильных. Но и в этом случае такая постановка заданий будет способствовать развитию логического мышления и применению ранее приобретенных знаний.

Результаты контроля по каждому модулю можно интерпретировать как срез знаний по той или иной теме. С целью экономии времени целесообразно проводить тестовый контроль с помощью компьютерной системы. На текущий контроль, который целесообразно интерпретировать как промежуточный срез знаний, следует отвести один час (или два, если контроль проводится по сложной теме и решения заданий громоздки). Итоговый контроль осуществляется с помощью компьютерного тестирования, для которого используют полный пакет тестовых заданий по изучаемому разделу. Для этого вида контроля целесообразно использовать 20 заданий первого уровня, 6 - второго и 2 третьего уровня.

Пример заданий первого уровня сложности к смысловому модулю «Технические измерения», которые предлагаются студентам направления подготовки «Процессы, машины и оборудование агропромышленного производства»:

1. Плоскопараллельные концевые меры длины - средство для:
 - a. измерения высоты;
 - b. настройки и поверки средств измерения длины;
 - c. измерения отверстий;
 - d. определения пригодности размеров отверстий.

Задания второго уровня подбираются таким образом, чтобы во время их выполнения не нужно было проводить сложные преобразования, проводить расчеты. С другой стороны, для их решения необходимы существенные теоретические знания.

Пример задания второго уровня сложности:

2. Погрешность, которая обеспечивает взаимозаменяемость при сборке:
 - a. грубая ошибка $\Delta_{гр}$;
 - b. предельная погрешность Δ_{lim} ;
 - c. допустимая погрешность δ ;
 - d. систематическая погрешность.

Задания третьего уровня требуют практической реализации. Решение этих заданий требует развитого логического мышления. Варианты ответов отсутствуют, что затрудняет процесс решения, ведь ответ есть той небольшой подсказкой, которая дает возможность ориентироваться, в правильном ли направлении идет ход мыслей. Пример задания третьего уровня:

1. Выберите универсальное средство измерения для определения действительного размера вала $\varnothing 78h6$ мм.

Тестовые задания третьего уровня требуют глубоких знаний. В задачах этого уровня варианты ответов отсутствуют.

Таблица 1. Система формирования заданий и накопления баллов по смысловому модулю

Table 1. System of task creation and score accumulation on content module

Уровни	Количество заданий	Количество баллов за одно задание	Общее количество баллов
Первый уровень сложности	20	1	20
Второй уровень сложности	10	2	20
Третий уровень сложности	1	20	20

Всего 60 баллов

Таблица 2. Система формирования заданий и накопления баллов по модулю

Table 2. System of task creation and score accumulation on module

Уровни	Количество заданий	Количество баллов за одно задание	Общее количество баллов
Первый уровень сложности	40	1	40
Второй уровень сложности	20	2	40
Третий уровень сложности	2	20	40

Всего 120 баллов

Таблица 3. Система формирования заданий и накопления баллов по дисциплине

Table 3. System of task creation and score accumulation on the subject

Уровни	Количество заданий	Количество баллов за одно задание	Общее количество баллов
Первый уровень сложности	80	1	80
Второй уровень сложности	40	2	80
Третий уровень сложности	4	20	80

Всего 240 баллов

Для перевода полученного количества баллов в оценку надо пользоваться процентными расчетами. оценка «А» - от 90 до 100%, оценка «В» - от 82 до 89%, оценка «С» - от 75 до 81%, оценка «D» - от 67 до 74%, оценка «Е» - от 60 до 66%, оценка «FX» - от 35 до 59%, оценка «F» - от 0 до 34%. Так, например, студенту, набравшему 51 балл в тестировании по

смысловому модулю, засчитывается 85 баллов и выставляется оценка «В».

Оценка знаний по предложенной методике проводится на специальности «Машиностроение» Таврического государственного агротехнологического университета.

ВЫВОДЫ

1. Задача вуза - сделать контроль уровня знаний студентов предсказуемым, обязательным, правильным, не отпугивать, а стимулировать к более содержательному и глубокому изучению дисциплины, к творческому поиску.

2. Тестовая система оценивания знаний должна отражать глубину усвоения учебного материала; обеспечивать объективность и индивидуальный подход в оценке уровня сформированности знаний и качества обучения каждого студента как личности; стимулировать студентов к активной самостоятельной работе в овладении профессионально значимыми знаниями.

3. Дидактический потенциал методик тестирования может быть реализован только при соблюдении определенных условий и требований, среди которых определяющим является профессиональная готовность педагога к использованию тестовых технологий, как средства контроля будущих специалистов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Самойленко А. 2012.** Персональная образовательная среда как средство дистанционного обучения будущих специалистов в университетах. MOTROL. Vol. 14–№2. 190–194.
2. **Бацуровская И. 2012.** Некоторые аспекты профессиональной подготовки будущих инженеров в аграрном университете в условиях применения техно-логии дистанционного обучения. MOTROL. Vol. 14–№2. 195–201.
3. **Агапов В.Ю. Мишакова Л.М. 1994.** Алгоритмы целеполагания в современных педагогических технологиях. Рязань, 33.
4. **Майоров А.И. 1997.** Тесты школьных достижений: конструирование, проведение, использование. СПб.: Образование и культура, 304.
5. **Аванесов В.С. 1994.** Научные проблемы тестового контроля знаний. М.: Исследовательский центр, 48.
6. **Вилмс Д. 1994.** Тестирование умений и навыков: основные принципы. Директор школы. № 6, 14-22.
7. **Сірий І.С. 2009**Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. К.: Аграрное образование, 353.
8. **Аванесов В.С. 1998** Композиция тестовых заданий. М.: АДЕПТ, 217.
9. **Крокер Л., Алгина Дж. 2010.** Введение в классическую и современную теорию тестов. М.: Логос, 663.
10. **Зимняя И.А. 2000.** Педагогическая психология. М: Логос, 384.
11. **Чельникова М.Б. 1995.** Методические рекомендации по разработке педагогических тестов для комплексной оценки подготовленности студентов в вузе. М.: Исслед. центр подготовки специалистов, 77.
12. **Гулюкина Н.А., Клишина С.В. 2001.** Педагогический тест: этапы и особенности конструирования и использования. Пособие для преподавателей. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 132.
13. **Попов А.В. 2013.** Тестирование как метод контроля качества знаний студентов/ А.В.Попов// Сборник научных трудов Санкт-Петербургского ГУКИ. Т 200.(Россия)
14. **Асаул А.Н. 2012** Интерактивное тестирование и оценка знаний студентов – составная часть компетентностного подхода при подготовке бакалавров. Региональная экономика. №4 (Россия)
15. **Прокофьева Н.О. 2006.** Вопросы организации компьютерного контроля знаний. Образовательные технологии и общество. №1, Т 9 (Россия)
16. Учебное пособие. Тестирование остаточных знаний студентов: концепции и существующие программные комплексы. Доступно в интернете по адресу: <e-ikt.uginfo.stedu.ru/educat_mat_2_3.html >
17. **Ингенкамп К. 1991.** Педагогическая диагностика. Перевод с немецкого, М.: 525.
18. **Федотова Л.О., Рыкова Е.А. 2000** Оценка качества начального профессионального образования. М.: Издательский центр „АПО”, 54.
19. **Чельшкова М.Б. 1995.** Разработка педагогических тестов на основе современных математических моделей. Учебное пособие (Россия).
20. **Чельшкова М.Б., Ковалева Г.С. 1995.** Теория и практика конструирования педагогических тестов. Учебное пособие. (Россия)

ORGANIZING OF TEST-BASED KNOWLEDGE CONTROL IN SUBJECT “INTERCHANGEABILITY, STANDARDIZATION AND TECHNICAL MEASUREMENTS”

