

ИЗВЕСТИЯ
Самарской государственной
сельскохозяйственной академии

ИЮЛЬ-СЕНТЯБРЬ №3/2015

Самара 2015

Bulletin
Samara State
Agricultural Academy

JULY-SEPTEMBER №3/2015

Samara 2015

УДК 619
И-33

Известия

Самарской государственной
сельскохозяйственной академии

№3/2015

В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 25 мая 2015 года журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий (текущие номера которых или их переводные версии входят в международные базы данных и системы цитирования), в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ:ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2**Главный научный редактор, председатель
редакционно-издательского совета:**

А. М. Петров, кандидат технических наук, профессор

Зам. главного научного редактора:

А. В. Васин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Редакционно-издательский совет:

Васин В. Г., д. с.-х. наук, профессор, Самарская ГСХА
Дулов М. И., д. с.-х. наук, профессор, Самарская ГСХА
Курочкин А. А., д. техн. наук, профессор, Пензенская ГТА
Фатыхов И. Ш., д. с.-х. наук, профессор, Ижевская ГСХА
Кошеляев В. В., д. с.-х. наук, профессор, Пензенская ГСХА
Марковский А. А., канд. биол. наук, доцент, Самарская ГСХА
Баймишев Х. Б., д. биол. наук, профессор, Самарская ГСХА
Ухтверов А. М., д. с.-х. наук, профессор, Самарская ГСХА
Гизатуллин Р. С., д. с.-х. наук, профессор, Башкирский ГАУ
Алан Фахи, д. с.-х. наук, Университет Колледж Дублин Ирландия, Белфилд
Лалина Т. И., д. биол. наук, профессор, Северо-Кавказский зональный НИВИ РАСХН
Крючин Н. П., д. техн. наук, профессор, Самарская ГСХА
Иншаков А. П., д. техн. наук, профессор, Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева
Сенин П. В., д. техн. наук, профессор, Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева
Коновалов В. В., д. техн. наук, профессор, Пензенский ГТУ
Петрова С. С., канд. техн. наук, доцент, Самарская ГСХА
Заводчиков Н. Д., д. экон. наук, профессор, Оренбургский ГАУ
Мамай О. В., д. экон. наук, доцент, Самарская ГСХА
Бондина Н. Н., д. экон. наук, профессор, Пензенская ГСХА
Хайнрих Шюле, д. экон. наук, профессор, Университет Нюртинген-Гайслинген, Германия
Позднякова О. К., д. пед. наук, профессор, член-корреспондент Российской академии образования, Поволжская СГСА
Косырев В. П., д. пед. наук, профессор, Московский ГИК
Сычева Г. В., канд. ист. наук, доцент, Самарская ГСХА

Выпуск №3**Технологии и средства механизации сельского хозяйства****Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве****Редакция научного журнала:**

Петрова С. С. – ответственный редактор

Панкратова О. Ю. – технический редактор

Меньшова Е. А. – корректор

Адрес редакции: 446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: (84663) 46-2-44, 46-2-47

Факс: 46-2-44

E-mail: ssaaitz@mail.ruОтпечатано в типографии
ООО Издательство «Книга»
г. Самара, ул. Песчаная, 1
Тел.: (846) 267-36-82E-mail: slovo@samaramail.ru

Подписной индекс в каталоге «Почта России» – 72654

Цена свободная

Подписано в печать 2.07.2015

Формат 60×84/8

Печ. л. 15,75 п.л.

Тираж 1000. Заказ №1227

Дата выхода 30.07.2015

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 14 июля 2014 года.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-58582

© ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА, 2015

УДК 630
I-33

Bulletin

Samara State Agricultural
Academy

№3/2015

According to the Russian Ministry Higher Attestation Commission Presidium decision of May 25, 2015 this magazine was included to the list of peer-reviewed scientific publications (current or their translated versions are included in the international databases and citation), where basic scientific dissertations results for the Candidate of Sciences degree and for the Doctor of Science degree should be published

ESTABLISHER and PUBLISHER:FSBEI HVE Samara SAA
446442, Samara Region, settlement Ust-Kinelskiy, 2 Uchebnaya str.**Chief Scientific Editor,****Editorial Board Chairman:**

A. M. Petrov, Ph. D. in Techn. Sciences, Professor

Deputy Chief Scientific Editor:

A.V. Vasin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Editorial and Publishing Council:

Vasin V. G., Dr. of Ag. Sci., Professor, Samara SAA
Dulov M. I., Dr. of Ag. Sci., Professor, Samara SAA
Kurochkin A. A., Dr. of Techn. Sci., Professor, Penza STA
Fatykhov I. Sh., Dr. of Ag. Sci., Professor, Izevsk SAA
Kosheljaev V. V., Dr. of Ag. Sciences, Professor, Penza SAA
Markovskiy A. A., Cand. of Biol. Sci., Associate prof., Samara SAA
Baymishov H. B., Dr. of Biol. Sci., Professor, Samara SAA
Uhtverov A. M., Dr. of Ag. Sci., Professor, Samara SAA
Gizatullin R. S., Dr. of Ag. Sci., Professor, Bashkir SAU
Alan Fahey, Dr. of Ag. Sci., University College Dublin Ireland, Belfield
Lalina T. I., Dr. of Biol. Sci., Professor, North-Caucasian zone research veterinary institute RAAS
Kryuchin N. P., Dr. of Techn. Sci., Professor, Samara SAA
Inshakov A. P., Dr. of Techn. Sci., Professor, Mordovian SU of N. P. Ogarev
Senin P. V., Dr. of Techn. Sci., Professor, Mordovian SU of N. P. Ogarev
Konovalov V. V., Dr. of Techn. Sci., Professor, Penza STU
Petrova S. S., Cand. of Techn. Sci., Associate prof., Samara SAA
Zavodchikov N. D., Dr. of Econ. Sci., Professor, Orenburg SAU
Mamaj O. V., Dr. of Econ. Sci., Associate professor, Samara SAA
Bondina N. N., Dr. of Econ. Sci., Professor, Penza SAA
Heinrich Schuele, Dr. of Econ. Sci., Professor, University Nyrtingen-Gayslingen, Germany
Pozdnyakova O. K., Dr. of Ped. Sci., Professor, corresponding member of Russian Academy of Education, Volga Region State Socially-Humanitarian Academy
Kosyrev V. P., Dr. of Ped. Sci., Professor, Moscow SCI
Sycheva G. V., Cand. of Hist. Sci., Associate prof., Samara SAA

Issue №3**Technologies and mechanization means in agriculture****Technologies and maintenance service means in agriculture****Edition science journal:**

Petrova S. S. – editor-in-chief

Pankratova O. Yu. – technical editor

Men'shova E. A. – proofreader

Editorial office: 446442, Samara Region, settlement Ust-Kinelskiy, 2 Uchebnaya str.

Tel.: (84663) 46-2-44, 46-2-47

Fax: 46-2-44

E-mail: ssaaitz@mail.ru

Printed in Print House

LLC «Media Books»,

Samara, 1 Peschanaya str.

Tel.: (846) 267-36-82

E-mail: izdatkniga@yandex.ru

Subscription index in catalog «Mail of Russia» – 72654

Price undefined

Signed in print 2.07.2015

Format 60×84/8

Printed sheets 15,75 п.л.

Print run 1000. Edition №1227

Publishing date 30.07.2015

The journal is registered in Supervision Federal Service of Telecom sphere, information technologies and mass communications (Roscomnadzor) July 14, 2014.

The certificate of registration of the PI number FS77 – 58582

© FSBEI HVE Samara SAA, 2015

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.33.022.66

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АКТИВАТОРА ИСТЕЧЕНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДИСКОВО-ШТИФТОВОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Савельев Юрий Александрович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 а.

E-mail: juri.savelev@mail.ru.

Крючин Николай Павлович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 а.

E-mail: miignik@mail.ru.

Крючин Александр Николаевич, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 а.

E-mail: kryuchin@inbox.ru.

Ключевые слова: производительность, семена, дисково-штифтовый, высевальной, аппарат, активатор.

Цель исследований – повышение производительности дисково-штифтового высевальной аппарата за счет применения активатора истечения семенного материала из бункера. Важнейшим устройством любой посевной машины является высевальной аппарат. Он должен создавать равномерный (с заданными параметрами) поток семенного материала. При высеве семян злаковых трав обеспечение соблюдения данного условия крайне затруднительно. Разработан специальный высевальной аппарат для дозирования семян мятлика лугового и травосмесей, в состав которых они входят. Особенностью данного устройства является наличие активатора истечения семенного материала из бункера, обеспечивающего устойчивое заполнение семенами пространства на дозирующем диске, что позволяет получить высокие качественные показатели высева. Оценка влияния активатора истечения на производительность дозирования семян мятлика лугового и семян кормовой травосмеси и определение оптимальных конструктивных параметров активатора проводились на лабораторной установке, описанной в статье. При проведении экспериментальных исследований были заданы пределы и интервалы варьирования следующих факторов: амплитуды и частоты активации. Высота подковырькового пространства высевальной аппарата и начальный вылет подвижных штифтов принимались постоянными. В статье представлены графические зависимости удельной подачи семян мятлика лугового, соответствующие различным конструктивным исполнениям активатора истечения. Проведен анализ полученных данных, в результате которого выяснено, что наименьший прирост производительности дает применение активации в середине загрузочного отверстия аппарата. Максимальной производительностью характеризуется высевальной аппарат, оборудованный активатором с двумя волнами высотой 6 мм, равноудаленными от начала и конца зоны загрузки. Применение активации истечения дает возможность повысить производительность дисково-штифтового высевальной аппарата на 56%.

Одним из важнейших условий получения высокого урожая при возделывании сельскохозяйственных культур является формирование равномерно распределенного по площади питания травостоя. От соблюдения данного требования зависит полнота использования растениями потенциальных ресурсов почвы и, соответственно, их продуктивность. Определяющую роль при создании вышеупомянутых условий играет высевочный аппарат, являющийся одним из наиболее ответственных рабочих органов сеялки. Он служит для отбора из общей массы определённого количества семян и формирования исходного потока с заданными параметрами [1, 2]. При посеве злаковых трав равномерное и устойчивое дозирование их семян, как в чистом виде, так и в составе травосмесей весьма затруднительно. Это объясняется тем, что семена большинства злаковых трав, по своим физико-механическим свойствам относятся к трудносыпучим материалам. Проблема их посева в полной мере не решена применяемыми дозирующими устройствами [3].

Цель исследований – повышение производительности дисково-штифтового высевочного аппарата за счет применения активатора истечения семенного материала из бункера.

Задача исследований – определить оптимальные конструктивные параметры активатора истечения.

Для дозирования семян злаковых трав, в частности семян мятлика лугового и кормовых травосмесей, в состав которых они входят, был разработан дисково-штифтовый высевочный аппарат с активатором истечения семенного материала из бункера [4]. Роль активатора истечения выполняет сектор направляющей шайбы, на которую опираются подпружиненные относительно высевочного диска подвижные штифты. Копируя его форму в зоне загрузочного окна аппарата, они поднимаются выше уровня козырька, разделяющего высевочный диск и бункер, внедряются верхними концами в семенной ворох, находящийся в бункере, и обрушивают его на поверхность диска. Таким образом, активируется процесс истечения трудносыпучего семенного материала из бункера, при этом происходит равномерное заполнение пространства на высевочном диске, что способствует увеличению производительности, повышению равномерности и устойчивости посева [5, 6].

Методы исследований. В лаборатории посевных машин ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров, влияющих на качество дозирования семян, предлагаемым высевочным устройством была разработана лабораторная установка (рис. 1). Она включает в себя дисково-штифтовый высевочный аппарат с бункером, передвижную планку с установленными на ней емкостями для сбора семян при подготовке и проведении опыта. Высевочный аппарат через цепную передачу и червячный редуктор приводится в действие от электродвигателя. На раме лабораторного стенда установлен блок управления, при помощи которого регулируется частота вращения вала дозирующего устройства. На блоке управления смонтирован счетчик оборотов высевочного диска и тахометр. При включении установки семена, дозируемые аппаратом, во время разгона собираются в первую емкость. По достижению необходимой частоты вращения передвижная планка сдвигается, подводя контрольную емкость под выпускной воронкой высевочного аппарата. В завершение опыта семена из контрольной емкости взвешиваются, а цифровое значение, отображаемое на экране весов, фиксируется. Собранный семенной материал возвращается в бункер, сохраняя тем самым заданный уровень его заполнения.



Рис. 1. Общий вид лабораторной установки

Для наблюдения за движением слоев семян, как в самом бункере, так и при их транспортировании высевающим диском с подвижными штифтами к сбрасывающему скребку, козырек дозирующего устройства, являющийся дном бункера, выполнен из прозрачного оргстекла, а семенной ящик имеет съемную крышку.

Описанная конструкция лабораторной установки дает возможность проводить опыты по исследованию производительности и устойчивости нормы высева испытываемого дозирующего устройства [7].

Результаты исследований. Гипотеза о том, что устойчивое заполнение семенами пространства на дозирующем диске позволит получить высокие качественные показатели высева, проверялась в ходе лабораторных исследований по определению конструктивных параметров активатора истечения, обеспечивающих удельную подачу семенного материала максимально приближающуюся к максимально возможной (расчетной). В лаборатории посевных машин ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА проведены экспериментальные исследования процесса дозирования дисково-штифтовым высевающим аппаратом с активатором истечения семян мятлика лугового и семян травосмеси, в состав которой они входят.

В качестве изменяемых факторов были приняты максимальная высота восходящих волн активатора (амплитуда активации) и количество этих волн (частота активации). На основании предварительно проведенных опытов и существующих исследований технологического процесса работы подобных устройств были определены пределы и интервалы варьирования вышеупомянутых конструктивных параметров активатора. Начальный вылет подвижных штифтов над высевающим диском (вылет в зоне транспортирования) принимался постоянным. Исходя из условия исключения защемления семян, его величина принята 8 мм, при высоте подкозырькового пространства равной 10 мм.

На рисунке 2 в графическом виде представлены результаты оценки производительности при дозировании семян мятлика лугового дисково-штифтовым высевающим аппаратом с активатором истечения, имеющим одну восходящую волну с тремя вариантами ее расположения, а именно в начале загрузочного окна высевающего аппарата по направлению вращения диска, в середине, и в конце. Для наглядности представления на графиках также изображены значения производительности, соответствующие высоте волны h равной 0 мм, то есть полученные при высеве семян аппаратом без активатора истечения.

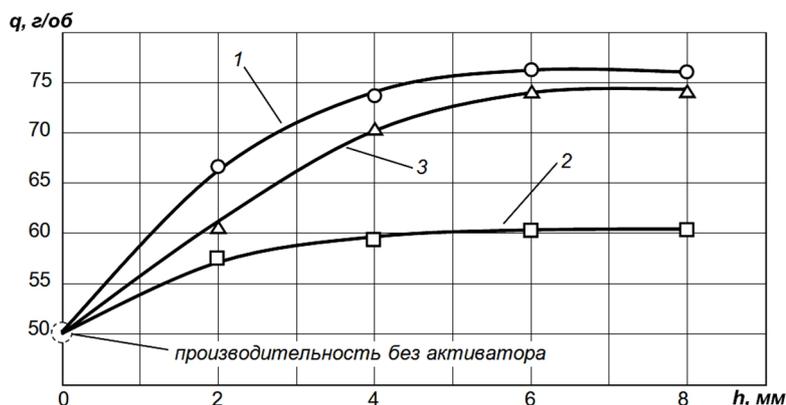


Рис. 2. Зависимость удельной подачи q (г/об) от высоты волны активатора h (мм):
1 – активация в начале окна; 2 – в середине окна; 3 – в конце окна

Из графиков видно, что самые высокие показатели удельной подачи семян мятлика лугового дисково-штифтовым высевающим аппаратом были получены с активатором с волнами 6 мм, располагающимся в начале и в конце зоны загрузки. При расположении волны активатора в середине зоны загрузки производительность была значительно ниже, а ее абсолютное значение не превышало 62 г/об. Также в процессе анализа полученных данных установили, что значение коэффициента влияния активации с одной волной в середине окна составило 19,3%, что значительно ниже по сравнению с результатами двух других опытов. При работе аппарата с активаторами, имеющими по одной волне в начале и в конце окна, значения этого коэффициента составили 47,2 и 40% соответственно.

Для проведения дальнейшего эксперимента принималось три варианта конструктивного исполнения активатора: 1) с одной волной в начале окна; 2) с двумя волнами, расположенными в начале и в конце зоны загрузки; 3) с тремя активизирующими поверхностями, равномерно распределенными по площади загрузочного окна высевающего аппарата (в начале, в середине и в конце). На рисунке 3 представлены полученные результаты в виде графических зависимостей, где аналогично графикам, изображенным ранее (рис. 2), значения производительности при $h=0$ соответствуют характеристикам высевающего аппарата без активатора истечения.

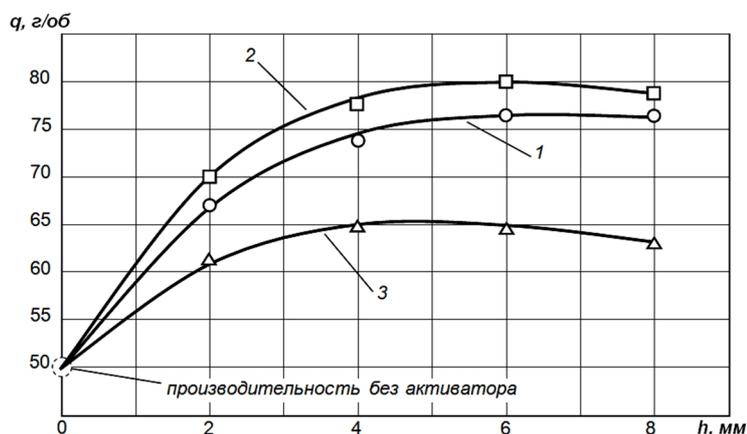


Рис. 3. Зависимость удельной подачи q (г/об) от высоты волны активатора h (мм):

1 – активатор с одной волной; 2 – с двумя волнами; 3 – с тремя волнами

Анализируя полученные данные, делаем вывод, что наименьшее значение производительности соответствует активатору истечения, состоящему из трех волн, коэффициент влияния активации при этом был равен 27,3%. Высевающий аппарат с направляющей шайбой, оборудованной двумя восходящими активирующими поверхностями, имел наибольшую удельную подачу семян мятлика лугового при всех величинах высоты волн. Абсолютное значение максимальной удельной подачи составило 79,6 г/об при шестимиллиметровой волне, коэффициент влияния активации составил 53%.

Аналогичные эксперименты проводились с семенами кормовой травосмеси состоящей из мятлика лугового, овсяницы красной, овсяницы луговой и райграса. При их проведении и обработке результатов также отмечена наибольшая эффективность применения активатора истечения, состоящего из двух волн высотой 6 мм.

Полученные в ходе лабораторных исследований данные будут учтены при определении значимых факторов и пределов их варьирования при планировании многофакторных экспериментов по определению оптимальных конструктивно-технологических параметров высевающего аппарата.

Заключение. Применение активатора истечения семенного материала из бункера дисково-штифтового высевающего аппарата позволяет получать прибавку производительности до 56%. Максимальная удельная подача достигалась при установке активатора, состоящего из двух волн высотой 6 мм, а ее численное значение составило 79,6 г/об.

Библиографический список

1. Вдовкин, С. В. Совершенствование процесса формирования потока семян в высевающей системе комбинированного посевного агрегата : дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Вдовкин Сергей Владимирович. – Саратов, 2006. – 153 с.
2. Крючин, Н. П. Разработка высевающего устройства сеялки для трудносypучих посевных материалов / Н. П. Крючин, С. В. Сафонов // Известия Самарской ГСХА. – Самара : РИЦ СГСХА, 2006. – №3. – С. 75-76.
3. Обоснование и разработка технологической схемы самоходной пневматической мини-сеялки : отчет о НИР (промежуточный): 50-51 / Самарская ГСХА ; рук. Крючин Н. П., исполн.: Савельев Ю. А. [и др.]. – Кинель, 2014. – 67 с. – № ГР 01201351670. – Инв. № 02201453215.
4. Пат. на полезную модель №133677 Российская Федерация. Высевающий аппарат / Савельев Ю. А., Крючин Н. П., Котов Д. Н., Крючин А. Н. – №2013121148/13 ; заявл. 07.05.13 ; опубл. 27.10.13, Бюл. №30. – 2 с.
5. Савельев, Ю. А. Анализ и классификация устройств для повышения качества дозирования семян трав высевающими аппаратами / Ю. А. Савельев, А. Н. Крючин // Агрпромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы : сб. статей X Международной науч.-практ. конф. – Пенза : РИО ПГСХА, 2014. – С. 86-89.
6. Савельев, Ю. А. Обоснование и разработка дисково-штифтового высевающего аппарата с активатором / Ю. А. Савельев, А. Н. Крючин // Новые технологии и технические средства в АПК : мат. международной конф. – Саратов : Буква, 2013. – С. 163-166.
7. Савельев, Ю. А. Лабораторная установка для изучения процесса работы дисково-штифтового высевающего аппарата / Ю. А. Савельев, А. Н. Крючин // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Часть I. Технологии и средства механизации производства и переработки продукции сельского хозяйства : мат. VI Международной науч.-практ. конф. – Ульяновск, ГСХА им. П. А. Столыпина, 2015. – С. 100-102.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОЙ S-ОБРАЗНОЙ СТОЙКИ КОМБИНИРОВАННОГО КУЛЬТИВАТОРА

Федоров Сергей Евгеньевич, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины им. профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева, Институт механики и энергетики.

430904, Республика Мордовия, г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Российская, 5.

E-mail: seregafedorov1989@mail.ru

Чаткин Михаил Николаевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Сельскохозяйственные машины им. профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева, Институт механики и энергетики.

430904, Республика Мордовия, г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Российская, 5.

E-mail: chatkinm@yandex.ru

Костин Александр Сергеевич, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины им. профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева, Институт механики и энергетики.

430904, Республика Мордовия, г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Российская, 5.

E-mail: kostin8811@yandex.ru

Колесников Николай Виктрович, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины им. профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева, Институт механики и энергетики.

430904 Республика Мордовия, г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Российская, 5.

E-mail: injener11@mail.ru

Ключевые слова: культиватор, колебания, стойка, перемещение, регулятор.

Цель исследования – повышение равномерности глубины хода рабочего органа культиватора, расширение эксплуатационных возможностей использования культиватора с упругими стойками на почвах с разными физико-механическими свойствами. Большое энергопотребление при обработке почвы вызывает поиск путей ее снижения. Один из путей – это использование широкозахватных комбинированных культиваторов с рабочими органами, закрепленными на упругих стойках. Рассмотрены основные типы упругих стоек. Применение упругих стоек способствует уменьшению тягового сопротивления на 25-30% по сравнению с жесткими стойками. Однако использование упругих стоек приводит к невыполнению агротехнических требований. Исходя из цели исследования, была поставлена задача – определить собственные частоты и перемещения стойки по оси «Z», характеризующей глубину хода рабочего органа, в зависимости от нагрузки и схемы закрепления. За объект изучения была выбрана S-образная стойка. Расчет колебательного процесса стойки проводился в компьютерной программе SolidWorks, которая основана на методе конечных элементов. С учетом удельного сопротивления почвы, максимальная нагрузка на одну стойку была принята – 2500 Н. Интервал изменения нагрузки – 500 Н. В результате расчета были построены зависимости: «нагрузка – перемещение» и «собственные частоты – схемы закрепления». Анализ данных зависимостей показал: напряжения в S-образной стойке не превышают предела пропорциональности; с увеличением опорных точек увеличивается жесткость стойки; с увеличением жесткости стойки растет ее собственная частота. Выявлено, что для стабилизации показателей работы стойки культиватора, необходимо в ее конструкции предусмотреть регулятор жесткости, что позволит ее использовать на почвах различной влажности и твердости.

Обработка почвы в сельскохозяйственном производстве считается самой энергоемкой операцией. На нее приходится 30-40% всей потребляемой в сельском хозяйстве энергии. Одним из основных путей снижения энергопотребления при обработке почвы, сохранения ее свойств и потенциального плодородия является минимализация, предусматривающая совмещение нескольких технологических операций и приемов. Это достигается благодаря использованию широкозахватных высокопроизводительных комбинированных агрегатов, которые позволяют уменьшить число проходов по полю, потери времени на холостые проходы, трудовые и денежные затраты, а также увеличить производительность. Комбинированные агрегаты качественно рыхлят, уплотняют почву, сохраняя при этом влагу и мульчу, что приводит к повышению урожайности возделываемых культур [1, 2].

Перспективным считается применение упругих стоек для крепления рабочих органов в конструкциях комбинированных культиваторов для предпосевной обработки почвы [3].

Применение упругих стоек способствует уменьшению тягового сопротивления на 25-30% по сравнению с жесткими стойками [4, 5]. Рабочие органы на упругих стойках в процессе работы совершают вынужденные колебания за счет переменного сопротивления почвы. Воздействие такого рабочего органа аналогично воздействию вибратора. Однако рабочие органы, закрепленные на упругих стойках, отклоняются от установленной глубины обработки на 10-15% больше, чем на жестких стойках, что ставит под сомнение выполнение агротехнических требований [6].

Цель исследования – повышение равномерности глубины хода рабочего органа культиватора, расширение эксплуатационных возможностей использования культиватора с упругими стойками на почвах с разными физико-механическими свойствами.

Задачи исследований – определить собственные частоты и перемещения стойки по оси «Z», характеризующей глубину хода рабочего органа, в зависимости от нагрузки и схемы закрепления.

Материалы и методы исследований. Основные типы стоек представлены на рисунке 1. Если соединить характерные точки (перегиба (т. п) сжатия (т. с) и растяжения (т. р) крепление стойки к раме) прямыми, то получаются формы стоек, которые могут быть нелинейно подобны [7].

Объект исследования – упругая S-образная стойка, расчет которой проводился в компьютерной программе SolidWorks, которая основана на методе конечных элементов.

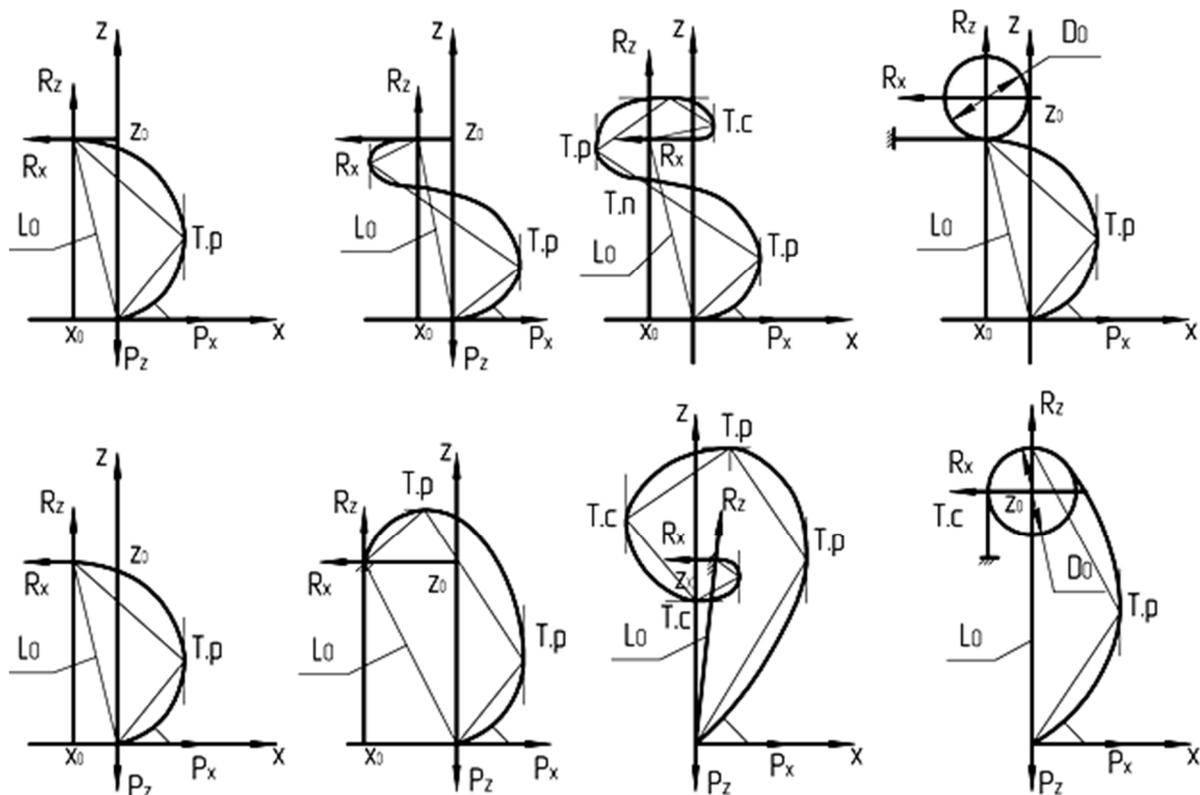


Рис. 1. Основные типы упругих стоек с указанием характерных точек

При использовании метода конечных элементов модель конструкции разбивается на области (конечные элементы). В каждом конечном элементе движение среды описывается с помощью функций, представляющих собой перемещения и напряжения в этой области. Области друг с другом соединяются с помощью узлов, благодаря которым происходит взаимодействие конечных элементов между собой. Конечные элементы, расположенные определенным образом и закрепленные согласно граничным условиям, в зависимости от конструкции объекта, позволяют адекватно описать всю полноту многообразия конструкций [8].

К области (конечному элементу) могут быть приложены как сосредоточенные, так и распределенные силы, а также и моменты, которые получили название узловых нагрузок.

Для проведения расчета, с учетом условий работы упругой стойки, были заданы геометрические параметры стойки (поперечное сечение 45×9 мм) и материал стойки – Сталь 60С2А, модуль сдвига $G=82000$ МПа, модуль упругости $E=212000$ МПа, твердость HRC= 46-52.

При расчете, согласно удельному сопротивлению почвы, максимальная нагрузка на одну стойку была принята 2500 Н. Интервал ее изменения составил 500 Н.

Жесткость данной стойки увеличивалась с уменьшением ее рабочей длины. Это достигается за счет разных схем крепления стойки, которые показаны на рисунке 2. Наибольшее перемещение точки «А» в процессе работы наблюдалось вдоль осей «Z» и «X». Перемещение вдоль оси «Y» является минимальным.

При действии сосредоточенной силы P , максимальный прогиб стойки определяется по формуле

$$y_{\max} = \frac{P \cdot l^3}{k \cdot E \cdot J}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от характера нагрузки;
 P – сосредоточенная нагрузка на стойку, Н;
 l – расстояние от точки приложения нагрузки до закрепленной опоры, м;
 E – модуль упругости, МПа ($E=const$);
 J – момент инерции сечения стойки, см³ ($J=const$).

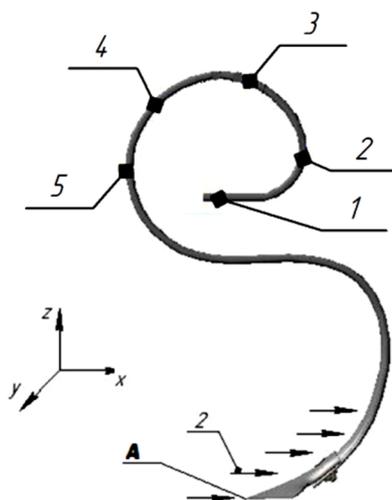


Рис. 2. Схемы закрепления упругой стойки культиватора:
 1, 2, 3, 4, 5 – закрепление; 2 – нагрузка

Результаты исследований. По результатам автоматизированного расчета в зависимости от расстояния точки приложения нагрузки до закрепленной опоры l ($l_1 - 1,05$ м, $l_2 - 0,94$ м, $l_3 - 0,85$ м, $l_4 - 0,72$ м, $l_5 - 0,65$ м), были построены следующие графики (рис. 3, 4).

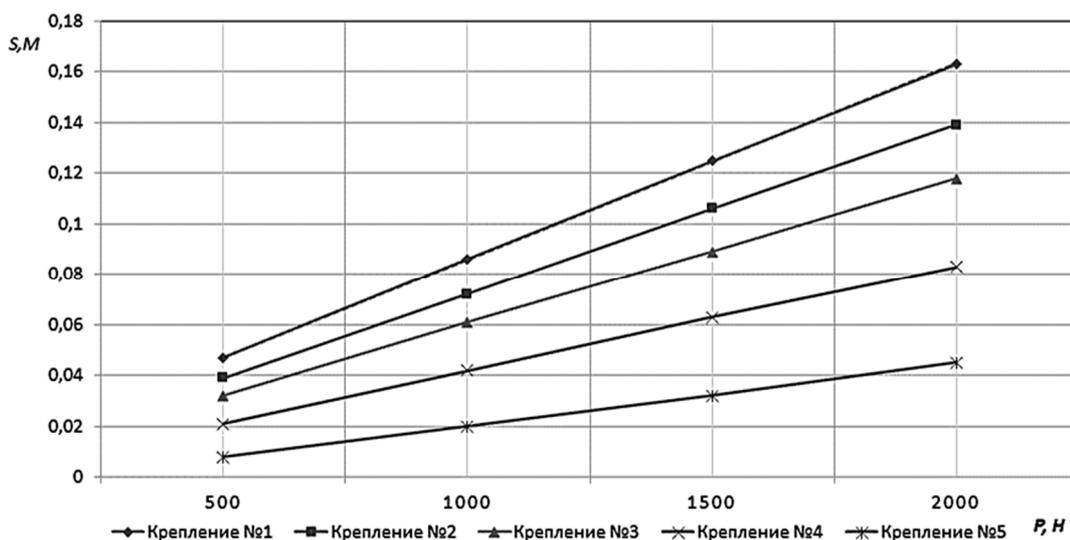


Рис. 3. Нагрузка – перемещение вдоль оси «Z» в зависимости от схемы закрепления (для точки «А»)

Из анализа графической зависимости «нагрузка – перемещение» (рис. 3) следует: напряжения в стойке не превышают предела пропорциональности, так как все зависимости выражаются прямыми линиями; с уменьшением рабочей длины стойки увеличивается угол наклона прямых, значит уменьшается податливость стойки, следовательно, увеличивается ее жесткость.

Анализ зависимости «собственные частоты – схемы закрепления» (рис. 4) показывает: с увеличением жесткости стойки растет собственная частота колебаний, что способствует использованию ее на влажных почвах (стойки с большой частотой колебаний лучше самоочищаются).

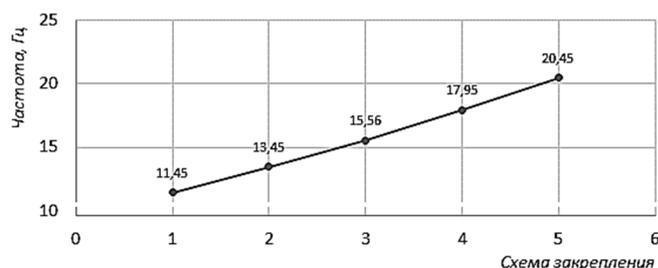


Рис. 4. Собственные частоты колебаний в зависимости от схемы закрепления

Заключение. Для стабилизации эффективных показателей работы и в целях предохранения упругой стойки культиватора в момент перегрузки, необходимо в ее конструкцию предусмотреть регулятор жесткости, что позволяет ее использовать на почвах различной влажности и твердости.

Библиографический список

1. Ишкин, П. А. Повышение эффективности разуплотнения почвы комбинированным орудием при мелкой осенней полосовой обработке : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ишкин Павел Александрович. – Пенза, 2008. – 19 с.
2. Чаткин, М. Н. Обзор современных энергосберегающих технологий обработки почвы / М. Н. Чаткин, О. А. Ягин, С. Е. Федоров // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. – Саранск, 2010. – С. 65-68.
3. Багманов, Р. С. Улучшение качества предпосевной обработки почвы и снижение энергозатрат путем обоснования параметров культиватора с упругими рабочими органами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Багманов Рубин Сабирович. – Москва, 2012. – 18 с.
4. Дмитриев, С. Ю. Проектирование, измерения и автоматизация упругих элементов машин и механизмов с использованием компьютера / С. Ю. Дмитриев, Ю. П. Дмитриев // Роль молодых ученых в решении приоритетного национального проекта «Развитие АПК» : мат. студенческой науч. конферен. – Чебоксары, 2007. – С. 90-93.
5. Седашкин, А. Н. Влияние вынужденных колебаний на разрушение почвы / А. Н. Седашкин, С. Е. Федоров, С. Ю. Городсков // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. – Саранск, 2010. – С. 66-68.
6. Пат. 132940 Российская федерация, МПК А01В35/24 Культиватор на упругих стойках / Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Костин А. С. – №2013120755 ; заявл. 06.05.2013 ; опубл. 10.10.2013, Бюл. №28. – 2 с.
7. Федоров, С. Е. Исследование динамики пружинной стойки методом «эквивалентного бруса» / С. Е. Федоров, М. Н. Чаткин // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. – Саранск, 2013. – С. 66-68.
8. Лукашевич, А. А. Построение и реализация схем прямого метода конечных элементов для решения контактных задач // Известия вузов. Строительство. – 2007. – № 12. – С. 18-23.

УДК 631.363.7

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Кордон Студеный, 25А.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Фомина Мария Владимировна, аспирант, ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА.

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Кордон Студеный, 1г.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Терюшков Вячеслав Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА.

440007 Пензенская область, г. Пенза, 1-й Городищенский проезд, 7-1.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Чупшев Алексей Владимирович, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА.

440014 Пензенская область, г. Пенза, ул. Конструкторская, 12.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Ключевые слова: смеситель, цикл, смешивание, выгрузка, смесь, производительность.

Цель исследования – аналитически обосновать длительность цикла работы смесителя периодического действия. Повышение продуктивности животных требует улучшения качества кормов. Одним из способов

повышения качества корма является приготовление смесей. Наиболее качественные смеси обеспечивают смесители периодического действия. Их особенностью является предварительная загрузка компонентов смеси и последующий период их смешивания рабочим органом. После приготовления смеси открывается выгрузное отверстие и готовая смесь выгружается. В ряде случаев используются смесители ступенчатого смешивания, в которых вначале готовится предварительная смесь, догружаются дополнительные добавки и получается смесь. Иногда осуществляется несколько подобных ступеней смешивания. В статье дается описание разработанной конструкции вертикального лопастного смесителя периодического действия для приготовления кормовых смесей. Используя известные теоретические положения прикладной механики, аналитически выводятся выражения длительности смешения компонентов смеси и выгрузки готового корма из смесителя. Выгрузку корма из смесителя можно разделить на два интервала времени. Первый интервал – пока разгружается смесь выше выгрузного отверстия (высота выгрузного отверстия постоянна). Вторым интервалом – когда разгружается смесь на высоте выгрузного отверстия (высота смеси изменяется от высоты выгрузного отверстия до практического нуля, т.е. высота выгрузного отверстия – переменная величина). В статье теоретически обоснуются выражения времени цикла работы смесителя, включая время смешения и разгрузки вертикального смесителя. Представлены формулы для определения длительности смешивания, время выгрузки материала через прямоугольное боковое отверстие и полное время цикла.

Повышение продуктивности животных требует улучшения качества кормов. Одним из способов повышения качества корма является приготовление смесей. Наиболее качественные смеси обеспечивают смесители периодического действия. Их особенностью является предварительная загрузка компонентов смеси и последующий период их смешивания рабочим органом. После приготовления смеси открывается выгрузное отверстие и готовая смесь выгружается [1].

В ряде случаев используются смесители ступенчатого смешивания, в которых вначале готовится предварительная смесь, догружаются дополнительные добавки и получается смесь. Иногда осуществляется несколько подобных ступеней смешивания [2].

Цель исследования – аналитически обосновать длительность цикла работы смесителя периодического действия.

Задача исследования – определить теоретические выражения, описывающие цикл работы смесителя периодического действия, время загрузки, смешения и выгрузки.

Материалы и методы исследований. Предлагается для приготовления кормовых смесей использовать лопастной смеситель разработанной авторами конструкции [3, 4]. Он состоит (рис. 1) из емкости смесителя 9, привода в составе электродвигателя 1 и муфты 2, передающей вращающий момент на вертикальный вал 5 и далее к мешалке 4. Загрузка ингредиентов смеси осуществляется через загрузочный бункер 8. Выгрузка готовой смеси осуществляется через выгрузное окно 12 по выгрузному лотку 13. Используя известные теоретические положения прикладной механики, аналитически выводятся выражения длительности смешения компонентов смеси и выгрузки готового корма из смесителя.

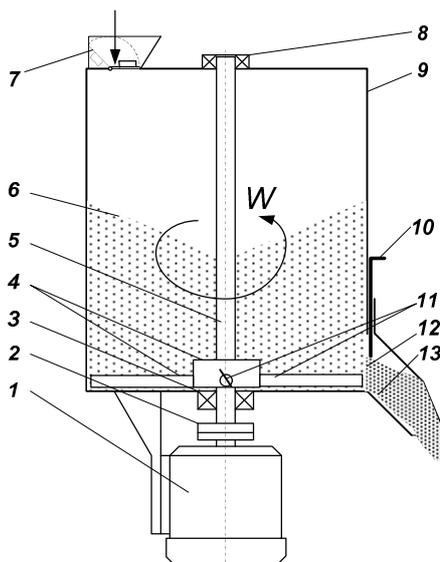


Рис. 1. Смеситель периодического действия:

- 1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3, 8 – подшипник; 4 – мешалка; 5 – вал; 6 – смесь; 7 – загрузочный бункер; 9 – емкость смесителя; 10 – заслонка; 11 – лопасти мешалки; 12 – выгрузное окно; 13 – выгружаемый корм

Результаты исследований. Конструктивные и энергетические параметры обосновывались авторами в ряде работ [3, 4]. Однако функционально не выявлялась длительность цикла работы устройства.

Время цикла приготовления смеси (c) включает в себя [1, 5-7]:

$$T_c = T_3 + T_c + T_e + T_d, \quad (1)$$

где T_3 – время загрузки компонентов, с; T_c – время смешения компонентов, с; T_e – время выгрузки готовой смеси, с; T_d – подготовительно-заключительные операции при работе дозирующего и смесительного оборудования, обеспечивающего подготовку смесительного агрегата следующему циклу, с.

Время загрузки компонентов дозаторами в смеситель определяется особенностями дозирующего устройства и способом загрузки компонентов смеси. В общем случае время загрузки компонентов (c) можно определить:

$$T_3 = \frac{M}{Q_d}, \quad (2)$$

где Q_d – производительность системы дозирования компонентов смеси, кг/с.

Длительность смешивания компонентов смеси смесителем определим на основе материалов [7].

Процесс перемешивания компонентов смеси может описываться показательной функцией по аналогии с процессом диффузии [8, 9]. Согласно этой аналогии, для описания равномерности приготавливаемой смеси справедливо уравнение:

$$Q = 1 - e^{-kT}, \quad (3)$$

где k – эмпирический коэффициент интенсивности перемешивания; T – длительность перемешивания материала [8], с.

Для различных смесителей (включая разные значения конструктивных и кинематических параметров одного и того же смесителя) значение эмпирического коэффициента интенсивности перемешивания k будет различным [7]. Соответственно графики изменения равномерности смеси Q для таких смесителей также будут отличаться интенсивностью (рис. 2).

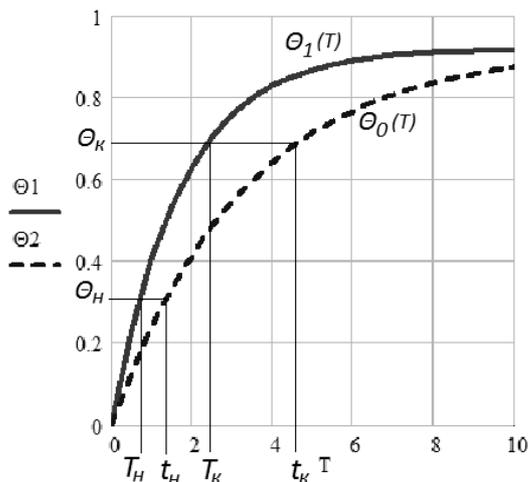


Рис. 2. Изменение равномерности смеси Θ (0,01%) в зависимости от длительности смешивания T (с)

При одинаковой системе работы дозирующих устройств начальное качество смеси Q_n на момент загрузки компонентов смеси в обоих вариантах смесителей будет одинаковым.