Summary. In article questions of the organization of test control of knowledge of students when studying discipline are considered "Interchangeability, standardization and technical measurements". Definition is given to the concept "test". The basic principles of testing are given. The main functions of control are considered: diagnostic, motivational, feedback, correctional, estimated which are realized in different types of control. Purpose of test control is specified, the generalizing criteria of modern test control – scientific character, technological effectiveness, efficiency are given. Are considered criteria ориентированный and standard ориентированный approaches in the sphere of pedagogical testing. In article typical mistakes of examiners are given in traditional oral examination, is specified advantages of test control of knowledge and practical skills of students. The main requirements to development of tests, such as adequacy (validity) are considered; definiteness (general understanding); simplicity; unambiguity and reliability. Rules concerning students who it is necessary to carry out at

application of test control are provided in work. The structural and logical scheme of dough on the studied discipline is presented in article. The general characteristic is given to test tasks of the first, second and third levels of complexity. The quantitative ratio of tasks of the first, second and third levels of complexity when carrying out the current, modular and total control on the studied discipline is offered. In article examples of test tasks of all three levels of complexity to the Tech-

nical Measurements module for control of knowledge of students of the direction of preparation "Processes, cars and the equipment of agropromyshenny production". The system of formation of tasks and accumulation of points on modules and discipline in general is presented in tables. The method of the transfer of number of the got points to an assessment is offered.

Key words: test, knowledge control, criteria of control, methods of evaluation, test-based tasks.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ КОНУСА ДИСКОВОГО РОТАЦИОННОГО ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Василий Дмитрив, Роман Городняк, Галина Дмитрив
Львовский национальный аграрный университет
Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: Dmytriv_V@ukr.net

Vasyl Dmytriv, Roman Gorodnyak, Halyna Dmytriv
Lviv national agrarian university
St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: Dmytriv_V@ukr.net

Аннотация. Статья посвящена проблемам моделирования конструктивно-технологических параметров конусного ротационного дискового дозатора-смесителя сыпучих компонентов для приготовления однородной кормовой смеси, в частности комбикормов.

Проанализированы исследования и математические зависимости, касающиеся движения по поверхности диска и конусным поверхностям частиц сыпучих материалов в зависимости от конструктивных и кинематических параметров рабочих элементов сельскохозяйственных машин. Установлены проблемы, которые необходимо решить для нового метода смешивания дисперсных компонентов.

Разработана схема сил, действующая на частицу при ее перемещении по поверхности вращающегося конусного диска. Рассмотрена элементарная частица, как материальная точка, и дифференциальное уравнение движения в векторной форме. Векторная форма дифференциального уравнения движения частицы дисперсного материала переведена в систему дифференциальных уравнений движения. Решение системы дифференциальных уравнений проведено отдельно для каждого направления перемещения частицы.

Особенностью математической модели является принятие системы координат неподвижной. Начало отсчета системы координат совпадает с вершиной конусного диска. Ось X совпадает с образующей конуса диска, ось Y направлена перпендикулярно образующей конуса и в сторону вращения, ось Z направлена вертикально вверх и совпадает с осью вращения конусного диска.

Решение системы дифференциальных уравнений движения частицы произведено аналитически и позволяет моделировать движение дисперсного материала по поверхности конусного диска дозатора-смесителя сыпучих компонентов корма в зависимости от угловой скорости ω вращения конусного диска, угла образующей конуса α и характеристик материала частицы.

Аналитическая система уравнений рассчитывает конструктивно-технологические параметры конусного диска и технологического процесса дозирования с одновременным смешиванием сыпучих компонентов корма, что обеспечит повышения качества приготовления смеси как комбикормов так и других дисперсных смесей.

Ключевые слова: конусный диск, дисперсный материал, дозатор-смеситель, угловая скорость, коэффициент трения, система координат, траектория частицы.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проектирование рабочих элементов сельскохозяйственных машин, в частности дискового дозатора-смесителя невозможно без определения кинематических и динамических параметров перемещения материала по поверхности рабочего органа. В случае дискового дозатора-смесителя перемещение частиц требует определения траектории движения отдельной частицы, параметров ее взаимодействия с подвижными поверхностями, отдельных деталей, что есть важной научной задачей и позволяет на этапе проектирования обеспечить высокие требования к их точности.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Движение частицы на шероховатых поверхностях проанализировано в работах П.М. Василенка [1, 2], а также в других источниках [3, 4]. При выведении зависимостей неучтена нагрузка на частицу от дополнительного материала в загрузочной емкости. При движении частицы по поверхности с прокручиванием, широко используется модель сферы. В работе [5] приведено решение задачи движение сферы по произвольной траектории. Ударное взаимодействие сферических частиц с рабочими поверхностями машин рассмотрено в работах Морозова И.В. [6] и Рогатинского Р.М. [7]. В частности исследователями Адамчуком В.В. и Адамчуком О.В. [8-10] разработаны аналитические зависимости на основе схемы сил действующих на частицу для определения относительной скорости ее движения вдоль лопатки и обоснование основных конструктивно-технологических параметров рабочего органа. Проведены исследования движения частицы сыпучего корма по поверхности подающего ротационного конуса [11-18].

Однако ряд вопросов обоснования параметров движения материала по вращающимся конусным поверхностям остались не полностью исследованы, не обосновано радиус крутизны лопаток от кута конуса, частоты вращения и энергетического показателя дозирования материала, не установлены оптималь-

ные конструктивно-кинематические параметры конусного дозирующего диска в зависимости от технологических факторов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью является разработка аналитической модели движения частиц по поверхности конуса дискового ротационного дозатора-смесителя дисперсных материалов компонентов комбикорма.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для определения характера движения потока сыпучего материала по поверхности диска, образующая которого под углом α к горизонтали, и диск вращается с угловой скоростью ω , рассмотрим модель в виде аналогичного движения материальной точки.

Рассмотрим силы, которые действуют на частицу сыпучего компонента дисперсного материала, которая движется по поверхности конусного диска (рис. 1).

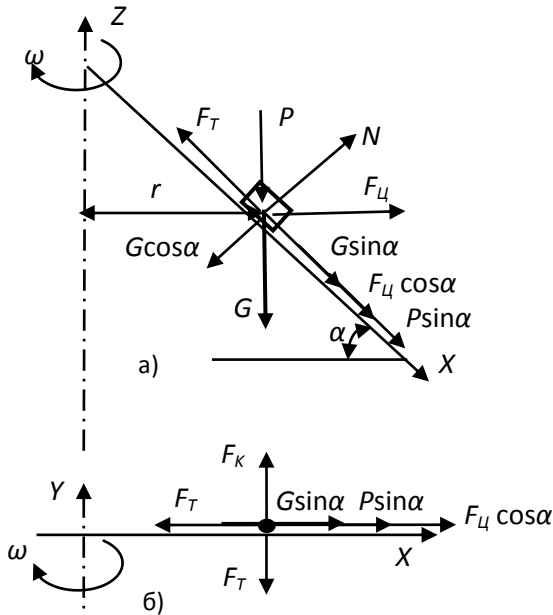


Рис. 1. Схема сил при движении частицы по уклонной поверхности ротационного конусного диска дозатора-смесителя: а) в плоскости оси вращения диска и радиуса r ; б) вид сверху

Fig. 1. Driving forces in the motion of a particle on the slope of the rotary disc cone dispenser-mixer: a) in the plane of the axis of rotation of the disk and the radius r ; b) top view

Выбираем не движущуюся систему координат XYZ . Начало отсчета системы координат совпадает с вершиной конусного диска. Ось X совпадает с образующей конуса диска, ось Y направлена перпендикулярно образующей конуса и в сторону вращения, ось Z направлена вертикально вверх и совпадает с осью вращения конусного диска.