Необходимое качество смеси Q_k достигнет требуемого значения через некоторый промежуток времени, например для двух разных смесителей промежуток времени смешения составит:

$$T_{c1} = T_k - T_n, \quad T_{c2} = t_k - t_n, \quad (4)$$

где T_n и t_n – условное время смешивания, соответствующее промежутку времени до начала перемешивания, для достижения равномерности смеси, соответствующей качеству смеси Q_n начала перемешивания, с.

По условию минимальной энергоемкости смесеприготовления наиболее вероятно сокращение длительности смешивания. Соответственно, зная эмпирическую величину k (эмпирический коэффициент интенсивности перемешивания для смесителя), можем найти требуемую длительность смешения компонентов конкретного смесителя.

Условное время до начала смешивания определится:

$$T_n = -\frac{1}{k} \ln(1 - \Theta_n). \quad (5)$$

Условное время до окончания смешивания определится:

$$T_K = -\frac{1}{k} \ln(1 - \Theta_K). \quad (6)$$

Время смешения (с) в общем виде определится:

$$T_C = T_K - T_H = -\frac{1}{k} \ln \frac{(1 - \Theta_K)}{(1 - \Theta_H)}. \quad (7)$$

Время выгрузки смеси можно определить на основе данных статьи [10].

Если в смесителе диаметром D (м) загружена масса компонентов смеси M (кг), то при средней плотности смеси высота корма в смесителе составит H (м).

При этом координата положения центра тяжести X_C (м) радиального элементарного сектора [10] в момент времени t поворота некой лопасти мешалки, вращающейся на валу 4 вокруг вертикальной оси вертикальной цилиндрической емкости 2 (рис. 3), относительно начала выгрузного отверстия 1 на ее боковой поверхности (при котором $t=0$), определится относительно оси вращения:

$$X_C = C_1 \cdot e^{I_1 t} + C_2 \cdot e^{I_2 t} + \frac{g \cdot f_1 \cdot H}{w^2 \cdot S_l}, \quad (8)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент трения; w – угловая скорость вращения мешалки, рад/с; S_l – высота выгрузного отверстия, м;

$$C_1 = \frac{(X_C - B) \cdot I_2}{I_2 - I_1}; C_2 = X_C - \frac{X_C \cdot I_2}{I_2 - I_1} - B; B = \frac{g \cdot f_1 \cdot H}{w^2 \cdot S_l}; I_1 = -w \cdot (f + \sqrt{f^2 + 1}); I_2 = -w \cdot (f - \sqrt{f^2 + 1}).$$

При выгрузке материала сектор смещается в радиальном направлении, не успевая заполняться. Радиальные сектора составляют в совокупности всю поверхность дна смесительной емкости.

Радиальная скорость перемещения центра тяжести радиального сектора (м/с) будет функцией времени поворота лопасти (соответственно времени расположения лопасти относительно начала выгрузного отверстия) [10]:

$$J = \dot{X}_C = C_1 \cdot I_1 \cdot e^{I_1 t} + C_2 \cdot I_2 \cdot e^{I_2 t}. \quad (9)$$

Подача материала (кг/с) через выгрузное отверстие в виде прямоугольной щели определится:

$$Q = Q_V \cdot r = (S_l \cdot S_o \cdot J_{cp}) \cdot r \quad \text{или} \quad Q = S_l \cdot S_o \cdot r \cdot \frac{\sum J_i}{N_i}. \quad (10)$$

где S_o – ширина выгрузного отверстия, м; J_{cp} – средняя скорость выхода материала из смесителя через выгрузное отверстие в радиальном направлении, м/с; J_i – скорость выхода материала из смесителя в радиальном направлении на i -м участке, м/с; N_i – количество i -х участков выгрузного отверстия, шт.; r – плотность вороха материала в смесительной емкости при работе мешалки, кг/м³.

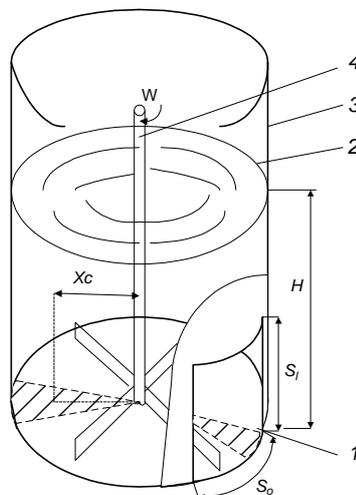


Рис. 3. Схема размещения размеров при выгрузке материала из емкости смесителя:

1 – выгрузное отверстие; 2 – верхний слой материала; 3 – емкость смесителя; 4 – вращающийся вал с мешалкой

При разгрузке за бесконечно малое время DT из смесителя выгрузится масса корма M_1 (кг) и объем смеси V_1 (M^3):

$$M_1=DT \times Q, V_1=M_1/r. \quad (11)$$

Высота слоя корма в смесителе уменьшится на ΔH . Теперь высота корма составит $H-\Delta H$. Изменение высоты корма в смесителе (m) составит:

$$DH=4 \times V_1/(p \times D^2)=4 \times (DT \times Q/r)/(p \times D^2) \text{ или } DH=4 \times DT \times Q/(p \times D^2 \times r). \quad (12)$$

Выгрузку корма из смесителя можно разделить на два интервала времени. Первый интервал – пока разгружается смесь выше выгрузного отверстия (высота выгрузного отверстия постоянна). Второй интервал – когда разгружается смесь на высоте выгрузного отверстия (высота смеси изменяется от высоты выгрузного отверстия до практического нуля, т.е. высота выгрузного отверстия – переменная величина).

Определим время первого интервала времени (c), когда конечная высота слоя корма составит S_l :

$$Dt_1=(p \times r \times D^2 \times DH)/(4 \times Q), \text{ или } Dt_1=(H-S_l) \times (p \times D^2 \times r)/(4 \times Q). \quad (13)$$

Определим длительность второго интервала времени (c), когда высота слоя корма в смесителе изменяется от высоты отверстия S_l до нуля:

$$Dt_2 = \int_{S_l}^0 \left[\frac{DH \times A}{S_l - DH} \right] dDH = \int_{S_l}^0 (-DH \times A - A \times S_l \times \ln(S_l - DH)) dDH, \quad (14)$$

где $A = p \cdot D^2 / \left(4 \cdot S_o \cdot \frac{\sum J_i}{N_i} \right)$ – показатель, определяемый из формул 10 и 13.

Учитывая, что логарифм нуля математически определить невозможно, граничным условием (соответствующим условному нулю) примем размер частиц смеси в соответствии с зоотехническими требованиями – 0,001 м.

Время второго интервала (c) выразится:

$$Dt_2 = [-S_l \times A - A \times S_l \times \ln(0,001) + A \times S_l \times \ln(S_l)]. \quad (15)$$

На основании данных формул можно найти время, в течение которого координата центра тяжести опустится до дна, что и будет длительностью выгрузки (c):

$$T_B = Dt_1 + Dt_2. \quad (16)$$

Заключение. Аналитически описана длительность цикла T_u (c) работы вертикального смесителя периодического действия с боковым выгрузным отверстием в виде прямоугольной щели:

$$T_u = \frac{M}{Q_0} + -\frac{1}{k} \ln \left(\frac{1 - \Theta_K}{1 - \Theta_H} \right) + \left(\frac{(H-S_l) \times (p \times D^2 \times r)}{4 \times Q} + [-S_l \times A - A \times S_l \times \ln(0,001) + A \times S_l \times \ln(S_l)] \right) + T_0. \quad (17)$$

Библиографический список

1. Коновалов, В. В. Механизация технологических процессов животноводства / С. И. Щербаков, В. Ф. Дмитриев. – Пенза, 2006. – 232 с.
2. Терюшков, В. П. Определение энергоемкости смесеобразования быстроходных смесителей / В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, О. Н. Широкова, М. В. Коновалова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 3. – С. 76-81.
3. Коновалов, В. В. Обоснование конструктивно-режимных параметров смесителя сухих кормов с плоскими лопастями / В. В. Коновалов, В. Ф. Дмитриев, М. В. Коновалова // Научное обозрение. – 2011. – №1. – С. 24-28.
4. Коновалов, В. В. Результаты теоретических исследований процесса перемешивания в смесителе периодического действия / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев // Нива Поволжья. – 2012. – №2. – С. 51-55.
5. Новиков, В. В. Обоснование параметров лопастной мешалки / В. В. Новиков, С. П. Симченкова, В. И. Курдюмов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – №2. – С. 104-108.
6. Ларюшин, Н. П. Теоретическое исследование рабочего процесса барабанной картофелесортировки / Н. П. Ларюшин, О. Н. Кухарев, В. С. Бочкарев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №3. – С. 19-25.
7. Коновалов, В. В. Моделирование изменения равномерности смеси при ступенчатом смешивании / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев, М. В. Фомина, А. С. Калиганов // Нива Поволжья. – 2013. – №3 (28). – С. 77-83.
8. Стукалкин, Ф. Г. Исследование кормосмесителей непрерывного действия и методика их расчета : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ф. Г. Стукалкин. – Ленинград, 1965. – 21 с.

9. Коновалов, В. В. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера / В. В. Коновалов, В. В. Новиков, Д. Н. Азиаткин, А. С. Грецов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №3. – С. 72-78.

10. Коновалов, В. В. Моделирование подачи материала при разгрузке вертикального смесителя / В. В. Коновалов, А. С. Калиганов, М. В. Фомина, А. В. Чупшев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : сб. науч. тр. – 2014. – №06 (22). – С. 67-74.

УДК 631.363

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕРМОВАКУУМНОГО ЭФФЕКТА В РАБОЧЕМ ПРОЦЕССЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ЭКСТРУДЕРА

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Шабурова Галина Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: shaburovs@mail.ru

Фролов Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440072, г. Пенза, ул. Антонова, 26.

E-mail: surr@bk.ru

Воронина Полина Константиновна, аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: worolina89@mail.ru

Ключевые слова: экструдат, растительное, сырье, влажность, термовакuumное, воздействие.

Цель исследований – теоретическое обоснование термовакuumного эффекта при обработке сырья растительного происхождения в модернизированном экструдере. Технологические процессы термопластической экструзии сырья растительного происхождения получили широкое применение при производстве готовых пищевых продуктов; зерновых экструдированных полупродуктов для использования в технологии кондитерских, хлебобулочных и мясных изделий; кормов для различных групп животных, птицы и рыб. Большинство этих экструдатов представляют собой продукты пористой макроструктуры, получаемые путем переработки сырья с высоким содержанием крахмалов. Получают такие экструдаты с помощью машин, оснащенных короткими неохлаждаемыми фильерами, при выходе из которых в обрабатываемом материале происходит резкий сброс давления, обуславливающий взрывное испарение воды и образование пористой макроструктуры. В процессе оценки интенсивности испарения влаги при получении экструдатов наибольшие трудности возникают при рассмотрении перехода жидкости в перегретое состояние и последующего за ним детонационного вскипания, под которым понимается лавинообразное образование центров кипения в объеме перегретой жидкости и ее быстрое испарение. Кроме взрывного испарения свободной воды влажность экструдата уменьшается за счет сушки путем конвективного массообмена. Опираясь на первый закон Фика, уравнения состояния идеального газа, а также на теорию подобия, в работе представлен расчет конвективного массообмена влаги в условиях получения экструдата при атмосферном давлении и при пониженном давлении воздуха в вакуумной камере модернизированного экструдера. При этом скорость испарения влаги с поверхности экструдатов при использовании вакуумной камеры возрастает примерно в 30 раз, что оправдывает ее применение с целью интенсификации образования пор в готовом продукте и его обезвоживании.

Технологические процессы термопластической экструзии сырья растительного происхождения получили широкое применение при производстве готовых пищевых продуктов; зерновых экструдированных полупродуктов для использования в технологии кондитерских, хлебобулочных и мясных изделий; кормов для различных групп животных, птицы и рыб. Большинство этих экструдатов представляют собой продукты пористой макроструктуры, получаемые путем переработки сырья с высоким содержанием крахмалов [1, 2, 3].

Для получения экструдатов с пористой макроструктурой используют экструдеры с короткими неохлаждаемыми фильерами, при выходе из которых обрабатываемого материала в нем происходит резкое падение давления и «взрывное» испарение воды. При этом интенсивность образования пор зависит не только от конструктивно-технологических параметров экструдера, но и от содержания крахмала в обрабатываемом сырье и его влажности.

Содержание воды в сырье предопределяет температуру его перехода в вязко-текучее состояние. Изменяя вязкость системы, вода воздействует на тепловой баланс экструдера, в котором теплота выделяется в результате трения при гомогенизации, пластификации, сдвиге и сжатию перемещаемого в процессе обработки материала. Влажность сырья оказывает существенное влияние на давление и температуру, при которых обрабатываемый материал выходит из фильеры матрицы экструдера. При этом жидкость играет роль летучего, перегретого компонента системы, который обеспечивает парообразование в ней при мгновенном сбросе давления, а также резкое охлаждение и отверждение (гелеобразование) получаемого продукта в процессе взрывного испарения воды [4, 5, 6].

Известен способ получения экструдатов, при котором перерабатываемое сырье из области высокого давления в тракте машины (2,0-2,7 МПа) поступает в вакуумную камеру экструдера с давлением 0,02-0,09 МПа. Конструктивно-технологическая схема экструдера с камерой для термовакуумной обработки получаемого экструдата приведена на рисунке 1.

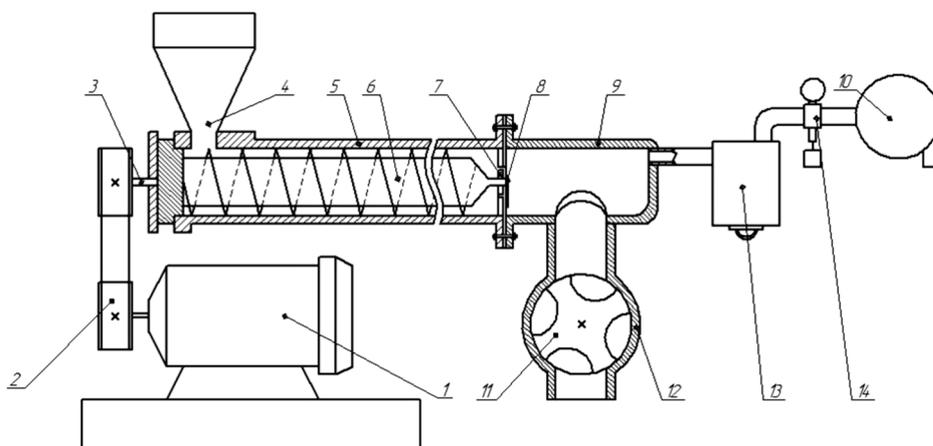


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема модернизированного экструдера:

- 1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – вал; 4 – загрузочная камера; 5 – корпус экструдера; 6 – шнек; 7 – фильера; 8 – режущее устройство; 9 – вакуумная камера; 10 – вакуумный насос; 11 – шлюзовый затвор; 12 – выгрузная камера; 13 – вакуум-баллон; 14 – вакуум-регулятор

Работает модернизированный экструдер следующим образом. Исходное сырьё посредством загрузочной камеры направляется в шнековую часть экструдера. Захваченный шнеком продукт последовательно проходит зоны прессования и дозирования машины, а затем выводится через фильеру матрицы в вакуумную камеру. Термовакуумное воздействие на экструдат в камере модернизированного экструдера позволяет регулировать структурные и функциональные свойства готового продукта, а также его влажность [7, 8].

Цель исследования – теоретическое обоснование термовакуумного эффекта при обработке сырья растительного происхождения в модернизированном экструдере.

Задача исследования – определить аналитическими методами зависимость интенсивности испарения влаги с поверхности экструдата от величины вакуума в камере модернизированного экструдера.

Материалы и методы исследований. В процессе оценки интенсивности испарения влаги при получении экструдатов наибольшие трудности возникают при рассмотрении перехода жидкости в перегретое состояние и последующего за ним детонационного вскипания, под которым понимается лавинообразное возникновение центров кипения в объеме перегретой жидкости и ее быстрое испарение.

Испарение жидкости приводит к тому, что большая часть тепловой энергии, потраченной на перегрев жидкости, преобразуется в механическую энергию сжатия и кинетическую энергию движущейся парожидкостной смеси. Это явление формализуется зависимостью [9]

$$\Delta E = M \cdot c_p \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где M , c_p , ΔT – масса, теплоемкость и величина перегрева «взрывающейся» порции жидкости.

Разрушающая способность «взрыва» определяется механизмом вскипания жидкости и количеством выделившейся энергии, которая оценивается следующим выражением:

$$E = c_p \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T, \quad (2)$$

где c_p – теплоемкость; ρ – плотность; V – объем вскипевшей части жидкости; ΔT – величина перегрева, $\Delta T = T - T_S$.

Механизм вскипания воды зависит от взаимодействия целого ряда факторов. К ним можно отнести внешний или внутренний импульс давления, под действием которого активируются центры кипения; место расположения и плотность этих центров, а также время и последовательность их активации; зависимость количества центров кипения от давления, температуры и наличия примесей в жидкости.

Характер вскипания изменяется в зависимости от относительной величины перегрева и может быть охарактеризован следующей зависимостью:

$$\varepsilon = \frac{(T - T_S)}{(T_n - T_S)}, \quad (3)$$

где T , T_S , T_n – температуры жидкости, ее насыщенных паров и предельного (достижимого) перегрева.

При малых перегревах ($\varepsilon \ll 1$) обычно наблюдается кипение в отдельных центрах и в этом случае в парожидкостную смесь превращается лишь малая часть перегретой жидкости, которая непосредственно прилегает к центрам кипения. При перегревах, близких к предельным ($\varepsilon \approx 1$), вскипание носит взрывной характер и в парожидкостную смесь превращается весь объем перегретой жидкости.

Наиболее важной характеристикой взрывного вскипания жидкости служит возникающий при этом импульс давления, который и оказывает в конечном итоге влияние на коэффициент расширения экструдата.

В процессе получения экструдатов с пористой структурой, кроме взрывного испарения свободной воды, их влажность может также уменьшаться за счет конвективного массообмена в процессе испарения воды с поверхности продукта.

Известно, что скорость испарения воды с поверхности объекта сушки зависит от свойств окружающей среды. Определим скорость испарения воды с поверхности экструдата для случая, когда окружающей средой является сухой воздух.

Поскольку в этом случае массообмен определяется конвективным процессом, то поток массы удобно оценивать пропорционально разности между массовыми концентрациями на поверхности и в окружающей среде [10], т.е.

$$\dot{m}_A = h_m A (C_{As} - C_{A\infty}), \quad (4)$$

где \dot{m}_A – скорость испарения воды, кг/с; h_m – коэффициент конвективного массообмена, м/с; A – площадь поверхности, м²; C_{As} – массовая концентрация влаги на поверхности, кг/м³; $C_{A\infty}$ – массовая концентрация влаги в окружающей среде, кг/м³.

Уравнение (4) является основным уравнением для расчета конвективного массообмена при малых значениях потока массы и, в свою очередь, определяет смысл коэффициента конвективного массообмена h_m . Вместе с этим данное уравнение аналогично по форме записи закону Ньютона при охлаждении.

Для решения задачи исследования приведем схему испарения влаги с поверхности экструдата (рис. 2) и рассмотрим перенос тепла от горизонтальной поверхности, на которой развивается тепловой пограничный слой.

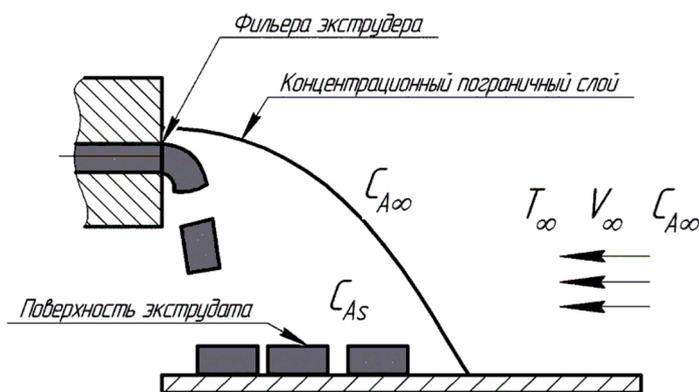


Рис. 2. Схема испарения влаги с поверхности экструдата

Над поверхностью экструдированного продукта образуется концентрационный пограничный слой, внутри которого концентрация изменяется в направлении, перпендикулярном горизонтальной поверхности. Снаружи пограничного слоя концентрация водяного пара остается постоянной и равной своему значению в окружающей среде.

Между процессами конвективного теплообмена и массообмена существует подобие. Поэтому, получив уравнения для процессов конвективного переноса тепла и массы, можно считать их подобными; причем массовая концентрация C_A аналогична температуре T , а коэффициент бинарной диффузии D_{AB} аналогичен коэффициенту температуропроводности α .

Методом расчета коэффициента массообмена является использование соответствующего безразмерного соотношения для конвективного теплообмена с подстановкой соответствующих безразмерных комплексов, описывающих процесс массообмена. При этом безразмерным комплексом, описывающим теплообмен, является число Нуссельта; массообмен – число Шервуда; отношение переноса количества движения к теплопроводности – число Прандтля; отношение переноса количества движения к массовой диффузии – число Шмидта; отношение силы инерции к силе вязкости – число Рейнольдса.

Результаты исследований. Определим скорость испарения воды с поверхности экструдата для условий, когда площадь экструдата, получаемого с помощью модернизированного экструдера, равна 0,64 м², сторона квадрата поверхности экструдата $L=0,8$ м; скорость воздуха в зоне выхода экструдата из фильеры в приемный лоток составляет 0,1 м/с и 6 м/с – при поступлении экструдата в вакуумную камеру модернизированного экструдера.

Температура воздуха окружающей среды и в вакуумной камере равна 25°С, а температура воды, находящейся в экструдате в виде пара – 60°С.

Перед расчетом подберем соответствующее безразмерное соотношение для числа Шервуда и определим характер течения воздуха в обоих случаях, для чего рассчитаем число Рейнольдса. Для случая поступления получаемого экструдата в среду с атмосферным давлением оно равно

$$\text{Re}_A = \frac{\rho \cdot V_\infty \cdot L}{\mu} = \frac{1,146 \cdot 0,1 \cdot 0,8}{18,4 \cdot 10^{-6}} = 4982, \quad (5)$$

где Re_A – критерий Рейнольдса при атмосферном давлении; ρ – плотность воздуха, кг/м³; V_∞ – скорость воздуха в конечной точке поверхности экструдата, м/с; L – длина поверхности экструдата, м; μ – коэффициент динамической вязкости, Н·с/м².

Число Рейнольдса для случая подачи экструдата в вакуумную камеру равно

$$\text{Re}_V = \frac{\rho \cdot V_\infty \cdot L}{\mu} = \frac{1,146 \cdot 6 \cdot 0,8}{18,4 \cdot 10^{-6}} = 298956. \quad (6)$$

Течение воздуха полностью турбулентное в обоих анализируемых случаях, поэтому безразмерные критерии Шервуда найдем из выражения

$$\text{Sh}_A = 0,036 \text{Sc}^{1/3} \text{Re}_A^{0,8}; \text{Sh}_V = 0,036 \text{Sc}^{1/3} \text{Re}_V^{0,8}, \quad (7)$$

где Sh_A – критерий Шервуда при атмосферном давлении; Sh_V – критерий Шервуда при экструдировании в вакуумную камеру.

Используя данные о физических свойствах воды и воздуха при 25°С, имеем:

– коэффициент бинарной диффузии воздух-вода $D_{AB} = 2,6 \cdot 10^{-5}$ м²/с;

– критерий Шмидта $\text{Sc} = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{16,18 \cdot 10^{-6}}{2,6 \cdot 10^{-5}} = 0,622$.

Определим число Шервуда для атмосферного давления

$$\text{Sh}_A = 0,036 \cdot 0,622^{1/3} \cdot 4982^{0,8} = 27,89$$

и для вакуумной камеры

$$\text{Sh}_V = 0,036 \cdot 0,622^{1/3} \cdot 298956^{0,8} = 737,99.$$

Коэффициент конвективного теплообмена h_m найдем из выражения критерия Шервуда

$$\text{Sh} = \frac{h_m \cdot L}{D_{AB}}. \quad (8)$$

Выразим его из выражения (8) и получим для атмосферного давления

$$h_m^A = \frac{\text{Sh}_A \cdot D_{AB}}{L} = \frac{27,89 \cdot 2,6 \cdot 10^{-5}}{0,8} = 9,06 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

Для вакуумной камеры коэффициент конвективного теплообмена равен

$$h_m^V = \frac{\text{Sh}_V \cdot D_{AB}}{L} = \frac{737,99 \cdot 2,6 \cdot 10^{-5}}{0,8} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с.}$$

Определим концентрацию паров воды у поверхности экструдатов и в окружающем воздухе.

У поверхности экструдированного продукта воздух насыщенный и имеет относительную влажность 100%. Соотношение между относительной влажностью, температурой насыщения и парциальным давлением водяного пара можно выразить как

$$P_A = \phi \cdot P_{\text{нас}}, \quad (9)$$

где P_A – парциальное давление водяного пара при атмосферном давлении, Па; ϕ – относительная влажность воздуха, %; $P_{\text{нас}}$ – давление насыщенного пара, Па.

Из таблиц для водяного пара давление насыщения при температуре воздуха 25°C равно $P_{\text{нас}} = 3169$ Па; давление насыщения водяного пара вблизи поверхности экструдированного продукта при примерной температуре 60°C равно $P_{\text{пов.нас}} = 19932$ Па.

Определим концентрацию водяного пара при выбросе экструдированного продукта в атмосферный воздух.

Концентрация водяного пара у поверхности экструдированного продукта равна

$$C_{As} = \frac{M_{\omega} \cdot P_{\text{пов.нас}}}{R_u \cdot T} = \frac{18 \cdot 19932}{8,314 \cdot 10^3 \cdot 333} = 0,13 \text{ кг/м}^3, \quad (10)$$

где M_{ω} – молярная масса воды, г/моль; R_u – универсальная газовая постоянная, Дж/(Кмоль · град); T – температура, °К.

Концентрация водяного пара в воздухе над экструдированным продуктом при относительной влажности воздуха $\phi_{\infty} = 60\%$:

$$C_{A\infty} = \frac{M_{\omega} \cdot \phi_{\infty} \cdot P_{\text{нас}}}{R_u \cdot T} = \frac{18 \cdot 0,60 \cdot 3169}{8,314 \cdot 10^3 \cdot 298} = 0,014 \text{ кг/м}^3. \quad (11)$$

С помощью формулы (4) рассчитаем скорость испарения воды

$$\dot{m}_A = h_m^A A (C_{As} - C_{A\infty}) = 9,06 \cdot 10^{-4} \cdot 0,64 \cdot (0,13 - 0,014) = 6,726 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (12)$$

Определим концентрацию водяного пара при подаче экструдированного продукта в вакуумную камеру модернизированного экструдера, для чего найдем концентрацию водяного пара у поверхности экструдата по формуле

$$C_{As} = \frac{M_{\omega} \cdot P_{\text{пов.нас}}}{R_u \cdot T} = \frac{18 \cdot 19932}{8,314 \cdot 10^3 \cdot 333} = 0,13 \text{ кг/м}^3. \quad (13)$$

Концентрацию водяного пара над экструдатом при относительной влажности воздуха $\phi_{\infty} = 5\%$ в вакуумной камере можно вычислить из выражения

$$C_{A\infty} = \frac{M_{\omega} \cdot \phi_{\infty} \cdot P_{\text{нас}}}{R_u \cdot T} = \frac{18 \cdot 0,05 \cdot 3169}{8,314 \cdot 10^3 \cdot 298} = 1,151 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3. \quad (14)$$

Скорость испарения воды из экструдата в вакуумной камере модернизированного экструдера определим по формуле (4), подставив соответствующие значения параметров

$$\dot{m}_V = h_m^V A (C_{As} - C_{A\infty}) = 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,64 \cdot (0,13 - 0,00115) = 1,979 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (15)$$

Интенсивность испарения влаги с поверхности экструдата в случае замены атмосферного давления окружающей среды на вакуум камеры модернизированного экструдера можно оценить отношением

$$\frac{\dot{m}_V}{\dot{m}_A} = \frac{1,979 \cdot 10^{-3}}{6,726 \cdot 10^{-5}} = 29,423. \quad (16)$$

Таким образом, применение вакуумной камеры в модернизированном экструдере в сравнении с атмосферным давлением позволит увеличить интенсивность испарения влаги с поверхности экструдата более чем в 29 раз.

Заключение. Получено теоретическое обоснование термовакuumного эффекта при обработке сырья растительного происхождения в модернизированном экструдере. Опираясь на первый закон Фика, уравнения состояния идеального газа, а также на теорию подобия, в работе представлен расчет конвективного массообмена влаги в условиях получения экструдата при атмосферном давлении воздуха и при пониженном давлении воздуха в вакуумной камере модернизированного экструдера. При этом скорость испарения влаги с поверхности экструдатов при использовании вакуумной камеры возрастает примерно в 30 раз, что оправдывает ее применение с целью интенсификации обезвоживания и образования пор в готовом продукте.

Библиографический список

1. Остриков, А. Н. Технология экструзионных продуктов / А. Н. Остриков, Г. О. Магомедов, Н. М. Дерканосова [и др.]. – СПб. : Проспект науки, 2007. – 202 с.
2. Мартиросян, В. В. Научные и практические аспекты применения экструдатов зернового сырья в технологии профилактических пищевых продуктов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.01 / Мартиросян Владимир Викторович. – М., 2013. – 52 с.
3. Крылова, В. Б. Научное обоснование и разработка технологии термопластической экструзии мясного и растительного сырья с целью расширения ассортимента мясopодуков : автореф. ... д-ра техн. наук : 05.18.04 / Крылова Валентина Борисовна. – М., 2006. – 46 с.
4. Курочкин, А. А. Регулирование функционально-технологических свойств экструдатов растительного сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №4. – С. 86-91.

5. Курочкин, А. А. Регулирование структуры экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №4. – С. 94-99.
6. Курочкин, А. А. Моделирование процесса получения экструдатов на основе нового технологического решения / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Нива Поволжья. – 2014. – №30. – С. 70-76.
7. Пат. 2460315 Российская Федерация МПК А23L1/00. Способ производства экструдатов / Шабурова Г. В., Курочкин А. А., Воронина П. К. [и др.]. – №20011107960; заявл. 01.03.2011; опубл. 10.09.2011, Бюл. №25. – 6 с.
8. Курочкин, А. А. Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №4. – С. 70-74.
9. Буланов, Н. В. Взрывное вскипание диспергированных жидкостей: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.14 / Буланов Николай Владимирович. – Екатеринбург, 2001. – 284 с.
10. A two-phase mixture model of liquid-gas flow and heat transfer in capillary porous media – I. Formulation / Chao-Yang Wang, C. Beckermann // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1993. – Vol. 36. – №11. – P. 2747-2758.

УДК 631.347

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОЖДЯ ДМ «ФРЕГАТ»

Надежкина Галина Петровна, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ.

410004, г. Саратов, ул. Е. И. Пугачева, 1.

E-mail: nadejkinagr@yandex.ru

Слюсаренко Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ.

410031, г. Саратов, ул. Московская, 25.

E-mail: kiguri1@rambler.ru

Акпасов Антон Павлович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ.

413415, Саратовская область, с. Воскресенка, 1.

E-mail: 1a9@mail.ru

Ключевые слова: дождь, машина, дождеватель, полив, мощность.

Цель исследования – повышение эффективности использования ДМ «Фрегат» за счет снижения энергетического воздействия дождя. В Саратовском Заволжье орошение позволяет в 2-3 раза увеличить продуктивность агроценозов. Наряду с положительным эффектом от мелиорации необходимо обратить внимание и на ухудшение экологической обстановки в местах использования дождевальной техники. Развитие таких негативных процессов как подъем уровня грунтовых вод, вторичное засоление, водная эрозия происходят из-за использования дождевальной техники, обладающей повышенным воздействием на почву, вследствие значительной высоты подъема дождевого облака, повышенной крупности капель дождя, высокой интенсивности дождя. При определении нормы полива до стока фиксировались конструктивные и технологические параметры серийных и модернизированных дождевателей ДМ «Фрегат», а также учитывались тип и механический состав почвы, вид сельскохозяйственных культур, степень покрытия почвы растениями. Норма полива до стока $M_{\text{до}}$ уменьшалась с увеличением уклона поля, предположенной влажности и уплотнения (объемной массы) верхнего слоя почвы (по мере увеличения кратности поливов). Увеличению нормы полива до стока способствует увеличение степени покрытия почвы растениями.

Орошение является важным фактором интенсификации сельскохозяйственного производства. Наиболее распространенным способом механизированного полива является дождевание. Важнейшим направлением в решении вышеизложенных проблем является научное обоснование и разработка новой техники полива с учетом мировых тенденций развития мелиорации. Задачи исследований, направленные на минимизацию или устранение недостатков, обеспечат значительную экономию водных ресурсов и будут способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

В связи с этим улучшение агротехнических показателей полива ДМ «Фрегат» является актуальной задачей.

Цель исследования – повышение эффективности использования ДМ «Фрегат» за счет снижения энергетического воздействия дождя.

Задача исследования – определить агротехнические показатели полива ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания.

Материалы и методы исследований. Теоретические исследования проводились в ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ, экспериментальные исследования выполнялись на полях ОПХ ВолжНИИГиМ Энгельского

района Саратовской области. Экспериментальные методы включали полевые и лабораторные исследования по изучению изменения норм полива до стока и энергетических показателей воздействия дождя на почву и растения при замене серийных дождевальных аппаратов на короткоструйные насадки, установленные на устройствах приповерхностного полива; проводились в соответствии с ОСТ 10.11.1 2000.

Результаты исследований. Совершенствование дождеобразующих устройств дождевальной машины и режимов орошения способно обеспечить значительное снижение потерь воды на сток и инфильтрацию, воздействие дождя на почву и растения, стабилизируя при этом экологическую обстановку. Приоритетной задачей технико-технического характера в области орошения является повышение эффективности дождевальных машин на основе использования более совершенных дождеобразующих устройств, способных создавать мелкодисперсный дождь с малой интенсивностью [1].

Наиболее распространенными в Саратовской области являются дождевальные машины (ДМ) типа «Фрегат», оборудованные дождевальными аппаратами. Норма полива до стока $M_{дс}$ серийных аппаратов «Фрегат» №1 и 2 имеет высокие значения и не является лимитирующей для ДМ «Фрегат». Исследованиями установлено, что серийные дождевальные аппараты №3 и 4 в результате увеличения степени распыла струй (уменьшения мгновенной интенсивности дождя и среднего диаметра капель) обеспечивают повышение нормы полива до стока на 20-49%. Крупность капель дождя среднеструйных аппаратов изменяется вдоль трубопровода машины в пределах 0,8-1,8 мм, в то время как у дефлекторных насадок – 0,67-0,87 мм, то есть примерно в 2 раза меньше. Высота подъема дождевого облака у серийных аппаратов «Фрегат» составляет 5-8 м. Скорость падения капель дождя, образованного дождевальными аппаратами машины «Фрегат», изменяется в пределах 6-12 м/с, а от дефлекторных насадок – в пределах 3-6 м/с.

Действительная мощность дождя дождевальных аппаратов, имеющего значительный средний диаметр капель, большую скорость падения, изменяется в пределах 0,186-0,573 Вт/м², тогда как у дефлекторных насадок – 0,011-0,070 Вт/м². Несмотря на столь явные преимущества дождевальных насадок средняя мощность дождя у них больше, и изменяется вдоль трубопровода машины «Фрегат» в пределах 0,05-0,145 Вт/м², тогда как у дождевальных аппаратов этот параметр составляет 0,011-0,095 Вт/м².

Норма полива до стока для ДМ «Фрегат», оборудованных насадками, несколько ниже, нежели с дождевальными аппаратами (рис. 1) [2].

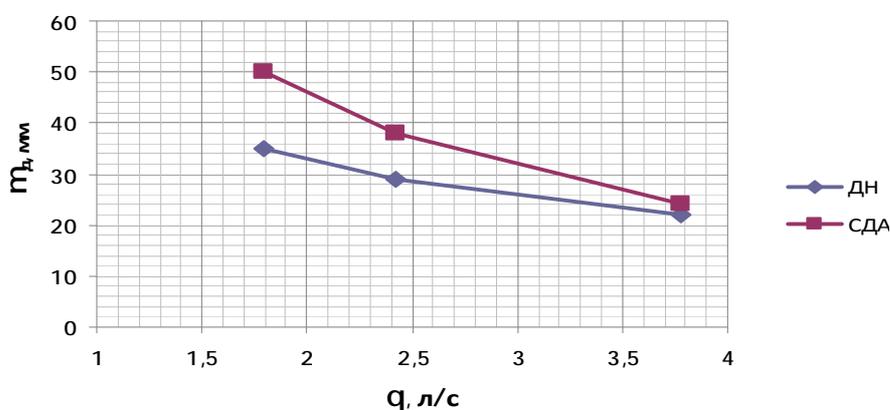


Рис. 1. Норма полива до стока при поливе темно-каштановых почв Саратовской области ДМ «Фрегат», оборудованными серийными дождевальными аппаратами (СДА) и дефлекторными насадками (ДН)

Тенденция для обоих типов дождеобразующих устройств на снижение нормы с увеличением расхода сохраняется, при этом тренд на снижение у аппаратов более выражен и соответственно составляет для насадок с 35 до 22 мм, аппаратов – с 50 до 25 мм при изменении расхода с 17,75 до 3,75 л/с. Несмотря на некоторое преимущество дождевальных аппаратов, оценивать эффективность использования необходимо с учетом воздействия их на почву и растения, т.е. необходимо учитывать энергетическую характеристику воздействия [3]. Очевидно, что во второй половине трубопровода ДМ «Фрегат» дефлекторные насадки в результате увеличения степени распыла струй (уменьшения мгновенной интенсивности дождя и среднего диаметра капель) обеспечивают комплексную энергетическую характеристику дождя и норму полива до стока на уровне серийных аппаратов, несмотря на увеличение средней интенсивности дождя.

Использование технического приема снижения высоты водовыпусков с помощью устройств приповерхностного дождевания (УПД), обеспечивающего снижение высоты дождевого облака до 1,5 м от поверхности поля, позволяет в значительной степени снизить энергетическое воздействие дождя на почву и растения (рис. 2).

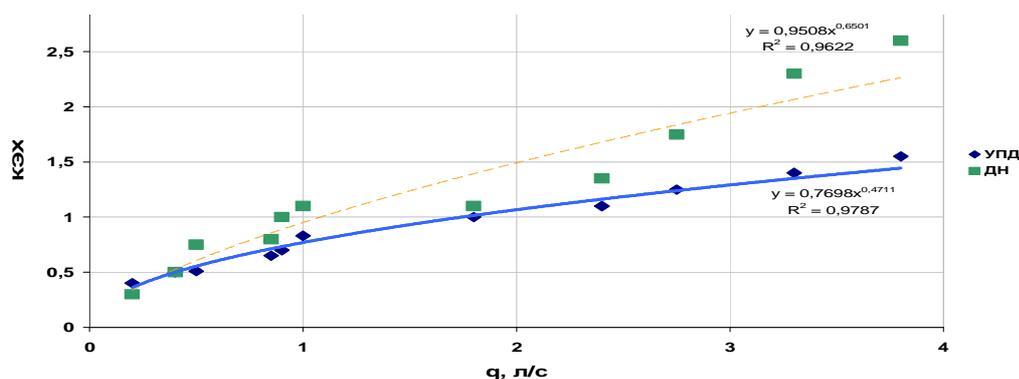


Рис. 2. Изменение комплексной энергетической характеристики (КЭХ) дождя вдоль трубопровода ДМ «Фрегат» с различными типами дождевателей

Лучшие результаты имеет ДМ «Фрегат» с УПД, формирующий дождь с хорошими агротехническими параметрами ($d_k = 1,2$ мм, $\rho_{cp} = 0,5$ мм/мин, $\rho_{mg} = 1,5$ мм/мин). Это обеспечивает снижение комплексной энергетической характеристики дождя и повышает норму полива до стока с 230-280 до 350-390 м³/га. Наличие резерва в снижении мощности дождя и повышении нормы полива до стока у ДМ «Фрегат» очевидно. Перевод существующего парка машин на комплектацию дождевальными насадками с установкой их на устройства приповерхностного полива позволит повысить их эффективность и сохранить сотни тысяч м³ воды.

Заключение. Исследования серийных ДМ «Фрегат» и оборудованных короткоструйными насадками, установленными на устройствах приповерхностного дождевания, свидетельствуют о явном преимуществе последних и позволяют на 60-65% снизить энергетическое воздействие дождя на почву и растения.

Библиографический список

1. Пат. 74033 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Дождевальная машина / Слюсаренко В. В., Рыжко Н. Ф., Гуркин Е. И. [и др.]. – № 2008105594/22 ; заявл. 13.02.08 ; опубл. 20.06.08, Бюл. № 30. – 5 с.
2. Надежкина, Г. П. Совершенствование устройств приповерхностного полива дождевальной машины «Фрегат» : дис. ... канд. техн. наук / Надежкина Галина Петровна. – Саратов, 2014. – С. 98-104.
3. Рыжко, Н. Ф. Резервы экономии электроэнергии на насосной станции при работе с низконапорными ДМ «Фрегат» / Н. Ф. Рыжко, В. В. Слюсаренко, Г. П. Надежкина // Научное обозрение. – 2013. – №10. – С. 20-28.
4. Надежкина, Г. П. Снижение потерь воды при поливе дождеванием / Н. Ф. Рыжко, В. В. Слюсаренко // Научная жизнь. – 2013. – №6. – С. 57-61.
5. Надежкина, Г. П. Пути совершенствования дождевателей ДМ «Фрегат» / Г. П. Надежкина, Н. Ф. Рыжко, В. В. Слюсаренко // Научное обозрение. – 2011. – №6. – С. 31-34.
6. Слюсаренко, В. В. Повышение ветроустойчивости струй дождевателей ДМ «Фрегат» / Н. Ф. Рыжко, В. В. Слюсаренко, Г. П. Надежкина // Научное обозрение. – 2012. – №2. – С. 256-262.
7. Рыжко, Н. Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье : монография. – Саратов : Саратовский источник, 2007. – 110 с.

УДК 631.363.7

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКРЕБКОВО-ТРОСОВОГО КОНВЕЙЕРА КОРМОРАЗДАТЧИКА

Лянденбургский Владимир Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», ФГБОУ ВПО Пензенский ГУАС.

440039, Пензенская область, г. Пенза, ул. Кордон Студеный, 34.

E-mail: lvv789@yandex.ru

Петрова Светлана Станиславовна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: ssaariz@mail.ru

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440039, Пензенская область, г. Пенза, проезд Байдукова, 1а.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Ключевые слова: конвейер, транспортирование, сыпучие, материалы, корма, скребково-тросовый.

Цель исследования – теоретически обосновать основные параметры скребково-тросового конвейера кормораздатчика. Для транспортирования сыпучих грузов, включая зерно и продукты его переработки, широко

используются канатно-скребковые конвейеры с тросошайбовым или цепочно-шайбовым рабочим органом. В силу эксплуатационных особенностей и большой тяговой способности троса, данный рабочий орган имеет существенные преимущества. Одним из недостатков таких рабочих органов является образование пробки из материала перед движущимся скребком. Она приводит к росту сопротивления при перемещении рабочего органа. Указанный недостаток можно уменьшить, оптимизируя конструкцию шайбы конвейера. Для оптимизации конструкции рабочего органа скребково-тросового конвейера проведены теоретические исследования, позволяющие осуществить расчет основных показателей работы конвейера с подобным рабочим органом. В статье дается описание скребково-тросового конвейера непрерывного действия стационарного кормораздатчика сухих кормов. Работа конвейера состоит из трех последовательных процессов: загрузки материала в материалопровод, перемещения материала по всей длине транспортирования, разгрузки материала под собственным весом через выгрузное отверстие в нижней части трубы материалопровода. Представлены результаты и теоретически обоснована форма чаши скребка в виде полусферы с углом относительно направляющей трубы не менее угла трения материала о стенки чаши, а также установлены выражения, позволяющие рассчитать основные параметры скребково-тросового конвейера.

Для транспортирования сыпучих грузов, включая зерно и продукты его переработки, широко используются канатно-скребковые конвейеры с тросошайбовым (рис. 1) или цепочно-шайбовым рабочим органом [1, 2, 6]. В силу эксплуатационных особенностей и большой тяговой способности троса, рабочий орган имеет существенные преимущества. Одним из недостатков таких рабочих органов является образование пробки из материала перед движущимся скребком. Она приводит к росту сопротивления при перемещении рабочего органа [2-5, 7]. Указанный недостаток можно уменьшить, оптимизируя конструкцию шайбы конвейера.