Рассмотрим элементарную частицу, как материальную точку и составим дифференциальное уравнение движения в векторной форме. Согласно принятой методике получим [15]

$$m \cdot \vec{a} = \vec{G} + \vec{F}_T + F_{Ц} + \vec{N} + \vec{P} + \vec{F}_{КОР}, \quad (1)$$

где G – сила тяжести, $G = m \cdot g$, Н; P – сила давления вертикального столба сыпучего компонента корма, $P = \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot g$, Н; $F_{Ц}$ – центробежная сила, $F_{Ц} = m \cdot \omega^2 \cdot r$, Н; N – сила нормальной реакции поверхности конусного диска, $N = G \cdot \cos \alpha$, Н; F_T – сила трения частицы об поверхность диска, $F_T = f_3 \cdot N$, Н; $F_{КОР}$ – сила Кориолиса, $F_{КОР} = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{y}$ Н; ω – угловая скорость конусного диска, рад/с; r – радиус от оси вращения к частице, $r = x \cdot \cos \alpha$, м; α – угол подъема образующей конуса диска, град.; ρ_{k1} – плотность сыпучего материала, который движется по конусу диска, кг/м³; V_{k1} – объем материала над частицей, который движется по конусу диска, м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; f_3 – внешний коэффициент трения скольжением между частицей сыпучего материала и поверхностью конусного диска; \dot{y} – скорость перемещения частицы по оси Y , м/с.

Проектируя векторную равенство (1) на оси X , Y , Z получим систему дифференциальных уравнений движения частицы в следующем виде:

$$\begin{cases} \sum X = 0: F_{Ц} \cdot \cos \alpha + G \cdot \sin \alpha + P \cdot \sin \alpha - F_T - m \cdot \ddot{x} = 0 \\ \sum Y = 0: F_{КОР} - F_T - m \cdot \ddot{y} = 0 \\ \sum Z = 0: P + G - N \cdot \cos \alpha - F_T \cdot \sin \alpha - m \cdot \ddot{z} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Заменим в системе уравнений (1) силы через их выражения:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = m \cdot \omega^2 \cdot x \cdot \cos^2 \alpha + m \cdot g \cdot \sin \alpha + \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot g \cdot \sin \alpha - f_3 \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \\ m \cdot \ddot{y} = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{y} - f_3 \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \\ m \cdot \ddot{z} = \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot g + m \cdot g - m \cdot g \cdot \cos^2 \alpha - f_3 \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (3)$$

Произведя необходимые преобразования системы уравнений (3) запишем в виде:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} = \omega^2 \cdot x \cdot \cos^2 \alpha + g \cdot \sin \alpha + \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} \cdot \sin \alpha - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = 2 \cdot \omega \cdot \dot{y} - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \\ \frac{d^2 z}{dt^2} = \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} + g - g \cdot \cos^2 \alpha - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (4)$$

Решать систему дифференциальных уравнений будем отдельно для каждого направления перемещения частицы.

Перемещения частицы по оси X . Введем замены:

$$\omega^2 \cdot \cos^2 \alpha = a^2 \text{ и}$$

$$g \cdot \sin \alpha + \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} \cdot \sin \alpha - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha = b \quad (5)$$

Дифференциальное уравнение перемещения частицы по образующей конусного диска будет иметь вид:

$$d^2 x - a^2 \cdot x \cdot dt^2 = b \cdot dt^2, \text{ или } \ddot{x} - a^2 \cdot x = b \quad (6)$$

Решение уравнения (6) есть выражение:

$$x(t) = -\frac{b}{a^2} + C_1 \cdot e^{-at} + C_2 \cdot e^{at}, \quad (7)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

Постоянные интегрирования находим с начальных условий перемещения частицы, при $t = 0$, $x(0) = 0$, $\dot{x}(0) = 0$, соответственно получим:

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ КОНУСА ДИСКОВОГО РОТАЦИОННОГО ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

$$x(0) = -\frac{b}{a^2} + C_1 + C_2; \quad C_1 = \frac{b}{a^2} - C_2;$$

$$\dot{x} = -C_1 \cdot a \cdot e^{-at} + C_2 \cdot a \cdot e^{at};$$

$$\dot{x}(0) = -C_1 \cdot a + C_2 \cdot a; \quad C_1 = C_2.$$

Соответственно $C_1 = C_2 = \frac{b}{2a^2}$.

Уравнение (7) с учетом замены (5) будет:

$$x(t) = \frac{g \cdot \sin \alpha + \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} \cdot \sin \alpha - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2 \alpha} \times (8) \\ \times (e^{-\omega \cos \alpha t} + e^{\omega \cos \alpha t} - 2)$$

Перемещение частицы по оси Y. Дифференциальное уравнение перемещения частицы по кругу конусного диска можно записать:

$$d^2 y - 2 \cdot \omega \cdot \dot{y} \cdot dt + f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot dt^2 = 0,$$

$$\text{или} \quad \ddot{y} - 2 \cdot \omega \cdot \dot{y} + f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha = 0. \quad (9)$$

Решением уравнения (9) есть выражение:

$$y(t) = \frac{f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \omega} \cdot t + \frac{C_3}{2 \cdot \omega} \cdot e^{2 \cdot \omega t} + C_4. \quad (10)$$

где C_3 и C_4 – постоянные интегрирования.

Постоянные интегрирования находим с начальных условий перемещения частицы, при $t = 0$, $y(0) = 0$, $\dot{y}(0) = 0$, соответственно получим:

$$y(0) = \frac{C_3}{2 \cdot \omega} + C_4; \quad C_4 = -\frac{C_3}{2 \cdot \omega};$$

$$\dot{y} = \frac{f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \omega} + C_3 \cdot e^{2 \cdot \omega t};$$

$$\dot{y}(0) = \frac{f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \omega} + C_3; \quad C_3 = -\frac{f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \omega}.$$

Соответственно $C_4 = \frac{f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha}{4 \cdot \omega^2}$.

Уравнение (10) с учетом постоянных интегрирования будет иметь вид:

$$y(t) = \frac{f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \omega} \cdot \left(t - \frac{e^{2 \cdot \omega t}}{2 \cdot \omega} + \frac{1}{2 \cdot \omega} \right). \quad (11)$$

Аналогично проведем несложные преобразования и решим дифференциальное уравнение перемещения частицы по оси Z.

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} + g - g \cdot \cos^2 \alpha - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha,$$

или

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} + g \cdot \sin^2 \alpha - f_3 \cdot g \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2}. \quad (12)$$

Проинтегрируем дифференциальное уравнение (12) задавшись границами интегрирования от 0 к z и от 0 к t:

$$\int_0^z \int_0^t d^2 z = \left(\rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} + g \cdot \sin^2 \alpha - f_3 \cdot g \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \int_0^t \int_0^t dt^2 \cdot$$

В результате интегрирования получим уравнение перемещения частицы по вертикали:

$$z(t) = \sqrt{\left(\rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} + g \cdot \sin^2 \alpha - f_3 \cdot g \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} \cdot t. \quad (13)$$

Уравнения (8), (11) и (13) составляют систему уравнений (14) для моделирования траектории перемещения частицы по конусному диску:

$$\begin{cases} x(t) = \frac{g \cdot \sin \alpha + \rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} \cdot \sin \alpha - f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2 \alpha} \times \\ \times (e^{-\omega \cos \alpha t} + e^{\omega \cos \alpha t} - 2) \\ y(t) = \frac{f_3 \cdot g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \omega} \cdot \left(t - \frac{e^{2 \cdot \omega t}}{2 \cdot \omega} + \frac{1}{2 \cdot \omega} \right) \\ z(t) = \sqrt{\left(\rho_{k1} \cdot V_{k1} \cdot \frac{g}{m} + g \cdot \sin^2 \alpha - f_3 \cdot g \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} \cdot t \end{cases} \quad (14)$$

ВЫВОДЫ

Система уравнений (14) позволяет моделировать движение дисперсного материала по поверхности конусного диска дозатора-смесителя сыпучих компонентов корма.

Анализ аналитической зависимости показывает, что на перемещение частицы дисперсного материала влияет угловая скорость ω вращения конусного диска и угол образующей конуса α .

Аналитическая модель позволит обосновать конструктивно-технологические параметры конусного диска и технологического процесса дозирования с одновременным смешиванием сыпучих компонентов корма, что обеспечит повышения качества приготовления смеси как комбикормов так и других дисперсных смесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Василенко П.М. 1960.** Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – Киев: УАСХН, 283.
2. **Василенко П.М., Василенко Т.А., Богачев С.Я. 1957.** О движении семян по семяпроводам посевных машин // *Сельскохозяйственные машины*. 3-6.
3. **Смаглий В.И. 2013.** Движение материальной частицы по шероховатым дискам [Электронный ресурс] // *Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины*. Серия : Техника и энергетика АПК. Вып. 185(1). 117-126. (Украина) - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnu_tech_2013_185\(1\)_16.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/nvnu_tech_2013_185(1)_16.pdf)
4. **Гевко Б.М. 2012.** Математическая модель движения зерна по движущимся поверхностям высевающих аппаратов // *Сборник научных трудов Винницкого национального аграрного университета*. № 11, т. 1 (65). 113-118. (Украина)
5. **Запка П.М. 1992.** Избранные задачи земледельческой механики. – К.: УСХА. 512.
6. **Морозов И.В., Дудин О.В. 2003.** Модель траектории движения зерна по поверхностях сельскохозяйственных машин // *Вестник Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства “Механизация сельскохозяйственного производства”*. Вып.21. -Харьков: ХГТУСХ. 124-131. (Украина).

7. **Рогатинский Р.М. 2003.** Модель контактного взаимодействия частицы груза с рабочими поверхностями сельскохозяйственных машин // Вестник Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства "Механизация сельскохозяйственного производства". Вып.21. - Харьков: ХГТУСХ. 222-228. (Украина).
8. **Адамчук О. 2013.** Теория разгона удобрений рассеивающим рабочим органом центробежного типа // Научни трудове на Русенския университет. – Т. 52, серия 1. С. 22-30.
9. **Адамчук В.В. 2004.** Влияние параметров и режимов работы рассеивающего органа на схождение с него частиц минеральных удобрений // Вестник аграрной науки. №12. 42-45. (Украина).
10. **Адамчук В.В. 2010.** Теория центробежных рабочих органов машин для внесения минеральных удобрений. – К.: Аграрная наука. 117.
11. **Бойко И.Г., Попов О.А. 2010.** Исследование движения частицы сыпучего корма по поверхности подающего конуса ротационного дозатора // Вестник Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства "Современные проблемы усовершенствования технических систем и технологий в животноводстве". Вып. 95. – Харьков: ХНТНСХ. 72-77. (Украина)
12. **Райхман Д., Симонов А. 2013.** Обоснование параметров загрузочного устройства роторно-центробежной мельницы для фуражного зерна // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin – Rzeszow, №5. 123-128.
13. **Семенцов В.И., Бойко И.Г. 2015.** Методика и результаты исследований скорости схода частицы с диска центробежного смесителя // Вестник Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства "Технические системы и технологии животноводства". Вып. 157. – Харьков: ХНТНСХ. 52-56. (Украина)
14. **Batluk V., Basov M., Klymets V. 2013.** Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow // Econtechmod. An International Quarterly Journal –Vol. 2. № 3. 17–24
15. **Яблонский А.А. 1966.** Курс теоретической механики. Ч. II. Динамика. - М.: Высшая школа. 411.
16. **Банга В., Дмитрив В. 2007.** Теоретические исследования индивидуального раздатчика-дозатора комбикормов // Сборник научных трудов Луганского национального аграрного университета. Серия: Технические науки. № 76(99). 115-118.
17. **Садов В.В., Садовая В.А. 2009.** Обоснование параметров разгонного диска на дробилках с вертикальными валами // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 1 (51). 43-46.
18. **Войтюк Д.Г., Пилипака С.Ф. 2006.** Теоретические исследования движения материальных частиц в центробежных аппаратах с криволинейными лопатками и сменным кутом их подъема // Труды Таврической государственной агротехнической академии. Вып. 39. - Мелитополь: ТГАТА. 11-20.

ANALYTICAL MODELS OF PARTICLE MOTION ON THE SURFACE OF CONE OF DISK ROTARY DISPENSER-MIXER DISPERSED MATERIALS

Summary. The article deals with the problems of modeling the construction-technological parameters of the conical rotary disc dispenser-mixer of friable components for making the homogeneous feed mixture, in particular mixed fodder.

The research and mathematical functional dependences relating to the movement of the particles of friable discrete materials on the disk surface and the conical surfaces are analyzed depending on the structural and kinematic parameters of working elements of agricultural machines. The problems to be solved for the new method of dispersed components mixing are set.

Scheme of forces acting for the particle during its movement on the surface of a rotating disk cone is developed. An elementary particle as a material point, and the differential equation of motion in vector form are considered. Vector form of differential equations of motion of the particles of the friable discrete material is transferred into a system of differential equations of motion. Solution of the system of differential equations performed separately for each direction of movement of a particle.

The peculiarity of the mathematical model is the adoption of a fixed coordinate system. The origin of the coordinate system coincides with the apex of the conical disk. The X axis coincides with the disk cone generatrix, the Y axis is perpendicular to the generatrix of the cone and in the direction of rotation, the Z axis is directed vertically upwards and is coincident with the axis of rotation of the conical disc.

The system of differential equations of motion of particles solved analytically and allows to simulate the movement of the friable discrete material on the surface of the conical disc of dispenser-mixer of bulk feed ingredients, depending on the angular velocity ω of rotation of the conical disk, generatrix a cone angle α and the characteristics of the material of particle.

Analytical system of equations calculates the structurally-technological parameters of the cone disc and technological process of metering with simultaneous mixing of bulk feed ingredients that improve the quality of mixing as an animal feed and other dispersion mixtures.

Key words: cone disk, dispersible material, dispenser-mixer, angular velocity, friction coefficient, coordinate system, particle path.

АДАПТИВНЫЙ ДОИЛЬНЫЙ АППАРАТ С ПНЕВМОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПУЛЬСАТОРОМ

Валерий Адамчук¹, Василий Дмитрив², Игорь Дмитрив²

¹*Национальный научный центр „ИМЭСХ”*

²*Львовский национальный аграрный университет*

Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: dmytriv_igor@ukr.net

Valeriy Adamchuk¹, Vasyl Dmytriv², Ihor Dmytriv²

¹*National scientific centre “IAEE”*

²*Lviv national agrarian university*

St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: Dmytriv_V@ukr.net

Аннотация. Статья посвящена проблемам повышения эффективности машинного доения коров путем обоснования режима работы и конструкционно-технологических параметров доильного аппарата с адаптивным пневмоэлектромагнитным пульсатором.

Проанализированы технологические и информационные параметры, касающиеся эффективности технологического процесса машинного доения коров и работы пульсаторов доильных аппаратов, их влияние на процесс молокоотдачи коровы. Установлены параметры способствующие повышению эффективности машинного доения коров.

Разработана принципиально новая структурно-функциональная схема пневмоэлектромагнитного пульсатора для работы в системе “доильный стакан-пульсатор”. Особенности схемы являются: наличие мембраны, возможность управления характером переходных процессов тактов сосания и сжатия в доильном стакане.