Цель исследования – теоретически обосновать основные параметры скребково-тросового конвейера кормораздатчика.

Задачи исследований: обосновать рациональную форму чаши скребка конвейера; определить выражения для расчета основных параметров работы скребково-тросового конвейера.

Материалы и методы исследований. В процессе проведения теоретических исследований осуществлялось определение выражений по расчету основных показателей рабочего процесса транспортирования материала скребками по трубопроводу круглого сечения и аналитическое обоснование рациональных параметров формы скребка конвейера. Скребково-тросовый конвейер (рис. 1) конструктивно представляет трубчатый материалопровод 1, внутри которого перемещается тяговый орган 2, состоящий из троса и скребков, выполненных из полимерного материала. Изменение направления поступательного перемещения материала достигается с помощью поворотных узлов 3, которые находятся в плотно закрытых корпусах.

Привод рабочего органа осуществляется ведущей звездочкой приводной станции 4. Загрузка конвейера происходит при помощи бункера 5, на любом участке контура. Работа конвейера состоит из трех последовательных процессов: загрузки материала в материалопровод, перемещения материала по всей длине транспортирования, разгрузки материала под собственным весом через выгрузное отверстие в нижней части трубы материалопровода.

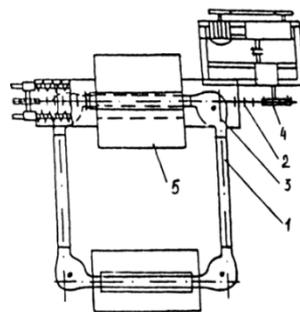


Рис. 1. Схема скребково-тросового конвейера кормораздатчика:

1 – трубопровод 2 – канатно-скребковый рабочий орган; 3 – поворотный узел; 4 – приводная станция; 5 – загрузочный бункер

Результаты исследований. Рассмотрим силовое воздействие скребка 3 на перемещаемый перед скребком материал 4,5 (рис. 2). Допустим, длина пробки 5 от нижнего края скребка 3 до переднего ее края постоянна. В таком случае у передней кромки пробки образуется откос с углом $\alpha_{\text{СМ}}$ полного сдвига транспортируемого материала по поверхности материала материалопровода – трубы 1. Вследствие воздействия скребка 3 перед его нижним краем возникает плоскость внутреннего сдвига слоев материала под углом $\alpha_{\text{в}}$. При постоянной длине пробки ее масса и объем V_0 будут постоянны. Соответственно, сила сопротивления перемещению пробки F_0 также будет постоянна. При этом объем материала 4 в непосредственном контакте со скребком 3 по мере перехода от выпуклой формы скребка (рис. 2, а) к вогнутой (рис. 2, в) растет, а нормальная проекция сил воздействия скребка (клинящих материал в трубе материалопровода) изменяет направление от радиально-наружного к центрально направленному (уравновешивающих частично сами

себя). Тем самым, скребки вогнутой формы способны обеспечить рост производительности и снижение удельных затрат мощности транспортирования. В результате, возникающее боковое распорное давление оказывает существенное влияние на энергоёмкость процесса транспортирования.

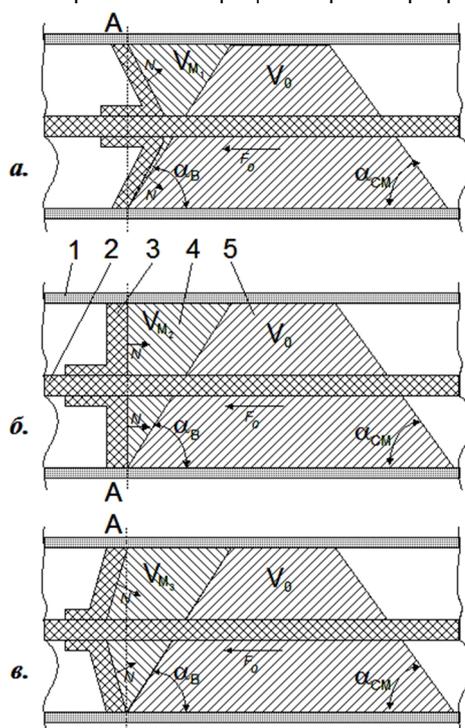


Рис. 2. Схема воздействия скребка на материал:
 а – выгнутый скребок; б – плоский скребок; в – вогнутый скребок в виде чаши;
 1 – трубопровод; 2 – трос; 3 – скребок; 4 – слой материала, непосредственно воздействующий на скребок;
 5 – слой материала, образующий кормовую пробку

Для снижения энергоёмкости необходимо уменьшить боковое давление в межскребковых пространствах материалопровода. Это возможно достигнуть при использовании скребка в форме чаши с кромками, направленными в сторону перемещения материала (рис. 3).

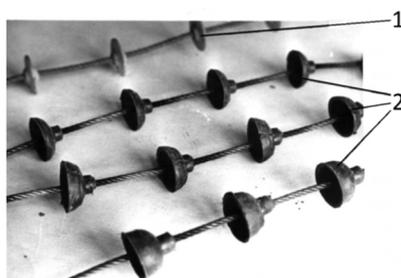


Рис. 3. Рабочие органы скребково-тросового конвейера:
 1 – тросо-шайбовый; 2 – тросо-чашечные с различной глубиной чаши

При этом должно соблюдаться условие полной выгрузки корма в зоне выгрузного отверстия. Коническая форма чаши приведет к залипанию материала у вершины конуса возле троса, снижая тем самым производительность. Поэтому возле троса угол поверхности чаши относительно троса следует увеличить до максимума (90°), т.е. полусфера. Полная выгрузка чаши будет происходить при условии: $\alpha > \alpha_c$, где α – угол наклона кромок чаши относительно горизонта, град; α_c – угол полного сдвига транспортируемого материала по поверхности материала скребка, град.

Точные параметры скребка определяются графо-аналитическим методом, (рис. 4). Уравнение окружности в выбранной системе координат будет иметь вид:

$$(X - R)^2 + Y^2 = R^2, \quad (1)$$

где R – радиус чаши скребка, м.

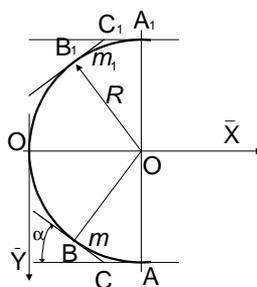


Рис. 4. Схема обоснования оптимальной рабочей поверхности внутреннего профиля скребка

Уравнение прямой m :

$$Y = X \cdot \operatorname{tg} \alpha + R \cdot (\cos \alpha - \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha). \quad (2)$$

Уравнение прямой m_1 :

$$Y_1 = -X \cdot \operatorname{tg} \alpha + R \cdot (\cos \alpha + \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha). \quad (3)$$

Поверхность, расположенная внутри участка, ограниченного точками $СВОВ_1C_1$ будет соответствовать условию свободной выгрузки материала из чаши и наибольшему внутреннему объему самой чаши, т.е. тем самым определена оптимальная рабочая поверхность скребка – полусфера с углом относительно направляющей трубы не менее угла трения материала о стенки чаши.

Производительность конвейера в общем виде выразится как:

$$Q_k = K_3 \cdot Q_3, \quad (4)$$

где K_3 – коэффициент пропорциональности; Q_3 – производительность поступления материала из загрузочного бункера кг/с; Q_k – производительность конвейера, кг/с.

Или, подставив конструктивные показатели:

$$\left(d^2 - d_2^2 - \frac{d_3^2 \cdot l_4 - d_2^2 \cdot l_4 - d_1^2 \delta \sin \alpha}{H} \right) \frac{\pi \rho k_3}{4} = K_3 a_3 \theta_3 l \sqrt{\frac{g a_3 \theta_3 (1 + \sin j)}{2 f (a_3 + \theta_3) (1 - \sin j)}}, \quad (5)$$

где a_3 – длина загрузочного отверстия, м; b_3 – ширина загрузочного отверстия, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент внутреннего трения материала; φ – угол внутреннего трения, град.; d_1 – диаметр скребка (рис. 5), м; d_2 – диаметр троса, м; d_3 – диаметр цилиндрической части, м; δ – толщина скребка, м; l_4 – длина цилиндрической части, м.

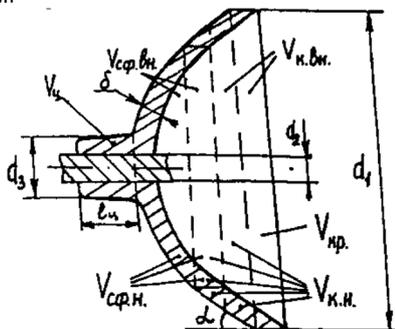


Рис. 5. Схема к определению параметров рабочего органа

Из формулы (5) определяем основные параметры скребково-тросового трубчатого транспортера и загрузочного бункера.

Пропускная способность выгрузного отверстия Q_B должна удовлетворять условию:

$$Q_B \geq Q_T. \quad (6)$$

Предпочтительным условием выгрузки корма из материалопровода является выгрузка материала сплошным потоком. Следовательно, наиболее рациональным следует принять ширину выгрузного отверстия конвейера, стремящуюся к диаметру материалопровода.

Для скребка в виде чаши путь, пройденный за время t схода транспортируемого материала с рабочей поверхности скребка (рис. 6), а соответственно и длина выгрузного отверстия определяются выражением:

$$l_B = u \left(\frac{\omega_0 R + \sqrt{\omega_0^2 R^2 + 2gS(\sin\alpha - f_{mc}\cos\alpha)}}{g(\sin\alpha - f_{mc}\cos\alpha)} + \int \frac{d\beta}{\pm \sqrt{\frac{6ge^{-2\beta} + 2g(3f_{mc}\cos\beta - \sin\beta)}{SR}}} - C_2 \right), \quad (7)$$

где f_{mc} – коэффициент трения корма по материалу скребка; v – скорость перемещения скребка, м/с; ω_0 – угловая скорость движения материальной точки по окружности, рад/с.

В процессе движения скребково-тросового рабочего органа по внутренней поверхности трубчатого кожуха условия перемещения материала могут меняться. Различают следующие участки: материалопровод и поворотное устройство.

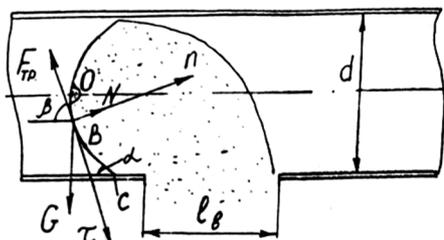


Рис. 6. Схема к определению длины выгрузного отверстия скребково-тросового конвейера

Сила, необходимая на перемещение материала, находящегося в межскребковом пространстве на прямолинейном участке материалопровода, расположенного под углом к горизонту (рис. 7) запишется следующим образом:

$$F_1 = g(M_M + M_{PO})(f_{cm} + \sin\theta) + \frac{\pi \rho d^3 g (e^{4f_{cm}k_b H k_3 k_k k_u} - 1)(f_{cm} + \sin\theta)}{4k_b}, \quad (8)$$

где M_M – масса корма, находящегося в полости чаши скребка, кг; M_{PO} – масса рабочего органа, приходящаяся на скребок, кг; θ – угол наклона материалопровода относительно горизонта, град; f_{cm} – коэффициент трения материала о внутреннюю поверхность трубы материалопровода; k_b – коэффициент бокового давления; k_3 – коэффициент заполнения межскребкового пространства кормом; k_k – конструктивный коэффициент; k_u – коэффициент исключения давления части корма, находящегося в полости скребка, на стенки кормопровода.

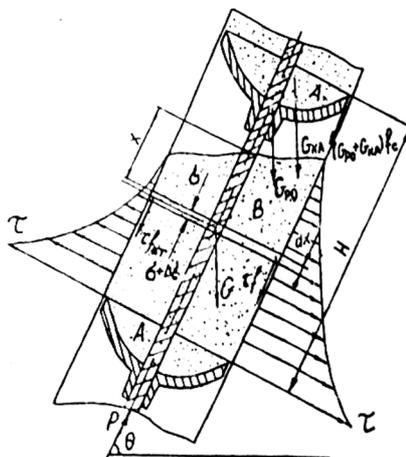


Рис. 7. Схема сил, действующих на скребок при перемещении материала в материалопроводе

Значения коэффициентов заполнения k_3 , конструктивного k_k и исключения k_u определяются по формулам:

$$k_3 = \frac{V_\delta}{V_H}; k_k = 1 - \frac{V_{PO}}{V_H}; k_u = 1 - \frac{V_C}{V_\delta}, \quad (9)$$

где V_δ – действительный объем корма в межскребковом пространстве материалопровода, м³; V_H – объем межскребкового пространства материалопровода, м³; V_{PO} – объем, занимаемый рабочим органом, м³; V_C – объем материала, находящийся в полости скребка, м³.

При перемещении материала в поворотном устройстве на скребок кроме указанных сил, воздействуют центробежные силы: P_C – материала в полости скребка, P_{PO} – рабочего органа, P_M – материала на участке В. С учетом этих сил усилие, оказываемое на скребок в поворотном устройстве, запишется:

$$F_2 = (M_M + M_{PO} + M_O)\omega_n^2 R_n + g(M_M + M_{PO})(f_{cm} + \sin\theta) + \frac{\pi p d^3 g (e^{4f_{cm}k_b H k_3 k_k k_u - 1}) \cdot (f_{cm} + \sin\theta)}{4k_b}, \quad (10)$$

где ω_n – угловая скорость звездочки поворотного устройства, c^{-1} ; R_n – радиус поворотного устройства, м; M_o – масса материала в межскребковом пространстве материалопровода, без M_m , кг.

Необходимая на привод мощность N (Вт) пропорциональна длине рабочей трубы L , поэтому целесообразно рассматривать не абстрактную необходимую на привод мощность, а мощность привода при работе с трубой, имеющей длину L (м).

Энергоемкость $N_{уд}$ (Дж/кг·м) определится:

$$N_{уд} = \frac{u(F_1 \cdot Z_1 + F_2 \cdot Z_2 \cdot n_2)}{Q_T \cdot L \cdot h}, \quad (11)$$

где Z_1 – количество межскребковых пространств, заполненных материалом на прямолинейном участке; Z_2 – количество межскребковых пространств, заполненных материалом в поворотном устройстве; n_2 – количество поворотных устройств; η – КПД привода.

Заключение. Теоретически обоснована форма чаши скребка в виде полусферы с углом относительно направляющей трубы не менее угла трения материала о стенки чаши; установлены выражения, позволяющие рассчитать основные параметры скребково-тросового конвейера.

Библиографический список

1. Сыроватка, В. И. Новые технические решения приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка, Н. В. Обухова, А. С. Комарчук // Кормопроизводство. – 2010. – №7. – С. 42-45.
2. Лянденбургский, В. В. Совершенствование канатно-скребкового кормораздатчика для птицы с обоснованием его конструктивно-режимных параметров : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Лянденбургский Владимир Владимирович. – Саратов, 1997. – 164 с.
3. Лянденбургский, В. В. Канатно-скребковый кормораздатчик для птицы / В. В. Лянденбургский, В. Н. Стригин // Птицеводство. – 2002. – №8. – С. 23-26.
4. Лянденбургский, В. В. Совершенствование канатно-скребкового кормораздатчика для птицы / В. В. Лянденбургский, В. Н. Стригин // Механизация и электрификация в сельском хозяйстве. – 2002. – №9. – С. 31-33.
5. Прохоров, А. В. Совершенствование букерного кормораздатчика для свиней с регулировкой захватывающей способностью шнековых дозаторов : дис....канд. техн. наук : 05.20.01 / Прохоров Алексей Владимирович. – Тамбов, 2001. – 139 с.
6. Пат. 2452173 Российская Федерация, А01К5/02 Раздатчик комбикормов / Повалихин Н. В., Андрюхина О. Л., Скоркин В. К. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. – №2010140068/13 ; заявл. 29.09.2010 ; опубл. 10.06.2012.
7. Кульпин, И. М. Обоснование режимов работы цепного кормораздатчика для птиц : дис... канд. техн. наук : 05.20.01 / Кульпин Илья Михайлович. – Уральск, 2003. – 163 с.

УДК 664.732.7

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДИСКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРНЕПЛОДОВ

Петрова Светлана Станиславовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: ssaariz@mail.ru

Конвалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440039, Пензенская область, г. Пенза, проезд Байдукова, 1а.

E-mail: konvalov-penza@rambler.ru

Волков Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440039, Пензенская область, г. Пенза, проезд Байдукова, 1а.

fpk_pgta@mail.ru

Воронова Инна Александровна, канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА.

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Ключевые слова: корнеплоды, клубнеплоды, измельчитель, ножи, энергоемкость, мощность, производительность.

Цель исследования – аналитически обосновать зависимости по определению основных показателей работы дискового ножевого измельчителя корнеплодов. Повышение молочной продуктивности коров требует

улучшения качества кормов, а также включения в состав рациона корнеклубнеплодов. Одной из обязательных операций подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию является их измельчение и последующее скармливание животным в минимальные сроки (до 2 ч) во избежание порчи. Для измельчения корнеклубнеплодов используются терки, молотковые, штифтовые, ножевые и др. измельчающие аппараты. Наиболее предпочтительным для измельчения чистых корнеплодов является дисковый ножевой измельчающий аппарат с горизонтальной осью вращения. В силу особенностей эксплуатации измельчителя в фермерских хозяйствах предполагается ручная загрузка корнеплодов в измельчающий аппарат. Для повышения производительности предлагается оригинальное загрузное устройство. Приводится описание дискового измельчителя корнеклубнеплодов для фермерских хозяйств с оригинальным загрузным устройством, которое обеспечивает принудительный подвод корня к ножам диска, увеличивая производительность процесса. Чрезмерное усилие прижатия приведет к излишнему прижатию корня к диску и росту энергоёмкости процесса. Толщина ломтиков ограничивается величиной отгиба ножа от плоскости поверхности диска. При недостаточном усилии корень не доходит до диска, соответственно, толщина ломтика меньше, производительность устройства ниже, эффективная энергоёмкость процесса снижается. Поэтому теоретический анализ рабочего процесса позволит определить его основные показатели. В статье дается теоретическое обоснование, и приводятся выражения, описывающие энергоёмкость процесса, мощности привода, производительности устройства, толщины ломтиков частиц корней.

Повышение молочной продуктивности коров требует улучшения качества кормов, а также включения в состав рациона корнеклубнеплодов. Одной из обязательных операций подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию является их измельчение и последующее скармливание животным в минимальные сроки (до 2 ч) во избежание порчи. Соответственно, производительность измельчителя должна быть по возможности достаточно высокой, чтобы сократить длительность измельчения корнеплодов. Конструкция измельчителя должна обеспечивать низкие энергозатраты, соблюдение зоотребований на размер частиц (толщина ломтиков до 10 или 15 мм в зависимости от вида животных), предотвращение потерь кормов (в т.ч. за счет сока, т.е. избегать переизмельчения) [1-3].

Цель исследования – аналитически обосновать зависимости по определению основных показателей работы дискового ножевого измельчителя корнеклубнеплодов.

Задача исследования – определить теоретические выражения, описывающие энергоёмкость процесса, мощность привода, производительность устройства и среднюю толщину ломтиков частиц корней.

Материалы и методы исследований. Для измельчения корнеклубнеплодов используются терки, молотковые, штифтовые, ножевые и др. измельчающие аппараты [1-8]. Наиболее предпочтительным, по мнению авторов, для измельчения чистых корнеплодов является дисковый ножевой измельчающий аппарат. Предлагается использовать подобный аппарат с горизонтальной осью вращения. В силу особенностей эксплуатации измельчителя в фермерских хозяйствах, предполагается ручная загрузка корнеплодов в измельчающий аппарат. Для повышения производительности используется загрузное устройство, представленное на рисунке 1 [9]. После закладки корня в приемный бункер 5, рукояткой осуществляется поворот прижимной лопасти 4 устройства в сторону вращающегося диска с ножами 3. Тем самым обеспечивается принудительный подвод корня к ножам 3 диска, обеспечивающий увеличение производительности. Чрезмерное усилие прижатия приведет к излишнему прижатию корня к диску и росту энергоёмкости процесса. Толщина ломтиков ограничивается величиной отгиба ножа от плоскости поверхности диска. При недостаточном усилии корень не доходит до диска, соответственно толщина ломтика меньше, производительность устройства ниже, эффективная энергоёмкость процесса снижается. Теоретический анализ рабочего процесса позволит определить его основные показатели.

Результаты исследований. Конструктивные и энергетические параметры обосновывались авторами в ряде работ [9, 10]. Однако функционально не выявлялась производительность устройства.

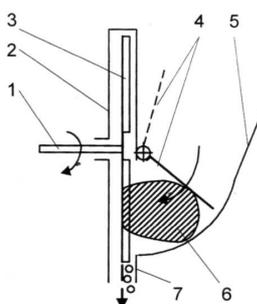


Рис. 1. Схема дискового ножевого измельчителя корнеплодов:

1 – вал привода; 2 – корпус измельчителя; 3 – диск с ножами; 4 – прижимная лопасть, шарнирно установленная на оси; 5 – приемный бункер; 6 – корнеплод; 7 – выгрузное отверстие для измельченных частиц

Для определения энергоемкости измельчения корнеклубнеплодов Y (Дж/кг) требуется знать затраченную энергию (работу) A (Дж) и массу приготовленного корма m (кг).

Соответственно [9]:

$$Y = \frac{A}{m} = \frac{A_1 + A_2}{m}, \quad (1)$$

где A_1, A_2 – работа, затраченная на привод измельчающего аппарата и устройства подачи корнеплодов к измельчающему аппарату, Дж; m – масса измельченного корма, кг.

Учитывая, что масса корнеплодов одинакова, а подвод корнеплода осуществляется вручную и не связан с приводом измельчителя, можно записать:

$$Y = \frac{N}{Q}, \quad (2)$$

где N – мощность, потребная на привод измельчителя, Вт; Q – производительность измельчителя, кг/с.