Приведены зависимости для моделирования усилия мембраны от конструктивных параметров, что обеспечивает регулирование часовых характеристик переходного процесса работы пульсатора. Промоделирована характеристика мембраны и установлено, что при толщине мембраны $h = 0,1$ мм, ширине мембраны $e = 1,2$ мм, расстоянии между концами закрепления мембраны $2L = 32$ мм, максимальном прогибе мембраны в свободном состоянии $f_0 = 4$ мм и в условиях ее прогиба $f = 2$ мм, что отвечает ходу якоря-клапана, мембрана создает усилие $F = 0,5$ Н и обеспечит безударный режим смыкания и размыкания сосковой резины в процессе работы адаптивного пневмоэлектромагнитного пульсатора.

Приведены аналитические зависимости для моделирования процесса отсоса и наполнения воздухом камер сменного вакуумметрического давления системы “доильный стакан-пульсатор”, которые позволяют рассчитать время перехода системы от такта сжатия к такту сосания и от такта сосания к такту сжатия, и описывают взаимосвязь продолжительности переходных процессов в межстенной камере доильного стакана в зависимости от конструкционно-технологических параметров адаптивного пневмоэлектромагнитного пульсатора при условии обеспечения безударного смыкания и размыкания сосковой резины доильного стакана.

Ключевые слова: доильный аппарат, пневмоэлектромагнитный пульсатор, мембрана, машинное доение, доильный стакан, вакуумметрическое давление, часовая характеристика.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На сегодня, несмотря на исследования, нет единого мнения об оптимальных конструкционно-технологических параметрах системы доения коров. Как следствие, в различных доильных аппаратах значения основных параметров отличаются. Например, частота пульсации может принимать значения 0,75-2 Гц, соотношение тактов - от 1:1 до 1:4, величина вакуумметрического давления в подсосковом пространстве - от 25 до 90 кПа, а масса подвесной части доильного аппарата - 2,2-5 кг [1-7].

В значительной степени параметры и характеристики работы доильного аппарата зависят от технического уровня пульсатора, что в автоматизированных (роботизированных) системах доения имеет решающее значение для реализации алгоритма адаптивного управления системой “сосок-доильный стакан-пульсатор” и делает режим доения в функции от интенсивности молокоотдачи для каждой четверти вымени коровы путем выбора алгоритма работы для обеспечения функциональной адаптации пульсатора к каждой четверти вымени.

Обоснование конструкционно-технологических параметров пульсатора позволяет контролировать режимные характеристики доильного аппарата и стимулировать молокоотдачу коровы, исключить вредное воздействие машинного доения на корову.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Влияния конструкционно-технологических параметров доильных аппаратов на процесс молокоотдачи коровы посвящено много работ отечественных и зарубежных ученых, в частности: Е. И. Админа, А. И. Фененка, В. Ф. Королева, И. Н. Краснова, Е. К. Вальдмана, Н. Н. Викторова, П. А. Клауффа, И.И. Ревенка, Л. П. Карташова, В. Ф. Ужика, Ю. А. Цоя, В. М. Сиротюка и других ученых [3-16, 20].

На сегодня у исследователей еще нет единого мнения о значении частоты пульсаций и влияния частоты пульсации на скорость истечения молока.

Исходя из исследований Королева В.Ф., Абба-

сова С.Г. и Краснова И.Н. частота пульсаций не влияет на скорость истечений молока. Частота пульсаций, по их мнению, не должна превышать предельных значений, чтобы не нарушить режим работы сосковой резины [5, 6].

Изучая влияние частоты пульсаций на моторику соска и процесс истечений молока, Вальдман Е.К. [17] пришел к выводу, что отсутствие единого мнения о численном значении основных параметров среды различных авторов объясняется конструктивными особенностями доильных аппаратов, где важное значение имеет соотношение такта сосания и сжатия. Взяв за основу трехтактный доильный аппарат Вальдман Е.К. провел серию исследований влияния изменения частоты пульсаций (0,4; 0,8; 1,6 и 2,5 Гц) на процесс истечений молока и обнаружил влияние режима работы пульсатора на скорость доения. Результаты свидетельствуют, что при увеличении частоты пульсаций до 1,6 Гц наблюдается некоторое увеличение скорости доения, но превышение этого значения практически не меняет интенсивности истечений молока одновременно снижение частоты пульсаций с 0,8 до 0,4 Гц приводит к значительному падению скорости доения.

Для создания идеальной доильной машины, по мнению Королева В.Ф. [5], необходимо, чтобы частота пульсаций изменялась в пределах 0,7-2,0 Гц в соответствии с индивидуальными физиологическими особенностями коров.

В зависимости от индивидуальных особенностей коров частота пульсаций доильных аппаратов может изменяться в пределах от 0,7 до 2,2 Гц.

Важным параметром, влияющим на скорость доения, по данным исследователей, является соотношение тактов. При изменении соотношения тактов от 1:1 до 4:1 и стабильной частоте пульсаций 0,835 Гц, происходит увеличение скорости доения на 40-45%, при частоте 1,33 Гц – на 30-35%, соответственно при 1,83-2, 83 Гц - на 20-25% [4, 18, 19].

Клауфф П.А. и Доде Ф.Х. [21] установили, что повышение вакуума с 48,3 до 64,5 кПа повышает скорость доения на 40-45%, можно получить те же результаты что при увеличении соотношения тактов с 1:1 до 4:1 и частоте пульсации 0,835 Гц. В то же время исследователи отмечают, что в доильных аппаратах с фиксированными параметрами более приемлемо увеличение скорости доения за счет изменения соотношения тактов, а не глубины вакуума под соском. Такого же мнения придерживались Уиттстоун У.Г. и Королев В.Ф. [6]. Несмотря на то, что увеличение вакуума увеличивает скорость доения, превышение 50 кПа в аппаратах с постоянными параметрами приносит больше вреда, чем пользу.

Влияние параметров доильного аппарата на качество процесса истечения молока исследовали Викторова Н.Н. и Козлов А.Н. [4] и пришли к выводу, что максимальной интенсивности истечения молока и увеличения продуктивности коров можно достичь при таких параметрах: вакуумметрическое давление - 48,0-50,0 кПа; частота пульсаций - 1,33-1,67 Гц; соотношение тактов - (60:40)% и (70:30)% при отсутствии натяжения сосковой резины и массы подвесной части доильного аппарата 1 кг.

Изменять параметры в процессе доения в функции от интенсивности и фазы молокоотдачи могут только автоматизированные доильные аппараты и системы. На сегодня известны различные автоматизированные доильные системы и аппараты различного уровня сложности - от локальных до информационных, построенные на основе пневматических и электронных средствах, которые используют в своем составе микропроцессоры. Для создания доильной машины, адекватной организму животного, уже не достаточно простого конструирования ее параметров в соответствии с простейшими словесными алгоритмами, предложенными физиологами и исследователями доильной техники [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью является обоснование технологической схемы и параметров адаптивного доильного аппарата с пневмоэлектромагнитным пульсатором.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Процесс машинного доения и молокоотдача коровы является уникальным и аналогия ему отсутствует. Функция доильного аппарата заключается в воздействии на рецепторы соска и вымени, стимулируя рефлекс молокоотдачи, что в конечном повышает производительность коровы, уменьшает вредное воздействие доильного аппарата на сосок и повышает эффективность машинного доения коровы в целом. При отрицательном воздействии доильного аппарата корова испытывает болевые ощущения в результате ударов сосковой резины во время ее размыкания и смыкания в период переходных режимов работы доильного стакана при переходе от такта сосания к такта сжатия и наоборот.

В современных автоматизированных доильных аппаратах, в т.ч. роботизированных системах, подача переменного вакуумметрического давления в межстенную камеру доильного стакана осуществляется вакуумным шлангом с внутренним диаметром 10-14 мм и длиной 1-3 м. При такой функциональной схеме параметры переменного вакуумметрического давления изменяются в следствии потерь на трение, индикаторная диаграмма работы пульсатора не соответствует индикаторной диаграмме изменения давления в межстенной камере доильного стакана.