Потребная мощность привода измельчающего аппарата определится

$$N_1 = \frac{N_{ИЗМ} + N_{АЭР} + N_{РАЗГ} + N_{ВЫГР}}{h}, \quad (3)$$

где $N_{ИЗМ}, N_{АЭР}, N_{РАЗГ}, N_{ВЫГР}$ – мощность, потребная соответственно на измельчение корнеплодов, на сопротивление воздуха, на разгон материала до скорости рабочего органа, на выгрузку корма из измельчителя, Вт; h – КПД привода рабочего органа.

Из указанных слагаемых достаточно постоянной величиной является мощность, потребная на сопротивление воздуха, а остальные зависят от производительности измельчителя, причем существенно зависят от одной из ее составляющих – толщины срезаемых ломтиков. Чем тоньше ломтики, тем выше затраты энергии на резание. Чем толще ломтики, тем выше трение корнеплодов о диск измельчителя.

Производительность измельчителя (кг/с) может быть определена [10]:

$$Q = Z \cdot n \cdot D \cdot a \cdot b \cdot k \cdot k_c \cdot \rho \cdot k_{ис}, \quad (4)$$

где Z – количество ножей измельчающего аппарата, шт.; n – частота вращения рабочего органа измельчителя, с⁻¹; D – толщина срезаемых ломтиков, м; a – ширина загрузочной горловины измельчающего аппарата, м; b – высота загрузочной горловины измельчающего аппарата, м; k – коэффициент, учитывающий пустоты между клубнями; k_c – коэффициент использования ножа; ρ – плотность вороха корнеплодов, кг/м³; $k_{ис}$ – коэффициент использования рабочего времени измельчающего аппарата, связанный с циклической подачей корнеплодов.

Однако данная формула не совсем корректна при используемом варианте работы предложенного измельчителя корнеплодов.

Так как фактически применяется порционная подача корнеплодов по циклам, поэтому производительность (кг/с) может определяться:

$$Q = \frac{M_k}{T_c} = \frac{N_k \cdot m}{T_n + T_n' + T_d}, \quad (5)$$

где M_k – масса порции измельчаемых корнеплодов за смену, кг; T_c – длительность смены, с; m – средняя масса корнеплода, кг; N_k – количество измельчаемых корнеплодов, шт.; T_n – длительность измельчения корнеплодов, с; T_n' – длительность операций по замене емкостей с корнеплодами, с; T_d – длительность подготовительно-заключительных операций во время смены, с.

Длительность измельчения корнеплодов (с):

$$T_n = N_k \cdot (T_p + T_3), \quad (6)$$

где T_p – длительность резания корнеплода, с; T_3 – длительность закладки корнеплода, с.

Длительность резания (с) можно найти:

$$T_p = \frac{2R\alpha}{D_c}, \quad (7)$$

где R – радиус основания конуса корнеплода, м; D_c – толщина средней части ломтика, м.

Время между проходами ножа (с) составит:

$$t = \frac{2\pi}{\omega \cdot Z}. \quad (8)$$

Толщину средней части ломтика можно найти на основании рисунка 2,б. Если нож 2 отстоит от поверхности диска 1 на расстоянии i , то при малой частоте резания ножей ожидается наибольшая толщина ломтиков Δ (м). С ростом частоты вращения диска с ножами время t смещения корнеплода к диску будет сокращаться, соответственно толщина средней части ломтика Δ_c будет также уменьшаться.

При силовом воздействии (рис. 2,а) момента M прижимной лопасти 4 на корнеплод 5, возникнет сила воздействия лопасти F , расположенная на расстоянии R_l от оси вращения лопасти (т. С), а также ранее

существовавшая сила тяжести плода G . Под воздействием указанных сил корнеплод прижимается к днищу приемного бункера $б$. Как результат возникает сила нормальной реакции днища N и производная от нее сила трения по днищу $F_{тр}$ (H). В результате на центр тяжести корнеплода ($т. О$) подействует сила инерции $F_{ин}$. Она будет стараться сместить корнеплод вдоль днища, т.к. его движение к днищу невозможно. В силу опоры корня о днище ($т. А$) дополнительно возникает вращение вокруг точки A . Т.е. корнеплод 5 начнет прокатываться по днищу приемного бункера $б$ в сторону диска 1 . Как результат, первый период длительностью t_1 – перемещение верхней части корнеплода по точкам 1-2-3-4-5, при минимальном сдвиге в районе $т. О$. При достижении верней части диска ($т. 5$), второй период длительностью t_2 – дальнейшее движение пройдет по точкам 6-7-8-9. В зависимости от имеющегося времени, движение прекратится по достижении лимита времени t . Для упрощения теоретических расчетов сделаем допущение о форме плода, близкой к цилиндру, лежащему вдоль плоскости диска.

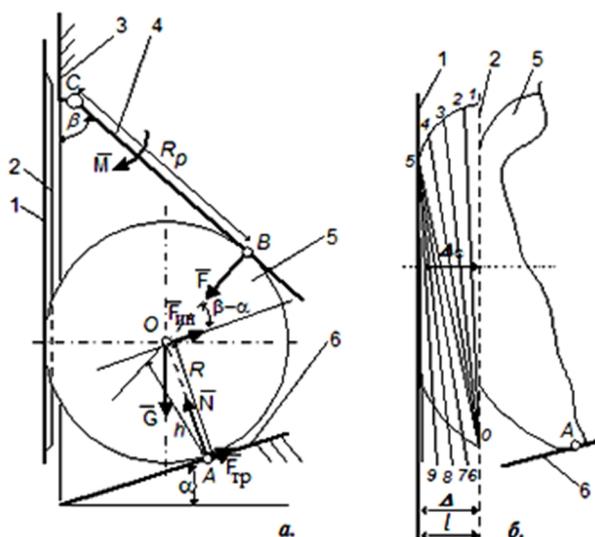


Рис. 2. Схема взаимодействия корнеплода и ножевого аппарата:

а – схема действующих сил; б – схема перемещений корнеплода между воздействиями ножа; 1 – диск; 2 – нож; 3 – корпус измельчителя; 4 – прижимная лопасть, шарнирно установленная на оси; 5 – корнеплод; 6 – приемный бункер

Нормальная реакция днища (H):

$$N = -G \cdot \cos\alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha), \quad (9)$$

где α – угол наклона днища от горизонтали, рад; β – угол наклона прижимной лопасти от вертикали, рад.

Сила инерции корнеплода (H):

$$F_{ин} = -G \cdot \sin\alpha - F \cdot \cos(\beta - \alpha). \quad (10)$$

Сила трения о днище (H):

$$F_{тр} = N \cdot f = f \cdot (-G \cdot \cos\alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha)), \quad (11)$$

где f – коэффициент трения корнеплода по днищу.

Вращающий момент корнеплода ($H \cdot м$):

$$M_k = F_{тр} \cdot R = f \cdot R \cdot (-G \cdot \cos\alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha)). \quad (12)$$

Угловое ускорение корнеплода (рад/с²):

$$\varepsilon = \frac{M_k}{J_s}. \quad (13)$$

Момент инерции корнеплода (кг·м²) [10]:

$$J_s = S(m_i \cdot r^2) = S \left(m_i \cdot \left(\frac{2}{3} R \cdot \frac{\sin(d\varphi)}{d\varphi} \right)^2 \right) = \frac{4}{9} m \cdot R^2, \quad (14)$$

где r – радиус центра тяжести элементарного сектора с центральным углом при вершине $\varphi \rightarrow 0$; m ; m_i – масса элементарного сектора, кг.

Угловая скорость вращения корнеплода (рад/с):

$$\omega_k = \frac{9 \cdot t \cdot M_k}{4 \cdot m \cdot R^2} = \frac{9 \cdot t \cdot f \cdot (-G \cdot \cos\alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha))}{4 \cdot m \cdot R}. \quad (15)$$

Окружной путь вращения корнеплода (рад):

$$x_k = \frac{9 \cdot t^2 \cdot f \cdot (-G \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha))}{2 \cdot 4 \cdot m \cdot R} = \frac{9 \cdot t^2 \cdot f \cdot (-m \cdot g \cdot \cos \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / R_l)}{8 \cdot m \cdot R} \quad (16)$$

Скорость движения корнеплода (м/с):

$$u = t \frac{-G \cdot \sin \alpha - F \cdot \cos(\beta - \alpha)}{m} = t \frac{-m \cdot g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / R_l}{m} = t \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]$$

Перемещение центра тяжести корнеплода (м):

$$x_c = 0,5 \cdot t^2 \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)] \quad (17)$$

Точка «ноль» (т. 0) будет смещаться влево на расстояние (м):

$$x(t) = x_c(t) - R \cdot (\cos(g) - \cos(g + \omega_k \cdot t)) \quad (18)$$

В тоже время верхние точки (т.1-2-3-4-5) будут смещаться влево на расстояние, м:

$$x(t) = x_c(t) + R \cdot (\cos(g) - \cos(g - \omega_k \cdot t)) \cdot \xi_i \quad (19)$$

При достижении края корнеплода (т. 5) вращение корнеплода против часовой стрелки прекратится, и далее начнется вращение в противоположную сторону из-за продолжающегося движения центра тяжести корнеплода.

Время до полного прижатия корнеплода к диску (с) составит:

$$t^* = \frac{\sqrt{2 \cdot i \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]}}{[-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]} \cdot \omega \quad (20)$$

Время периода t_1 можно определить из условия:

$$x(t) = x_c(t) + R \cdot (\cos(g) - \cos(g - \omega_k \cdot t)) = i \quad (21)$$

При этом данное выражение решается только приближенным численным методом, а аналитическое решение отсутствует.

Время периода t_2 можно определить из условия:

$$t_2 = t^* - t_1 \quad (22)$$

Потребная (оптимальная) угловая скорость диска (рад/с) составит:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]}{z \cdot \sqrt{2 \cdot i \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]}} \quad (23)$$

При меньшей угловой скорости корнеплод будет полностью прижиматься к диску, увеличивая трение об него, деформируя диск и повышая затраты мощности на привод. При несколько большей угловой скорости полного прижатия корнеплодов к диску не происходит, толщина средней части ломтика Δ_c стремится к величине l .

Производительность измельчителя (кг/с) определится:

$$Q = \frac{N_k \cdot m}{N_k \cdot \left(\frac{2 \cdot R \cdot t}{i} + T_3 \right) + T_{II} + T_D} \quad (24)$$

Заключение. Аналитически определены основные параметры работы предложенного дискового измельчителя корнеплодов.

Библиографический список

1. Мухин, В. А. Механизация приготовления кормов. – Саратов : СГСХА, 1994. – 186 с.
2. Сыроватка, В. И. Механизация приготовления кормов : справочник / В. И. Сыроватка, А. В. Демин, А. Х. Джалилов [и др.] ; под общ. ред. В. И. Сыроватка. – М. : Агропромиздат, 1985. – 368 с.
3. Коновалов, В. В. Механизация технологических процессов животноводства / В. В. Коновалов, С. И. Щербаков, В. Ф. Дмитриев. – Пенза, 2006. – 232 с.
4. Ведищев, С. М. Совершенствование измельчающего аппарата для клубнемойки ИКМ-5М / С. М. Ведищев, А. В. Брусенков, А. В. Прохоров // Сельский механизатор. – 2009. – №6. – С. 25.
5. Курдюмов, В. И. Результаты исследования процесса смешивания в измельчителе-смесителе вертикального типа / В. И. Курдюмов, В. Ф. Некрашевич // Инновационные технологии в аграрном образовании, науке и АПК России : мат. Всероссийской научно-производственной конф. – Ульяновск : УГСХА, 2003. – С. 224-227.
6. Кухарев, О. Н. Физико-механические свойства современных сортов и гибридов сахарной свеклы / О. Н. Кухарев, Г. Е. Гришин, И. Н. Семов, И. А. Старостин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 8, №2 (28). – С. 77-80.
7. Савиных, П. А. Результаты экспериментальных исследований рабочего процесса измельчителя-раздатчика с ножевым ротором / П. А. Савиных, Ю. В. Сычугов, Н. Н. Соболева, В. Е. Тупицын // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2006. – Т. 16, №3. – С. 38-47.
8. Тишанинов, Н. П. Новые направления совершенствования процессов измельчения компонентов кормов / Н. П. Тишанинов, С. Г. Калиниченко // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – №3. – С. 46-48.

9. Коновалов, В. В. Определение показателей работы дискового измельчителя корнеклубнеплодов с обоснованием устройства загрузки / В. В. Коновалов, И. А. Воронова, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – №02(24). – С. 146-151.

10. Коновалов, В. В. Расчет оборудования и технологических линий приготовления кормов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2002. – 206 с.

УДК 631.3.635

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ-УДОБРИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Милюткин Владимир Александрович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: oiapp@mail.ru.

Ключевые слова: биология, корни, технология, параметры, растения, почвообработка, удобрения, агрегаты.

Проведенные исследования являются экспериментально-теоретическим обоснованием оптимального расположения рабочих органов с совершенствованием их конструкции на примере опытного комбинированного почвообрабатывающе-удобрительного агрегата «Пегасус» (фирмы «Амазоне-Верке», Германия, Самара) для внутривспашного, объемного (двухъярусного) внесения минеральных удобрений. При двухъярусном расположении рабочих органов в поперечной плоскости, первый ряд оборудуется стрельчатыми рабочими органами, второй ряд – рыхлительными лапами с тукопроводящей системой, что обеспечивает качественное объемное внесение минеральных удобрений в двух ярусах 120-150 мм и 270-300 мм без значительного увеличения тягового сопротивления в отличие от двухъярусного размещения только стрельчатых лап. Результаты модернизации комбинированного агрегата «Пегасус» с учетом параметров зоны максимального расположения корней с.-х. культур (40-90 см) в соответствии с биологией их развития обеспечивают оптимальные условия для эффективного роста и получения максимального урожая. Исследовали три случая разрушения почвы рабочими органами с образованием деформированной зоны – зоны размещения минеральных удобрений. Специально разработанная методика качественной оценки размещения минеральных удобрений заменой их полиэтиленовыми белыми шариками позволяет управлять процессом оптимизации параметров рабочих органов. Проведенные исследования направлены как на модернизацию существующих, так и на создание новых комбинированных почвообрабатывающе-удобрительных агрегатов с максимальной эффективностью для развития сельскохозяйственных культур и повышения их урожайности, так как полученные рекомендации основаны на размещении рабочих органов для работы в зоне корневой системы растений в процессе их сезонной вегетации, начиная от всходов, получающих дополнительное питание от удобрений первого яруса, до заключительной вегетации – формирования урожая, при дополнительном питании корневой системы от удобрений второго яруса. От внутривспашного внесения удобрений урожайность подсолнечника (на семена) возросла до 16%, кукурузы (на зеленую массу) – до 10%. Двухъярусное объемное внесение удобрений дополнительно повышает урожайность сельскохозяйственных культур на 10-20%.

В настоящее время большее число применяемых удобрений в мире и Российской Федерации вносятся разбросным способом из-за высокой производительности агрегатов и малых затрат на внесение удобрений. Однако в засушливые годы и особенно при внесении азотных удобрений этот способ малоэффективен. Более совершенен внутривспашный способ внесения удобрений. Исследования проведены с почвообрабатывающе-удобрительным агрегатом «Пегасус» (фирма Амазоне – Верке – Германия, Самара), модернизированным установленными дополнительно глубокорыхлителями для обработки почвы и внесения удобрений на глубину 12 и 30 см. Прибавка урожайности составила: подсолнечник – около 16%, зеленая масса кукурузы – до 10%. Поочередное размещение рабочих органов по высоте или глубине обработки почвы (первый ярус – стрельчатые лапы, второй ярус – рыхлительные лапы) в соответствии с биологией развития корней позволяет по ярусно вносить минеральные удобрения и обеспечивать дополнительным «питанием» корневую систему возделываемых культур на протяжении всего периода вегетации, тем самым прогрессивно влияя на увеличение биологической массы и урожайности. Рациональной расстановкой рабочих органов рыхлителей-удобрителей в поперечной плоскости в зоне максимального расположения корней (40-90 см) в соответствии с биологией их развития, корням обеспечиваются условия максимального использования внесенных внутривспашно удобрений.

Многочисленными научными исследованиями доказана эффективность внутривспашного внесения удобрений. Ряд исследователей [1-7] проводят большую опытную работу по совершенствованию технологий и конструкций сельскохозяйственных машин для улучшения качества и равномерности внесения удобрений в почву. В работе представлено аналитическое обоснование рациональной расстановки рабочих органов

машин в поперечной плоскости для равномерного внесения различного вида удобрений с учетом биологического развития корневой системы, технологий возделывания сельскохозяйственных культур и результатов полевых опытов, подтвердивших теоретические исследования.

Цель работы: повышение равномерности внутрпочвенного внесения различных видов удобрений в корнеобитаемую зону возделываемых культур с получением максимальной урожайности.

Задачи исследований: 1) систематизация и моделирование размеров корневой системы различных сельскохозяйственных культур; 2) исследование обеспечения наиболее благоприятного размещения удобрений для корневых систем возделываемых культур; 3) разработка рекомендаций для новых конструкций с оценкой существующих конструкций отечественных и зарубежных машин по обеспечению равномерности внесения удобрений в почву; 4) проведение полевых исследований влияния расстановки рабочих органов почвоудобрительных агрегатов на урожайность сельскохозяйственных культур.

Методика исследований. Исследования равномерности объемного (в 2-х горизонтах) внутрпочвенного внесения удобрений опытным комбинированным почвообрабатывающе-удобрительным агрегатом «Пегасус» с использованием плоскорезущих и рыхлительных рабочих органов с тукопроводящей пневмотранспортной системой проводились на полях учебного хозяйства ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА по ГОСТу Р 53054-2008. Машинные технологии производства продукции растениеводства. Методы экологической оценки. Дополнительно к ГОСТу Р 53054-2008 для визуальной оценки качества объемного внутрпочвенного распределения удобрений по горизонтам проведены опыты по специально разработанной методике, главным в которой является замена удобрений (растворимых во влажной почве) на белые полиэтиленовые шарики диаметром 2-4 мм, что аналогично по форме и размеру фосфорному удобрению «Суперфосфат».

Полиэтиленовые шарики, являясь заменителями удобрений, заделывались в почву комбинированным агрегатом «Пегасус» в двухъярусном исполнении и после 20-30 дней естественной усадки почвы с помощью поперечных шурфов фиксировалось на координатной сетке местоположение этих шариков (контрастных по цвету с почвой). Результаты исследований качественной оценки размещения удобрений при их внутрпочвенном двухъярусном внесении плоскорезущими и рыхлительными рабочими органами показаны на рисунке 5, а, б, в. Исследования подтверждают гипотезу объемного внесения удобрений в зону корнерасположения возделываемых сельскохозяйственных культур, что обеспечивает повышение их урожайности.

Результаты исследований. В соответствии с целью работы и задачами исследований на основании имеющихся многочисленных данных по биологии корневых систем различных сельскохозяйственных культур (зерновые – пшеница, ячмень; пропашные – кукуруза, картофель, подсолнечник, сахарная свекла и т. д), проведена относительная систематизация их параметров в поперечной плоскости и по глубине с моделированием формы зоны распространения корней [1]. Параметры корневых систем определяют место эффективного внесения питательных сред – удобрений для интенсивного развития растений с целью формирования максимальной продуктивности сельскохозяйственных культур, что является основной при обосновании рациональной расстановки рабочих органов для внесения различных видов удобрений: твердые минеральные, жидкие – газообразные (безводный аммиак) [2-7].

Учащенная в поперечной плоскости расстановка рабочих органов обеспечивает более равномерное внесение удобрений в почву и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур, однако при этом значительно возрастает тяговое сопротивление почвообрабатывающе-удобрительного агрегата, общие затраты, на производство с.х. продукции и наоборот. Оптимизация расстановки рабочих органов в поперечной плоскости и по глубине обработки почвы зависит также от вида удобрений и их распространения в почве после внесения при различных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

Для твердых удобрений многочисленными проведенными ранее исследованиями и опытами авторов с наиболее эффективным на сегодняшний день почвообрабатывающе-удобрительным агрегатом «Пегасус» (фирма «Амазоне-Верке», Германия) рекомендована двухъярусная расстановка рабочих органов, причем первый ярус представляет собой стрельчатые лапы, которые вносят удобрения разбросным способом на глубину 10-12 см для начального развития растений, а второй ярус обеспечивается рыхлительными рабочими органами для глубокого рыхления почвы и заделки удобрений на глубину до 30 см – зоны основной массы корневой системы. Для обоснования типов рабочих органов для обработки почвы во втором ярусе (30 см) моделировались схемы развития корневой системы различных культурных растений не только по глубине, но и в поперечной плоскости (рис. 1). Комплексный анализ имеющихся данных [1] показал, что, как правило, зона основной массы корневой системы (60-70%) подсолнечника, картофеля, пшеницы представляют собой эллипсоидную форму с размерами от оси растения в поперечной плоскости 40 (подсолнечник, пшеница), 60 (картофель), 80-100 см (кукуруза) и до 60-140 см по глубине, что очень важно при проектировании типа рабочих органов для второго яруса и их расстановки в поперечной плоскости.

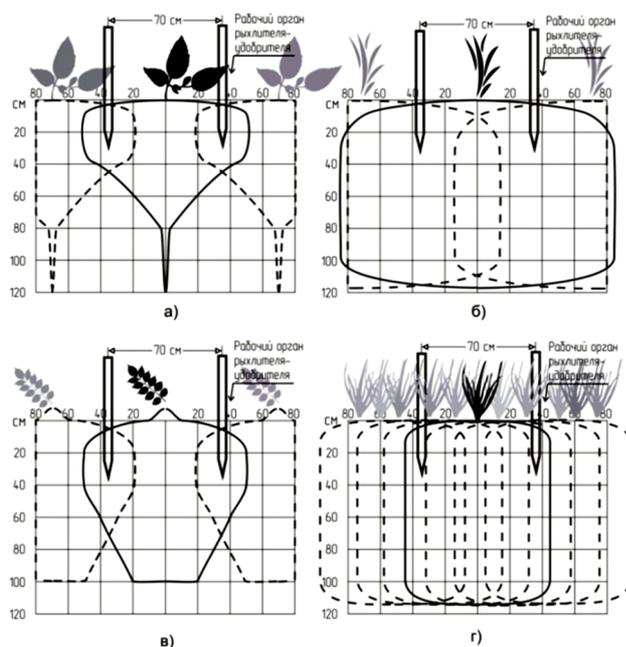


Рис. 1. Обобщенные модели расположения основной массы корней в единой координатной системе: а) подсолнечник; б) кукуруза; в) картофель; г) озимая пшеница (аналогично: яровая пшеница, ячмень, овес)

В связи с тем, что максимальное расстояние между растениями в междурядье 70 см у кукурузы, подсолнечника и картофеля, а зона максимального расположения корней в поперечной плоскости у этих же растений 40-90 см, то в процессе развития растений корни смыкаются и способны использовать удобрения, внесенные в этой зоне. В этом случае почвообрабатывающе-удобрительный рабочий орган 2-го яруса, расположенный сзади по ходу агрегата от плоскорезающего рабочего органа в целях минимальных энергетических затрат, может быть выполнен в виде рыхлителя и иметь расстановку в поперечной плоскости не более 70 см (рис. 2).