Для снижения длительности переходных процессов работы пульсатора необходимо уменьшить объем камер переменного вакуумметрического давления. Это возможно сделать через изъятие из конструкции доильного аппарата вакуумных шлангов, подводящих переменное вакуумметрическое давление до межстенных камер доильного стакана.

Предлагается схема, когда пульсатор размещен непосредственно на доильном стакане (рис. 1).

Откачивания воздуха из камер 3 и 10 осуществляется через перепускной отверстие 11 с заданным диаметром до величины вакуумметрического давления P_B при такте сосания. При такте сжатия через перепускной отверстие 6 воздух поступает по пропускным каналам 8 якоря-клапана 7 до камер 3 и 10 переменного вакуумметрического дав-

ления в которых давление изменяется до атмосферного.

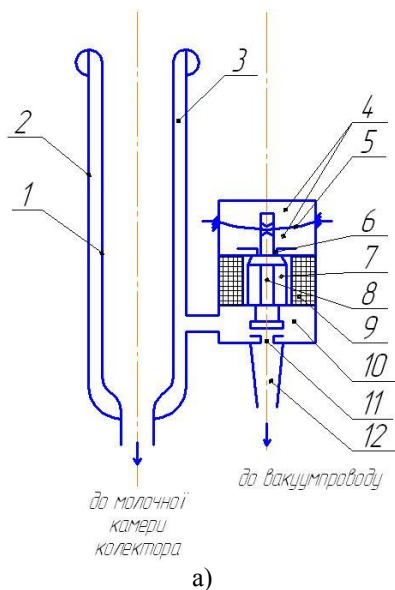


Рис. 1. Система "доильный стакан-пульсатор":
а) схема системы; б) общий вид;

1 – сосковая резина; 2 – доильный стакан; 3 – межстенная камера доильного стакана; 4 – камера атмосферного давления; 5 – мембрана; 6, 11 – перепускное отверстие; 7 – якорь-клапан; 8 – перепускной канал якорь-клапана; 9 – электромагнит; 10 – камера переменного вакуумметрического давления пульсатора; 12 – камера постоянного вакуумметрического давления

Fig. 1. The system of "teat cup-pulsator":

a) chart of the system;

b) general view;

1 – teat rubber; 2 – teat cup; 3 – interwall chamber teat cup; 4 – chamber air pressure; 5 – membrane; 6, 11 – bypass hole; 7 – anchor-valve; 8 – bypass valve anchor; 9 – an electromagnet; 10 – variable vacuum pressure chamber pulsator; 12 – constant vacuum pressure chamber

Открытие (закрытие) перепускных отверстий 9 и 10 (рис. 1) осуществляется якорем-клапаном 7, ко-

торый приводится в действие электромагнитом 9.

Для регулирования постоянных времени переходных характеристик индикаторной диаграммы переключения пульсатора в тактах сосание (сжатия) используют мембрану 5. Мембрана 5 изготовлена в виде прямоугольной полосы с упругого материала. Якорь-клапан 7 с мембраной 5 шарнирно закреплены. Деформация мембраны 5 задает усилие. Регулируя прогиб мембраны 5, обеспечим необходимое усилие закрытия пропускного отверстия 11.

Выведена аналитическая зависимость [16, 22] усилия мембраны от конструктивных параметров, позволяет смоделировать временные характеристики переходного процесса в межстенной камере доильного стакана. Установлено, что при толщине мембраны $h=0,1$ мм, ширине мембраны $b=1,2$ мм, расстоянии между краями закрепления мембраны $2L=32$ мм, максимальном прогибе мембраны в свободном состоянии $f_0 = 4$ мм и условии ее прогиба $f=2$ мм, что соответствует ходу якоря-клапана, мембрана, создаст усилие $F_p=0,5$ Н и обеспечит режим безударного смыкания и размыкания сосковой резины доильного стакана в процессе работы адаптивного пневмоэлектромагнитного пульсатора, при этом ход якоря-клапана составит 2 мм.

Закономерности протекания процессов откачки и наполнения воздухом [10, 11, 14, 15] камер переменного вакуумметрического давления системы "доильный стакан-пульсатор" позволили обосновать время перехода системы от такта сжатия к такту сосания и наоборот.

Установлено, что на режимные характеристики работы пневмоэлектромагнитного пульсатора влияют объем камер переменного вакуумметрического давления, диаметр пропускных отверстий пульсатора, вакуумметрическое давление, и продолжительность откачки воздуха (1) до вакуумметрического давления и наполнения воздухом (2) до атмосферного давления, рассчитываются уравнениями [14, 15]:

$$t = \frac{2}{1-n} \cdot \frac{V}{S_{nep} \cdot \psi} \cdot \sqrt{\frac{\rho_A}{P_A}} \cdot \sqrt{\left(\frac{P_i}{P_A}\right)^{\frac{1-n}{n}} - 1}, \quad (1)$$

$$t = \frac{2}{1-n} \cdot \frac{V}{S_{nep} \psi_i} \cdot \sqrt{\frac{\rho_A}{P_A}} \cdot \left[1 - \sqrt{\left(\frac{P_i}{P_A}\right)^{\frac{1-n}{n}}} \right], \quad (2)$$

где V – объем камер переменного вакуумметрического давления системы "доильный стакан-пульсатор", m^3 ; S_{nep} – площадь сечения пропускного отверстия пульсатора, m^2 ; ψ – скоростной коэффициент пропорциональности, характеризующий соотношение давления, $m^{1/2}/c$; ρ_A – плотность воздуха при атмосферном давлении, kg/m^3 ; P_A – атмосферное давление воздуха, kg/m^2 ; P_i – значение вакуумметрического давления в i -й момент времени, kg/m^2 ; n – показатель политропы, $n = 1,41$.

При вакуумметрическом давлении до 48 кПа, объеме камер переменного вакуумметрического давления $10^{-4}-1,8 \cdot 10^{-4} m^3$, диаметре перепускного отверстия $4 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3} m$, продолжительность откачки воздуха с камер переменного вакуумметрического

давления (переход в такт сосания) составит соответственно от 0,076 до 0,135 с (рис. 2) [10].

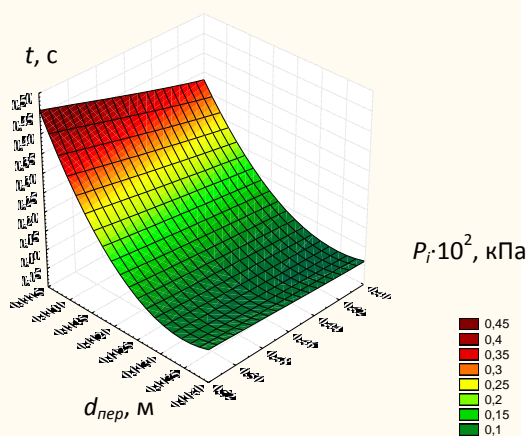


Рис. 2. Зависимость продолжительности t откачки воздуха от диаметра $d_{пер}$ перепускного канала пульсатора и вакуумметрического давления P_i

Fig. 2. Dependence of duration t pumping of air on the diameter of d_{per} of pulsator and a vacuum-gauge pressure P_i

Продолжительность наполнения воздухом камер переменного вакуумметрического давления (переход в такт сжатия), при тех же конструктивных параметрах, составит от 0,083 до 0,149 с (рис.3) [15].

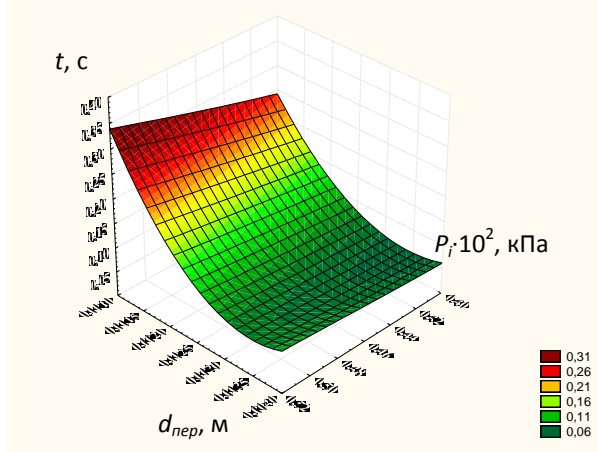


Рис. 3. Зависимость продолжительности t наполнения воздухом от диаметра перепускного отверстия $d_{пер}$ пульсатора и вакуумметрического давления P_i

Figure 3. Dependence of duration t filling with air on the diameter of the the overflow hole d_{per} pulsator and vacuum-gauge pressure of P_i

ВЫВОДЫ

1. Повышение эффективности машинного доения коров, обеспечение полного выведения молока из четвертой вымени и адаптации системы "доильный стакан-пульсатор" к молокоотдачи целесообразно устанавливать адаптивный пневмоэлектромагнитный пульсатор на каждый доильный стакан.

2. Анализ теоретических исследований показывает, что повышение вакуумметрического давления P_i и уменьшение диаметра $d_{пер}$ пропускных отверстий приводит к увеличению продолжительности времени откачки и наполнения воздухом камер пе-

ременного вакуумметрического давления системы "доильный стакан-пульсатор".

3. Применение мембраны в пневмоэлектромагнитном пульсаторе при обоснованных конструктивно-технологических параметрах системы "доильный стакан-пульсатор" и режимах переходных процессов в межстенной камере доильного стакана обеспечивает безударное смыкания и размыкания сосковой резины доильного стакана и адаптацию доильного аппарата к физиологии молокоотдачи коровы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Дмитриев И.В. 2013.** Анализ режимных характеристик доильных аппаратов при машинном доении коров // Механизация и электрификация сельского хозяйства // Межведомственный тематический научный сборник. - Вип. 97. - Глевах. 576-581. (Украина)
2. **Дмитриев И.В. 2013.** Анализ статических и динамических параметров доильных аппаратов // Теоретические основы и практические аспекты использования ресурсосберегающих технологий для повышения эффективности агропромышленного производства и развития сельских территорий // Материалы международного научно-практического форума. - Львов. 222-230. (Украина)
3. **Фененко А.И. 2001.** Режимные характеристики исполнительных механизмов нового поколения доильных установок // Межведомственный тематический научный сборник. Вип. 85. Глевах. 160 - 163. (Украина)
4. **Викторова, Н.Н., Козлов А.Н. 1983.** Облегченный доильный аппарат с оптимальными параметрами // Тез. докл. VI Всесоюзного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных. - Ч. II - М. 9-11.
5. **Королев, В.Ф. 1969.** Доильные машины. - М.: Машиностроение. 279.
6. **Краснов, И.Н. 1974.** Доильные аппараты. - Ростов - н/д.: изд-во Ростовского ун-та. 227.
7. **Хитров, А.Н. 1978.** Совершенствование доильных систем: Обзорная информация. - М. 44.
8. **Карташов Л.П., Соловьев С.А., Асманкин Е.М., Макаровская З.В. 2002.** Расчет исполнительных механизмов биологической системы. - Екатеринбург : УрО РАН. 181.
9. **Дмитриев В.Т., Дмитриев И.В. 2010.** Калибратор пульсатора доильного аппарата. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Вип. 84. - Глевах, 143-147. (Украина)
10. **Dmytriv V., Dmytriv I. 2013.** Design of time of expiration of air from a limit space // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture - Lublin - Rzeszow, Vol. 15, № 4. 193-197.
11. **Дмитриев В.Т., Дмитриев И.В. 2013.** Модель откачивания воздуха из камер переменного вакуумметрического давления доильного аппарата // Вестник Харьковського нац. техн. ун-та с. г. ім. Петра Василенко. - Вип. 132 Техніче-

- ские системы и технологии животноводства. - Харьков : ХНТУСГ. 207 – 212. (Украина)
12. **Dmytriv V. 2007.** Dynamic characteristics of hydropneumatic milking systems. // Zbornik radova: proceedings. Opatija, Croatia.- February 13-16,- 332-335.
 13. **Naumenko A., Uzhyk V., Chygryn A. 2011.** Determination of constructive-regime parameters of a pulsator for a milking machine. // MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, - № 13. 244-248.
 14. **Дмитрив И.В. 2014.** Многофакторное моделирование отдачи воздуха в системе "доильный стакан - пульсатор" // Вестник Львовского национального аграрного университета: Агроинженерный исследования. - Львов. Национальный агроуниверситет, – № 18. 99-105. (Украина)
 15. **Dmytriv I. 2014.** Development of mathematical model of duration of filling the finite-dimensional space with air at vacuum-gauge pressure // An International quarterly journal on economics in technology new technologies and modeling processes– Lublin – Rzeszow. – Vol. 3. № 4. 45-48.
 16. **Дмитрив В.Т., Дмитрив И.В. 2012.** Мембрана электромагнитного пульсатора как времязадающий элемент переходных процессов в доильном аппарате // Вестник Харьковского нац. технич. ун-та с. г. им. Петра Василенко. – Вып. 120 "Технические системы и технологии животноводства". - Харьков : ХНТУСГ 2012. 183-188. (Украина)
 17. **Вальдман Э.К. 1977.** Физиология машинного доения коров. – Л.: Колос. 190.
 18. **Speroni M. 2010.** Automation in dairy cattle milking: experimental results and considerations. 13th International symposium animal science day-resent advancement in animal production and health // Italian Journal of Animal Science. – Vol. 4. 17-25.
 19. **Rossing W., Hogewerf P.H., Ipeма А.Н., De Koning С.С. 1997.** Robotic milking in dairy farming // NJAS Wageningen Journal of Life Sciences. – Vol. 45. 15-31.
 20. **Syrotiuk V.M., Baranovych S.M., Syrotiuk S.V. 2011.** Analysis of constructions of pneumatic membrane pulsators of pair action and substantiation of their operation modes. // MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, - № 13. 309-317.
 21. **Клауфф П.А., Доде А.Х. 1957.** Влияние частоты пульсаций, соотношения тактов в доильной машине на скорость выдаивания коров // Сборник иностранной сельскохозяйственной информации. – N2. 60.
 22. **Дмитрив И.В. 2013.** Моделирование характеристик плоской мембраны электромагнитного пульсатора // Механизация и электрификация сельского хозяйства // Межведомственный тематический научный сборник. – Вып. 98. том 2. – Глеваха. 510-515; (Украина)

ADAPTIVE MILKING MACHINES WITH
PNEUMOELECTROMAGNETIC PULSATOR

Summary. The article is devoted to problems of increase of efficiency of cow machine milking by grounding the operation mode and structural and technological parameters of the milking machine with adaptive pneumoelectromagnetic pulsator.

The technological and information parameters relating to the effectiveness of the process of cow machine milking and work of milking machine's pulsator as well the influence of mentioned parameters on the process of cow milking have been analysed. The parameters that improve the efficiency of cow machine milking have been set up.

A fundamentally new structural-functional scheme of pneumoelectromagnetic pulsator is worked out for system "teat cup-pulsator". The features of the scheme are: the presence of the membrane, the ability to control by character of transient cycles of sucking and compression in the teat cup.