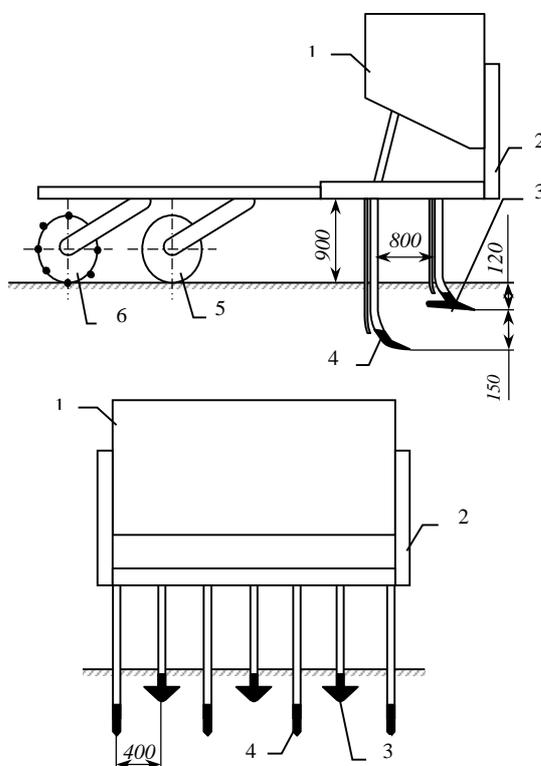


Рис. 2. Схема комбинированного почвообрабатывающе-удобрительного агрегата «Пегасус» с рекомендуемой расстановкой и типом рабочих органов:

1 – бункер для удобрений; 2 – рама; 3, 4 – плоскорезающие и рыхлящие рабочие органы с приспособлениями для ярусного внесения удобрений; 5 – сферические диски-выравниватели гребней; 6 – трубчатый каток

В соответствии с нормами внесения и технологиями рассматривается 4 случая (рис. 3):

Случай 1 возможного качества и количества внесения удобрений: N_1 обеспечивает необходимое количество удобрений для начального развития всходов; N_2 обеспечивает минимальную зону распространения удобрений для вегетативного развития растений $N_2 = 0,5N_1$;

Случай 2 возможного качества и количества внесения удобрений: N'_1 обеспечивает необходимое количество удобрений для начального развития всходов; N'_2 обеспечивает промежуточное количество удобрений по сравнению с 1 и 3 случаями;

Случай 3 возможного качества и количества внесения удобрений: $N''_1=N'_1=N$ обеспечивает необходимое количество удобрений для начального развития всходов; N''_2 обеспечивает всю корневую систему в зоне их основного вегетативного развития максимальным количеством удобрений;

На рисунке 3 представлена расчетная схема расстановки рыхлителей: Γ_1 – глубина обработки первого яруса; Γ_2 – второго яруса, b – расстановка рыхлителей в поперечной плоскости.

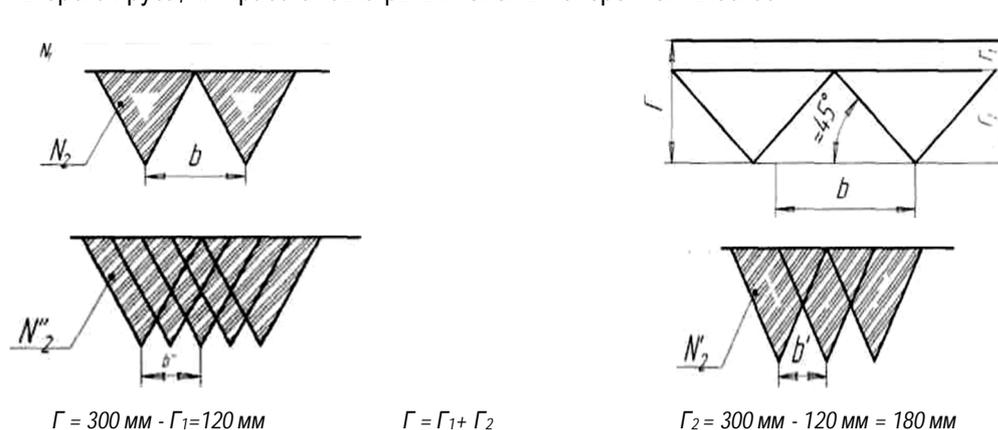


Рис. 3. Виды разрушения почвы при различной расстановке рыхлителей и схема для расчёта оптимальной их расстановки

При сделанных допущениях и принятой расчетной схеме оптимальная расстановка в поперечной плоскости рыхлителей должна быть не меньше 280 мм, а оптимально – 350-400 мм. Таким образом, проектирование рабочих органов и машин для подпочвенного внесения минеральных удобрений должно основываться на биологии растений – параметрах корневой системы в различных фазах развития. Рациональное сочетание эффективного использования минеральных удобрений корневой системы растений и минимальных затрат на процесс обработки почвы и подпочвенного внесения удобрений оптимизированными рабочими органами и специально разработанными почвообрабатывающе-удобрительными агрегатами (ПУА) обеспечит максимальную эффективность возделывания сельскохозяйственных культур. При подпочвенном внесении удобрений в первом ярусе целесообразно устанавливать плоскорезную лапу, тогда удобрения равномерно распределяются по глубине высеянных семян и обеспечивают дополнительными питательными веществами растения. При обработке второго яруса на глубину до 30 см целесообразно использовать рыхлители, которые по законам деформации и разрушения почвы производят рыхление в «V» образном объеме в зависимости от типа почвы, глубины обработки и ширины рыхлительной лапы. В этом случае, размещая на разных глубинах окна в специальном тукопроводе рыхлителя, удобрения будут заделываться на разную глубину и при дополнительном воздушном нагнетании будут заполнять все пространство разрушенной почвы. Для подтверждения имеющихся рекомендаций проведены исследования по определению параметров зон разрушения почвенного пласта различными рабочими органами (рис. 4) для уточнения рекомендуемых рациональных расстановок как однотипных, так и различных почвообрабатывающих рабочих органов, использование которых может быть возможно при некоторой их доработке с установкой тукопровода и рассеивателя для внутривспашечного внесения минеральных удобрений.

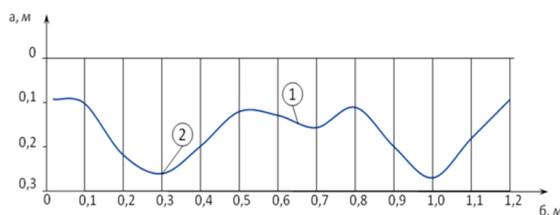


Рис. 4. Профиль дна борозды, образованной плоскорезными (1) и рыхлительными (2) рабочими органами, по глубине (а) и ширине (б) захвата

Данные системные исследования позволяют рекомендовать к уже известной конструкции почвообрабатывающе-удобрительного агрегата с плоскорезущими рабочими органами «Пегасус» различные комбинации рабочих органов как по конструкции (плоскорезущие и рыхлительные), так и по их расстановке.

Наиболее эффективными в соответствии с поставленной задачей по повышению эффективности внесенных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур будут следующие (рис. 5, а, б, в):

1) Размещение плоскорезущих рабочих органов в одной или нескольких (оптимально – двух) плоскостях-горизонтах (рис. 5, а).

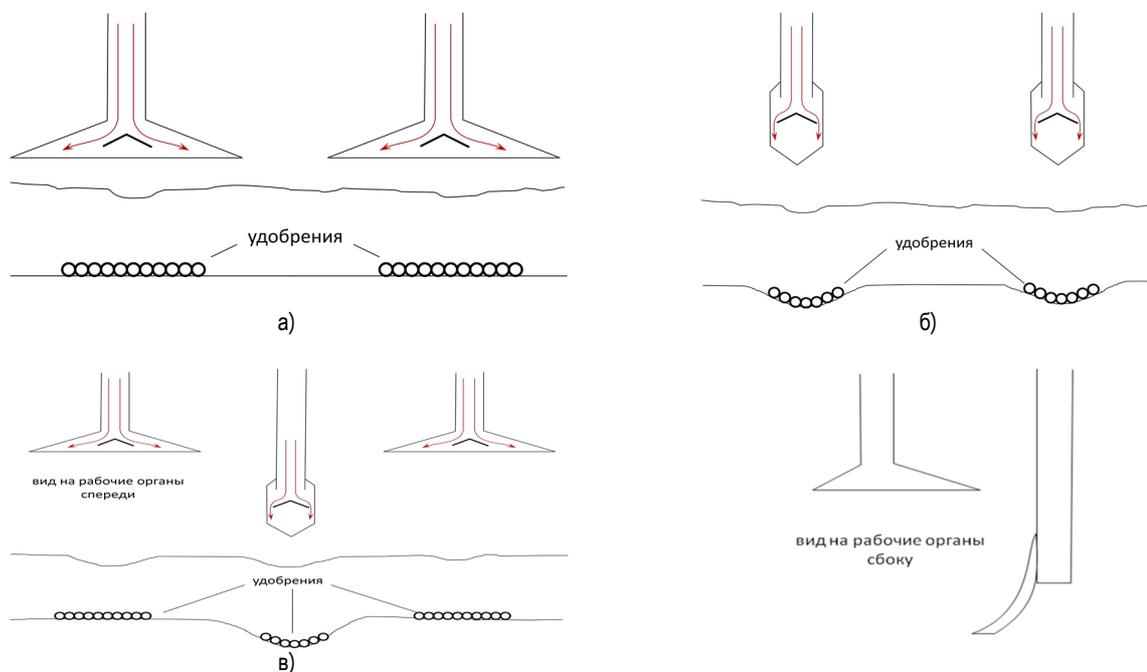


Рис. 5. Расстановка и конструкции рабочих органов почвообрабатывающе-удобрительного агрегата:

а) в одной или нескольких (оптимально – двух) плоскостях-горизонтах; б) замена плоскорезущих рабочих органов рыхлительными лапами, также работающими в одном или нескольких горизонтах; в) комбинация плоскорезущих рабочих органов с рыхлительными лапами

В этом случае плоскорезущие рабочие органы, подрезая почвенный пласт, равномерно на заданную глубину через специальные тукопроводы и рассекатель будут распределять минеральные удобрения, поступающие из бункера с соответствующей нормой также в одном или двух горизонтах. Наряду с агротехническими преимуществами работы данной схемы агрегата он получается излишне энергоемким.

2) Замена плоскорезущих рабочих органов рыхлительными лапами, также работающими в одном или нескольких горизонтах (рис. 5, б), позволит значительно снизить энергоемкость обработки почвы, но удобрения в этом случае будут размещаться, в основном, в бороздах после рыхлительных рабочих органов.

3) Комбинация плоскорезущих рабочих органов с рыхлительными лапами (рис. 5, в) позволит с учетом параметров корневой системы сельскохозяйственных культур обеспечить дополнительную подачу питательных веществ в различных фазах их развития, что позволит существенно повысить урожайность и качество возделываемых сельскохозяйственных культур.

На основании проведенных исследований, теоретических обоснований, экспериментальных лабораторных и полевых опытов доказана эффективность внутрипочвенного внесения минеральных удобрений, повышающаяся от объемного их размещения с рекомендуемыми в работе параметрами по расстановке и комплектации почвообрабатывающе-удобрительного агрегата как плоскорезущими, так и рыхлительными рабочими органами или их сочетанием в разных почвенных слоях-горизонтах. Влияние удобрений и способов их внесения на урожайность зеленой массы кукурузы. В опыте с 8 сортами и гибридами кукурузы изучалось влияние на урожайность сельскохозяйственных культур различных доз минеральных удобрений, вносимых двумя способами – внутрипочвенно и вразброс. Проведенными исследованиями установлено, что с увеличением дозы удобрений прибавка урожайности семян подсолнечника в среднем по гибридам относительно «контроля» была максимальной при $N_{90}P_{90}K_{90}$, прибавка составила +6,5 ц/га (44,8%) при поверхностно-разбросном способе, а при внутрипочвенном способе – +8,8 ц/га (60,7%). То есть внутрипочвенное внесение удобрений под подсолнечник было эффективнее, чем их внесение на поверхность в разброс в среднем на 2,3 ц/га или на 15,9 % по сравнению с «контролем» (рис. 6).

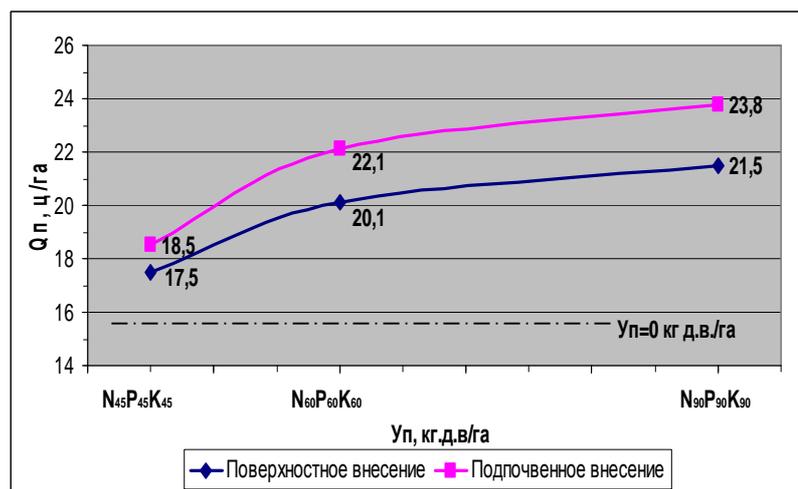


Рис. 6. Влияние доз минеральных удобрений и способов их внесения на урожайность подсолнечника

Гибриды и сорта подсолнечника по-разному реагировали на способы внесения удобрений, однако в целом получен положительный отклик на внутрипочвенное внесение у большинства образцов в среднем на 7,8%, максимально – у гибрида Санморин 444 – 13,5%.

В опытах по определению эффективности различных способов внесения минеральных удобрений на урожайность зеленой массы кукурузы выявлено следующее (рис. 7): 1) более высокая урожайность зеленой массы в сравнении со стандартом Поволжский 187 у гибрида кукурузы Росс 272, Пионер 39d81, Монатан независимо от способа внесения удобрений. Другие гибриды не отличались от стандарта; 2) увеличение дозы удобрений в среднем по гибридам и сортам прибавка зеленой массы была максимальной (73-76 ц/га) при наибольшей дозе N₆₀P₆₀K₆₀; внутрипочвенное внесение удобрений было более эффективным по прибавке зеленой массы 64 ц/га при оптимальной величине удобрений N₄₅P₄₅K₄₅.

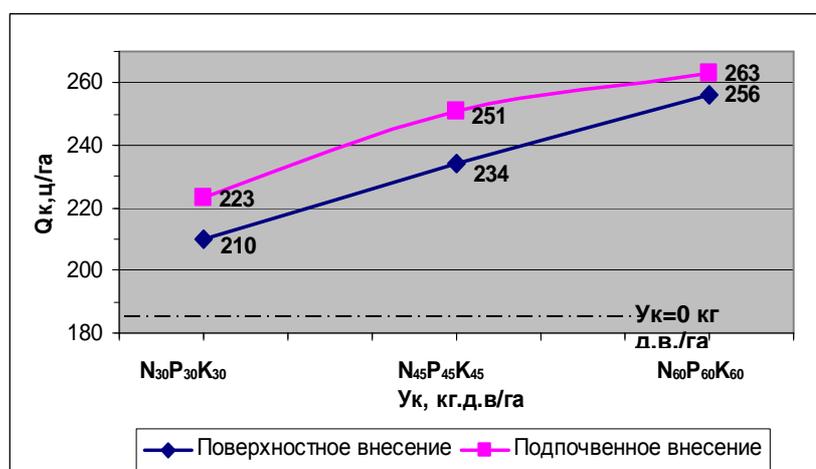


Рис. 7. Влияние доз минеральных удобрений и способов их внесения на урожайность кукурузы на зеленую массу

В опыте отмечена разная реакция сортов и гибридов на способ внесения минеральных удобрений. Гибриды СТК 189, Газель, Монатан на способы внесения удобрений не проявили достоверной значимой реакции по величине зеленой массы. Следовательно, при их выращивании может быть использован наиболее дешевый способ внесения удобрений – поверхностно-разбросной. Другие гибриды и сорта кукурузы дали более высокую урожайность зеленой массы при подпочвенном внесении удобрений: в среднем на 13 ц/га (5,6%), у стандарта Поволжский 187 она составила 21 ц/га (9,5%). Исследования подтверждают эффективность подпочвенного метода внесения минеральных удобрений при основной (зяблевой) обработке почвы по сравнению с поверхностно-разбросным как при возделывании семян подсолнечника, так и зеленой массы кукурузы. Проведенные исследования направлены на эффективное использование имеющихся серийных почвообрабатывающе-удобрительных агрегатов и вновь разрабатываемых, например агрегата немецкой фирмы «Амазоне Верке» – «Пегасус». Он представляет собой раму 2 с бункером 1 для минеральных удобрений и плоскорезуще-рыхлящие рабочие органы 3, 4, тукопроводы, по которым минеральные удобрения из

бункера поступают под плоскорежущие рабочие органы и рыхлители, относительно равномерно распределяются специальными рассекателями подпочвенно на глубину обработки (рис. 3). При этом удобрения заделываются в два яруса – на глубину обработки почвы плоскорежущими рабочими органами и рыхлительными лапами. При этом почвенные гребни выравниваются сферическими дисками-выравнивателями 5 и почва уплотняется трубчатым катком 6. Как известно, не все типы минеральных удобрений хорошо мигрируют по глубине почвенного слоя даже при интенсивном увлажнении. Поочередное размещение рабочих органов по высоте или глубине обработки почвы позволит ярусно вносить минеральные удобрения и обеспечивать дополнительным «питанием» корневую систему в течение всего периода вегетации, прогрессивно влияя на увеличение биологической массы и урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур.

Заключение. Объемное размещение корневой системы сельскохозяйственных культур, в соответствии с конкретными параметрами по глубине и в продольно-поперечном расположении, достаточно наглядно описываемые геометрическими моделями, требует и объемного внутрипочвенного внесения удобрений, соответствующими для этого комбинированными почвообрабатывающе-удобрительными агрегатами. Объемное внутрипочвенное размещение удобрений обеспечивает более равномерное питание растений и формирование максимального урожая в процессе вегетации. С учетом известных и вновь создаваемых почвообрабатывающе-удобрительных машин предлагается двухъярусное расположение рабочих органов на 120-150 и 270 мм по глубине, а для улучшения качества и равномерности внесения удобрений без значительного увеличения тягового сопротивления первый ярус (120-150 мм) рекомендуется оборудовать стрельчатыми лапами, а второй ярус (до глубины 270 мм) – рыхлительными лапами с устройствами (тукопроводы, распределители...) для внесения удобрений. Внутрипочвенное внесение удобрений в корнеобитаемый слой сельскохозяйственных культур позволяет увеличить (в опытах) урожайность подсолнечника до 16%, кукурузы (на зеленую массу) – до 10%, двухъярусное объемное внутрипочвенное внесение удобрений дополнительно повышает урожайность сельскохозяйственных культур до 10-20%.

Библиографический список

1. Милюткин, В. А. Разработка машин для подпочвенного внесения удобрений на основании агробиологических характеристик растений / В. А. Милюткин, М. А. Канаев, А. В. Милюткин // Известия Самарской ГСХА. – 2012. – №3. – С. 9-13.
2. Терентьев, А. С. Технология и машина дифференцированного внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений с комбинированными тукозаделывающими органами : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Терентьев Алексей Сергеевич. – Рязань, 2005. – 154 с.
3. Ешин, А. В. Внутрипочвенное внесение минеральных удобрений в многолетних насаждениях : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ешин Александр Вадимович. – М., 2006. – 145 с.
4. Новохатский, В. М. Повышение качества внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений при основной безотвальной обработке почвы путем совершенствования параметров пневмомеханического тукораспределительного устройства : дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Новохатский Виктор Михайлович. – Волгоград, 2009. – 162 с.
5. Запевалов, М. В. Ленточное внутрипочвенное внесение органоминеральных удобрений // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2011. – №58. – С. 24-27.
6. Пат. № 2343680 Российская Федерация, МПК А 01С23/02. Машина для внутрипочвенного внесения жидкого навоза / Измайлов А. Ю., Мочкова Т. В., Марченко Л. А. [и др.] ; заявл. 05.07.07 ; опубл. 20.01.09. – 5 с.
7. Сергеев, Н.С. Определение рабочего хода игольчатого ротора комбинированного сошника, обеспечивающего равномерное перемешивание удобрений с почвой / Н. С. Сергеев, М. В. Запевалов, Ю. М. Наумов // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – Вып. 10. – С. 59-62.

УДК 631.33.022.2

РАЗРАБОТКА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА СЕЯЛКИ ДЛЯ ПОСЕВА АМАРАНТА МАЛЫМИ НОРМАМИ

Крючин Николай Павлович, д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8-а.

E-mail: miignik@mail.ru

Бурлака Николай Владимирович, канд. техн. наук, генеральный директор ООО «ЭКОПРОМ».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8-а.

E-mail: ekopromkinel@mail.ru

Ключевые слова: посев, амарант, пневматический, высевающий, аппарат, семена, качество, дозирование.