The dependences for modeling of the membrane strain on design factors that ensure of the time characteristics adjustment of transient process of pulsator operation are derived. The characteristics of the membrane is simulated. The result of simulation showed that when the thickness of the membrane $h = 0,1$ mm, width of the membrane $b = 1.2$ mm, the distance between the fixing ends of the membrane $2L = 32$ mm, the maximum deflection of the membrane in the free state $f_0 = 4$ mm, and in conditions of membrane flexure of $f = 2$ mm, which corresponds to the armature-valve stroke the membrane creates force $F = 0,5$ N and ensures the unstressed mode of the closing and opening of the teat cup liner during operation of the adaptive pneumoelectromagnetic pulsator.

Analytical dependences for modelling of processes of aspiration and filling by air of the chambers of interchangeable vacuum pressure of "teat cup-pulsator" system are derived which make possible to calculate the time of system transition from the compression stroke to the sucking stroke and vice versa and to describe the relationship of the length of the transients in the interspace chamber of teat cup, depending on the constructional and technological parameters of the adaptive pneumoelectromagnetic pulsator at the conditions of unstressed closing and opening of the teat cup liners.

Key words: milking machine, air-powered magnetic pulsator, membrane, machine milking, teat cup, vacuum-gage pressure, time characteristics.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Андрей Бондарь.</i> ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН.....	3
<i>Александр Караев, Сергей Сушко, Николай Горбач.</i> РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	9
<i>Александр Колодий, Сергей Кюрчев.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЗЕРНОВОК ПОДСОЛНЕЧНИКА В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	13
<i>Евгений Михайлов.</i> ПАРАМЕТРЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА.....	19
<i>Юдовинский Валерий, Кюрчев Сергей, Пенев Олег, Мирненко Юрий.</i> ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ.....	23
<i>Анатолий Панченко, Анжела Волошина, Игорь Панченко.</i> РАЗРАБОТКА ПЛАНЕТАРНЫХ ГИДРОМОТОРОВ ДЛЯ СИЛОВЫХ ГИДРОПРИВОДОВ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....	29
<i>Денис Демьяненко.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ.....	37
<i>Наталья Задосная.</i> АСПЕКТЫ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПНЕВМОСЕПАРАТОРА МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА	43
<i>Владимир Кувачев.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ШИРОКОКОЛЕЙНОГО АГРОСРЕДСТВА ПРИ КИНЕМАТИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ЕГО УПРАВЛЕНИЯ.....	49
<i>Александр Матковский.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ КОЛЕБАНИЙ РЫХЛИТЕЛЯ ПЛУГА ДЛЯ ВЫКОПКИ САЖЕНЦЕВ.....	55
<i>Дмитрий Милько.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАРАБАННОГО ДОЗАТОРА С ЯЧЕИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.....	61
<i>Александр Скляр, Радмила Скляр.</i> АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ.....	65
<i>Андрей Смелов, Ольга Полудненко.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ».....	71
<i>Василий Дмитриев, Роман Городняк, Галина Дмитриев.</i> АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ КОНУСА ДИСКОВОГО РОТАЦИОННОГО ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	79
<i>Валерий Адамчук, Василий Дмитриев, Игорь Дмитриев.</i> АДАПТИВНЫЙ ДРОИЛЬНЫЙ АППАРАТ С ПНЕВМОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПУЛЬСАТОРОМ...	83

List of the Reviewers

- | | | | |
|----|--------------|-----|----------------|
| 1. | V. Didur | 7. | S. Kovatyshyn |
| 2. | V. Tarasenko | 8. | V. Didukh |
| 3. | A. Panchenko | 9. | O. Kalahan |
| 4. | V. Malkina | 10. | R. Kuzminskyi |
| 5. | E. Mikhailov | 11. | M. Medykovskyi |
| 6. | A. Voloshina | 12. | V. Syrotyuk |

Editors of the “MOTROL” magazine of the Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture would like to inform both the authors and readers that an agreement was signed with the Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling at the Warsaw University referred to as “ICM”. Therefore, ICM is the owner and operator of the IT system needed to conduct and support a digital scientific library accessible to users via the Internet called the “ICM Internet Platform”, which ensures the safety of development, storage and retrieval of published materials provided to users. ICM is obliged to put all the articles printed in the “MOTROL” on the ICM Internet Platform. ICM develops metadata, which are then indexed in the “Agro” database.

We are pleased to announce that the magazine “MOTROL – Motorization and Energetics in Agriculture” (ISSN 1730-8658) has undergone a positive evaluation of the IC Journals Master List 2013, the result of which is granting the ICV Index (Index Copernicus Value) 6.56 pts. The resulting score was calculated on the basis of a survey submitted by the Editorial Team as well as assessments made by the professionals from Index Copernicus. We invite you to familiarize yourself with the methodology of IC Journals Master List evaluation:

<http://journals.indexcopernicus.com/masterlist.php?q=motrol>

Impact factor of the “MOTROL” journal according of the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture is 2,13 (July 2015).

GUIDELINES FOR AUTHORS (2015)

The journal publishes the original research papers. The papers (min. 8 pages) should not exceed 12 pages including tables and figures. Acceptance of papers for publication is based on two independent reviews commissioned by the Editor.

Authors are asked to transfer to the Publisher the copyright of their articles as well as written permissions for reproduction of figures and tables from unpublished or copyrighted materials.

Articles should be submitted electronically to the Editor and fulfill the following formal requirements:

- Clear and grammatically correct script in English,
- Format of popular Windows text editors (A4 size, 12 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2,5 cm),
- Every page of the paper including the title page, text, references, tables and figures should be numbered,
- SI units should be used.

Please organize the script in the following order (without subtitles):

Title, Author(s) name (s), Affiliations, Full postal addresses, Corresponding author's e-mail
Abstract (up to 200 words), Keywords (up to 5 words), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion (a combined Results and Discussion section can also be appropriate), Conclusions (numbered), References, Tables, Figures and their captions

Note that the following should be observed:

An informative and concise title; Abstract without any undefined abbreviations or unspecified references; No nomenclature (all explanations placed in the text); References cited by the numbered system (max 5 items in one place); Tables and figures (without frames) placed out of the text (after References) and figures additionally prepared in the graphical file format jpg or cdr.

Make sure that the tables do not exceed the printed area of the page. Number them according to their sequence in the text. References to all the tables must be in the text. Do not use vertical lines to separate columns. Capitalize the word 'table' when used with a number, e.g. (Table1).

Number the figures according to their sequence in the text. Identify them at the bottom of line drawings by their number and the name of the author. Special attention should be paid to the lettering of figures – the size of lettering must be big enough to allow reduction (even 10 times). Begin the description of figures with a capital letter and observe the following order, e.g. Time(s), Moisture (% vol), (% m³m⁻³) or (% gg⁻¹), Thermal conductivity (W m⁻¹K⁻¹).

Type the captions to all figures on a separate sheet at the end of the manuscript.

Give all the explanations in the figure caption. Drawn text in the figures should be kept to a minimum. Capitalize and abbreviate 'figure' when it is used with a number, e.g. (Fig. 1).

Colour figures will not be printed.

Make sure that the reference list contains about 30 items. It should be numbered serially and arranged alphabetically by the name of the first author and then others, e.g.

7. Kasaja O., Azarevich G. and Bannel A.N. 2009. Econometric Analysis of Banking Financial Results in Poland. Journal of Academy of Business and Economics (JABE), Vol. IV. Nr 1, 202–210.

References cited in the text should be given in parentheses and include a number e.g. [7].

Any item in the References list that is not in English, French or German should be marked, e.g. (in Italian), (in Polish).

Leave ample space around equations. Subscripts and superscripts have to be clear. Equations should be numbered serially on the right-hand side in parentheses. Capitalize and abbreviate 'equation' when it is used with a number, e.g. Eq. (1). Spell out when it begins a sentence. Symbols for physical quantities in formulae and in the text must be in italics. Algebraic symbols are printed in upright type.

Acknowledgements will be printed after a written permission is sent (by the regular post, on paper) from persons or heads of institutions mentioned by name.