Цель исследований – повышение качества дозирования семян амаранта малыми нормами разработкой пневматического высевающего аппарата. Качественные показатели работы сеялки для мелкосемянных культур зависят от высевающего аппарата, как технического средства для дозирования и подачи исходного

потока посевного материала. Разработан пневматический высевачный аппарат для дозирования семян мелкосемянных культур нормами высева 0,1-1,5 кг/га. Новизна конструкции высевачного аппарата подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение №2228586. Лабораторными исследованиями установлено, что при значениях скорости воздушного потока на входе в смеситель $V = 13,46$ м/с и при высоте установки эжекторного устройства над смесителем $h = 0,147$ м наблюдается наилучшая равномерность распределения семян в подъэжекторном пространстве. Коэффициент вариации распределения семян по фронту семявоздушного потока составил $v = 44,08\%$. Коэффициент вариации распределения интервалов между растениями вдоль ряда составил у экспериментальной сеялки $v = 63,3\%$, а у сеялки СО-4,2 – $v = 131\%$. Благодаря лучшему распределению растений по площади поля урожайность семян и зеленой массы на участках, засеянных сеялкой с пневматическим высевачным аппаратом, превосходила на 44 и 34,7% соответственно урожайность с контрольных участков и составила в среднем за три года 12,5 ц/га семян и 877,4 ц/га зеленой массы.

Посев является одной из важнейших агротехнических операций при выращивании любой сельскохозяйственной культуры. Основная цель посева состоит в обеспечении наилучших условий для прорастания семян и дальнейшего развития растений, а также получения их оптимальной густоты при равномерном размещении в рядах, что особенно важно при возделывании мелкосемянных культур [1, 2]. Ряд научных исследований по изучению способов размещения, а так же норм высева амаранта и других мелкосемянных культур при возделывании их на семена показали, что способом, обеспечивающим наилучшие условия для развития растений особенно в начальный период, является широкорядный способ посева малыми нормами [3, 4, 5, 6]. Качественные показатели работы сеялки в значительной мере зависят от высевачного аппарата, как технического средства для отбора, дозирования и подачи исходного потока посевного материала [1, 2, 7, 8, 11]. Проведенный анализ существующих высевачных аппаратов для высева мелкосемянных культур показал, что использование механических, электростатических, гидравлических и пневмомеханических высевачных аппаратов не позволяет осуществить высева амаранта малыми нормами в соответствии с предъявляемыми агротехническими требованиями, кроме того использование таких высевачных аппаратов приводит к повышенному травмированию семян и требует дополнительных затрат на подготовку семенного материала к высеву [9]. Поэтому перспективным направлением совершенствования конструкций высевачных устройств является создание пневматических высевачных аппаратов для высева мелкосемянных культур малыми нормами с подачей семян воздушным потоком избыточного давления.

Цель исследований – повышение качества дозирования семян амаранта малыми нормами разработкой пневматического высевачного аппарата.

Задача исследований – разработка пневматического высевачного аппарата для дозирования семян амаранта малыми нормами; оценка качества дозирования семян амаранта пневматическим высевачным аппаратом в лабораторных и полевых условиях.

На кафедре «Механика и инженерная графика» Самарской ГСХА разработан пневматический высевачный аппарат для дозирования семян мелкосемянных культур нормами высева 0,1-1,5 кг/га. Новизна конструкции высевачного аппарата подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение №2228586 [10]. Пневматический высевачный аппарат (рис. 1) работает следующим образом.

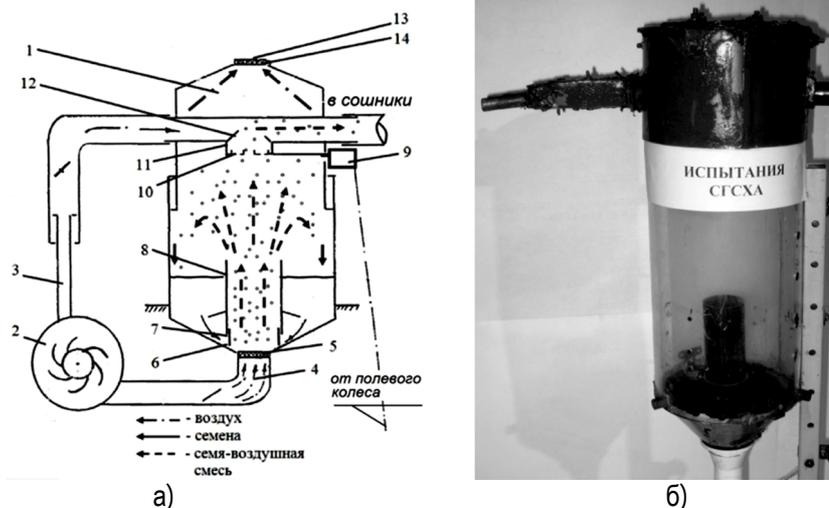


Рис. 1. Схема технологического процесса (а) и общий вид (б) пневматического высевачного аппарата:

- 1 – бункер; 2 – вентилятор; 3 – эжекторный воздуховод; 4 – подъемный воздуховод; 5 – сетка; 6 – кольцевой зазор; 7 – кольцевая заслонка; 8 – смеситель; 9 – синхронизатор; 10 – диафрагма; 11 – приемная камера; 12 – эжекторное устройство; 13 – сетчатая фрамуга; 14 – загрузочное отверстие

В семенной бункер 1 загружаются семена через загрузочное отверстие 14, после чего оно закрывается сетчатой фрамугой 13. От вентилятора 2 воздушный поток поступает одновременно в два воздуховода эжекторный 3 и подъемный 4. Через кольцевой зазор 6 между кольцевой заслонкой 7 и дном семенного бункера 1 семена поступают на сетку 5 подъемного воздуховода 4. Поток семян поднимается вверх, смешиваясь с восходящим потоком воздуха в смесителе 8 и распространяясь в полости семенного бункера 1.

При движении сеялки от опорно-приводного колеса приводится в действие синхронизатор 9, открывающий диафрагму 10 приемной камеры 11. Эжекторное устройство 12 всасывает необходимое количество семявоздушной смеси, которая затем транспортируется воздушным потоком к заделывающим рабочим органам сеялки.

Семявоздушная смесь, не попавшая в эжекторное устройство 12, разделяется: воздух удаляется через сетчатую фрамугу 13, а семена оседают на дно бункера 1. В процессе движения сеялки по полю синхронизатор 9 потока семян работает в функции слежения за поступательной скоростью сеялки и изменяет рабочее положение диафрагмы 10, регулируя проходное сечение приемной камеры 11 эжекторного устройства 12, сохраняя постоянной удельную подачу высевального аппарата.

Материалы и методы исследований. Для изучения технологического процесса рассеивания семявоздушной смеси, уточнения конструктивных размеров и определения оптимальных режимов работы проводились экспериментальные исследования распределения семян амаранта метельчатого в воздушном потоке. За переменные факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на процесс подачи семян, были приняты: H – высота смесителя; V – скорость воздушного потока в смесителе; h – высота расположения эжекторного устройства над смесителем; d – диаметр эжекторного устройства.

Опыты проводились на одном высевальном аппарате. Подача семян и равномерность распределения их в семявоздушной смеси оценивалась в 37 точках при помощи специального пробоотборника.

Результаты исследований. Анализируя полученные экспериментальные данные можно сделать вывод, что наилучшие показатели устойчивости технологического процесса получены при следующих значениях конструктивно-технологических параметров: $V = 10-15$ м/с, $d = 10-58$ мм, $H = 15-25$ см и $h = 10-20$ см, при этом значение удельной подачи семян аппаратом составило 10-150 семян в секунду или 0,01-0,15 г/с.

Так же было выявлено, что при высоте смесителя $H = 15-20$ см наблюдается наименьшая неустойчивость технологического процесса, которая не превышала 2%.

Для определения комплексного воздействия конструктивно-режимных параметров предлагаемого пневматического высевального аппарата на равномерность высева, проведены лабораторные исследования по методике многофакторного планирования эксперимента. При этом был принят во внимание тот факт, что равномерность распределения семян вдоль ряда обуславливается, в первую очередь, равномерностью распределения семян в поперечном сечении исходного семявоздушного потока [2].

Для получения математической модели технологического процесса распределения семян в полости бункера реализован полный факторный эксперимент 2³.

Уравнение регрессии, полученное в результате обработки опытных данных, имеет следующий вид:

$$v = 353,74 - 45,38V + 23,91h + 2,73Vh + 1,66V^2 + 41,96h^2.$$

После подстановки в уравнение регрессии соответствующих значений основных факторов, получена графическая факторная зависимость изменения неравномерности распределения семян в полости бункера от скорости воздушного потока на входе в смеситель и высоты расположения эжекторного устройства над смесителем (рис. 2).

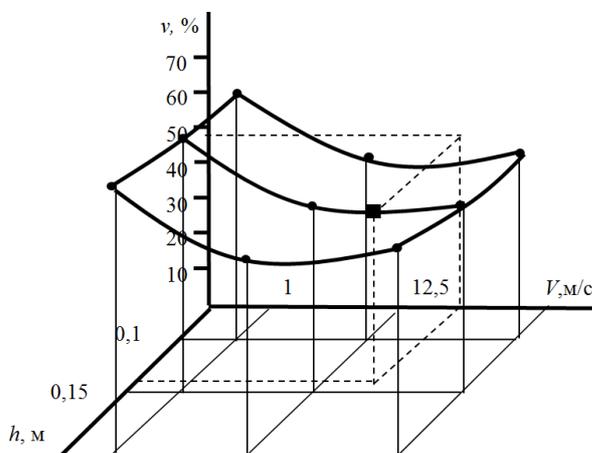


Рис. 2. Факторная зависимость неравномерности распределения семян от конструктивно-технологических параметров

Анализ факторной зависимости показал, что при значениях скорости воздушного потока на входе в смеситель $V = 13,46$ м/с и при высоте установки эжекторного устройства над смесителем $h = 0,147$ м наблюдается наилучшая равномерность распределения семян в подэжекторном пространстве полости бункера. Коэффициент вариации распределения семян по фронту семявоздушного потока составил $v = 44,08\%$.

Сформулированная гипотеза о том, что высокая равномерность распределения семян в семявоздушной смеси позволит получить и высокую продольную равномерность распределения семян, была проверена путем высева семян амаранта на липкую бесконечную ленту, перемещавшуюся непосредственно под выходным патрубком высевающего аппарата с постоянной скоростью 2 м/с.

Анализ полученных результатов по оценке зависимости неравномерности распределения семян в поперечном сечении семявоздушного потока и продольной неравномерности распределения семян от скорости воздушного потока на входе в смеситель и высоты расположения эжекторного устройства позволил сделать вывод, что продольная равномерность распределения семян зависит от равномерности распределения семян в поперечном сечении семявоздушной струи. В результате оценки тесноты связи между этими показателями по коэффициенту парной корреляции, установлена высокая корреляционная связь с величиной коэффициента 0,943.

Для проверки качества работы высевающего аппарата в производственных условиях была изготовлена сеялка с предлагаемым пневматическим высевающим аппаратом, настроенным на обеспечение необходимой нормы высева при ширине захвата сеялки 4,2 м.

Полевые испытания пневматической сеялки проводились на участках предварительного размножения Поволжского НИИСС, при посеве амаранта метельчатого. Масса 1000 семян амаранта сорта «Кинельский-254» составляла 0,96 г. Сравнение результатов работы экспериментальной пневматической сеялки производилось с посевами производственной сеялки СО-4,2, оснащенной катушечным высевающим аппаратом желобчатого типа. При этом посев экспериментальной сеялкой осуществлялся чистыми семенами, а сеялкой СО-4,2 высевалась смесь семян амаранта с песком в пропорции 1:12. Посев осуществлялся широкорядным способом с шириной междурядья 0,7 м, с нормой высева семян 250 г/га. Лучшие показатели по равномерности распределения семян в рядке получены при посеве экспериментальной пневматической сеялкой. Количество семян, уложенных с заданным интервалом, у экспериментальной сеялки составило 67%, а у сеялки СО-4,2 – 35%, при этом коэффициент вариации распределения интервалов между растениями вдоль рядка составил у экспериментальной сеялки $v = 63,3\%$, а у сеялки СО-4,2 – $v = 131\%$.

Заключение. Благодаря лучшему распределению растений по площади поля и в связи с этим лучшим условиям для развития растений и посева в целом урожайность семян и зеленой массы амаранта на участках, засеянных сеялкой с пневматическим высевающим аппаратом, превосходила на 44 и 34,7% соответственно, при этом урожайность с контрольных участков составила в среднем за три года 12,5 ц/га семян и 877,4 ц/га зеленой массы.

Библиографический список

1. Бузенков, Г. М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Бузенков, С. А. Ма. – М. : Машиностроение, 1976. – 272 с.
2. Крючин, Н. П. Обоснование ресурсосберегающих технологий рядового посева и совершенствование высевающих систем посевных машин : дис. ... д-ра техн. наук. – Саратов : СГАУ, 2006. – 445 с.
3. Лобачевский, П. Я. Оценка качества пунктирного посева // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – №3. – С. 8-9.
4. Кузнецов, И. Ю. Амарант. Приемы возделывания культуры 21 века [Электронный ресурс] / И. Ю. Кузнецов, С. Н. Надежкин. – URL: <http://amarant-rb.narod.ru/stat1.htm> (дата обращения: 11.06.2015).
5. Рахметов, Д. А. Амарант вновь напоминает о себе [Электронный ресурс] / Д. А. Рахметов, Я. Н. Рыбалко. – URL: <http://agrosev.narod.ru/page149itemid1208number40.htm> (дата обращения: 11.06.2015).
6. Петров, А. М. Разработка универсальной пневматической сеялки для зерновых, мелкосемянных и трудновысеваемых культур / А. М. Петров, Н. П. Крючин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – №3. – С. 3-7.
7. Нуйкин, А. А. Посевные и посадочные машины. Технический справочник / А. А. Нуйкин, Н. П. Ларюшин. – Пенза : ПензАГРОТЕХсервис, 2005. – 164 с.
8. Ларюшин, Н. П. Результаты лабораторных исследований катушечного высевающего аппарата / Н. П. Ларюшин, А. В. Шуков, Т. Г. Федина // Нива Поволжья. – 2009. – №1. – С. 77-82.
9. Крючин, Н. П. Повышение эффективности распределительно-транспортирующих систем пневматических посевных машин : монография. – Самара : РИЦ СГСХА, 2008. – 176 с.
10. Пат. №2228586 Российская Федерация. Пневматический высевающий аппарат / Бурлака Н. В., Крючин Н. П. – №2002134050/12 ; заявл. 17.12.02 ; опубл. 20.05.04, Бюл. №14. – 10 с.
11. Пат. №2142685 Российская Федерация, МПК А01С 7/12. Выссевающий аппарат / Крючин Н. П., Петров А. М., Ларионов Ю. В. [и др.]. – №98107606/13 ; заявл. 21.04.1998 ; опубл. 20.12.1999, Бюл. №35. – 5 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ КОЛЕСНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ РАБОТЕ НА ОРОШАЕМЫХ ПОЛЯХ

Русинов Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова.

410010, г. Саратов, ул. Техническая, 5.

E-mail: Rusinovsar@yandex.ru

Ключевые слова: движитель, плотность, почва, объем, уплотнение.

Цель исследований – снижение воздействия движителей машинно-тракторного агрегата на орошаемую почву. В результате исследований процесса взаимодействия пневматического движителя с орошаемой почвой представлена аналитическая зависимость определения контактного давления, возникаемого в почве во время прохода пневматического колеса машинно-тракторного агрегата. На основе экспериментальных данных рассчитаны коэффициенты, характеризующие физико-механические свойства почв, для орошаемых почв $a = 0,054$ и $b = 3,453 \cdot 10^{-3}$; для неорошаемых почв $a = 0,021$ и $b = 0,982 \cdot 10^{-3}$. Представлена аналитическая зависимость определения объема уплотняемой почвы, заключенной между почвозацепами, учитывающая физико-механические свойства разных почв, геометрические параметры и режим движения пневматического колеса. Разработана математическая модель изменения комплексного показателя почвы, характеризующая определение степени воздействия пневматического колеса на почву. Комплексный показатель почвы оценивается качественными характеристиками почвы, изменяющимися в процессе воздействия пневматического колеса на почву. Оценка негативного воздействия колеса на почву осуществляется на основании изменения качественных характеристик почвы и их количественного показателя. Представлены результаты экспериментальных исследований трактора К-701 с шинами Ф-81(86), движущегося с максимальной крюковой нагрузкой по неорошаемым почвам – тяжелым суглинкам с влажностью 18-19% и орошаемым почвам – тяжелым суглинкам с влажностью 24-25%. Результаты исследований показали, что увеличение скорости с 2 до 10 км/ч приводит к двукратному увлечению коэффициента буксования для обоих типов почв, однако, коэффициент буксования на орошаемых почвах в среднем на 13,3% выше по сравнению с неорошаемыми почвами.

Процесс обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур предусматривает многократные проходы почвообрабатывающих машин по полю. В результате кратности захвата сельскохозяйственных машин и орудий множество проходов осуществляется по следам предшествующих машин. Результатом этого является чрезмерное уплотнение почвы, особенно верхних горизонтов, что негативно сказывается на ее состоянии, приводит к снижению плодородия почвы и, как следствие, к уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур [1, 2, 3, 4]. Особенно интенсивно процесс уплотнения протекает на орошаемых полях. Это обуславливается тем, что орошаемые почвы имеют высокую влажность, большее количество пылевидных частиц на поверхности, низкую несущую способность, большую плотность и твердость по сравнению с неорошаемыми почвами. В связи с этим происходит интенсивное воздействие движителей машинно-тракторных агрегатов (МТА) на орошаемую почву, вызывая негативные последствия. Изучение данной проблемы с учетом региональных особенностей Саратовской области остается актуальной задачей.

Цель исследований – снижение воздействия движителей машинно-тракторного агрегата на орошаемую почву.

Задачи исследований: изучить процесс взаимодействия пневматического колеса с орошаемой почвой с определением закономерностей изменения физико-механических свойств почвы; определить аналитические зависимости описания степени воздействия пневматического колеса на орошаемую почву.

Материалы и методы исследований. Теоретические исследования проводились в ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ, экспериментальные исследования выполнялись на полях ОПХ ВолжНИИГиМ Энгельского района Саратовской области. В ходе экспериментальных исследований использовался трактор К-701 с шинами Ф-81(86). Тип почвы – тяжелый суглинок. Полученный материал обрабатывался методом статистики с применением программного продукта Microsoft Excel.

Результаты исследований. Основным видом негативного воздействия пневматического колеса на почву является контактное давление под опорной поверхностью колеса в процессе его передвижения, приводящее к деформации почвы, и, как следствие, к ее уплотнению. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований взаимосвязь между удельным давлением, создаваемым пневматическим колесом и изменением плотности почвы, можно описать выражением

$$q = a \left[e^{b(r-r_0)} - 1 \right], \quad (1)$$

где a и b – коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств орошаемой почвы; ρ и ρ_0 – соответственно плотность почвы после прохода пневматического колеса и начальная плотность почвы, г/см³.

Определение значений коэффициентов, характеризующих физико-механические свойства орошаемой почвы, входящих в зависимость (1), выполнялось на основании обработки экспериментальных данных. Исследования проводились на суглинках. В результате были определены значения коэффициентов: для орошаемых почв $a=0,054$ и $b=3,453 \cdot 10^{-3}$; для неорошаемых почв $a=0,021$ и $b=0,982 \cdot 10^{-3}$.

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что во время прохода пневматического колеса верхние слои орошаемой почвы подвержены негативному воздействию и, как следствие, накоплению величин деформации и плотности почвы от каждого последующего прохода колес, входящих в состав МТА. Так, в процессе передвижения колесного движителя, в результате поворота колеса, вначале происходит уплотнение почвы за счет внедрения почвозацепов в почву, а затем выпор почвы под углом внутреннего трения [2], что приводит к образованию комьев из сильно уплотненной почвы, заключенной в межпочвозацепном пространстве. Образовавшиеся комья почвы имеют большой объем и в последующем мешают проведению последующих операций, тем самым, снижая их эффективность. Уменьшение влажности почвы в комьях повышает их несущую способность, повышая трудность их разработки, которая приводит к увеличению тягово-сопротивления почвообрабатывающего агрегата, а иногда и к поломкам его рабочих органов [5, 6].

Искомый объем уплотняемой почвы определим по следующей формуле

$$V = bhl, \quad (2)$$

где b – ширина почвозацепа в пятне контакта, м; h – глубина погружения почвозацепа в почву, м; l – длина пути, пройденного почвозацепом при уплотнении почвы, м.

В процессе поворота колеса почвозацеп, движение которого описывается трохойдой, внедряется в почву, поэтому толщина уплотненного слоя будет изменяться от минимального значения в начале внедрения почвозацепа в почву до максимального значения при полном его погружении. При этом на объем уплотненной почвы будут влиять параметры и режим работы колесного движителя, а так же число и форма почвозацепов.

Значение глубины погружения почвозацепов и промежутков между ними определим по формулам [7]:

– для почвозацепа

$$h_n = h_m + l_1(1 - K_n), \quad (3)$$

– для опорных поверхностей промежутков между ними

$$h_n = h_m - l_1 K_n, \quad (4)$$

где h_m – наибольшая глубина погружения опорной поверхности колеса в почву, м; l_1 – длина почвозацепа, м; K_n – коэффициент насыщения почвозацепов.

Глубина погружения опорной поверхности колесного движителя на орошаемой почве с учетом изменения деформации почвы от удельного давления [2], возникаемого в почве во время прохода пневматического колеса, в аналитическом виде примет вид

$$h_m = \frac{s_o}{k} \arctg \frac{a[e^{b(r-r_o)} - 1]}{s_o}, \quad (5)$$

где s_o – предел прочности грунта на одноосное сжатие, при котором деформация грунта начинает возрастать без дальнейшего увеличения действующей на опорную площадку вертикальной нагрузки, Па; k – коэффициент объемного сжатия грунта, Н/м³; h – величина деформации, м.

Коэффициент насыщения почвозацепов K_n определяется как отношение опорной площади контакта почвозацепа S_n к площади всего контакта $S_{общ}$.

$$K_n = \frac{S_n}{S_{общ}}. \quad (6)$$

Опорная площадь контакта почвозацепа определится как

$$S_n = bl_1mk_1, \quad (7)$$

где m – количество почвозацепов находящихся в контакте с почвой; k_1 – коэффициент использования площади почвозацепа в процессе контакта с почвой.

Общая площадь всего пятна контакта колесного движителя с почвой определится по следующей зависимости:

$$S_{общ} = S_n + b_k R_k m / 180^\circ, \quad (8)$$

где b_k – ширина колесного движителя в пятне контакта, м; R_k – радиус колесного движителя, м; m – угол между соседними почвозацепами, град.

Длина проходимая почвозацепом за один оборот колесного движителя определяется как

$$l = 2R_k \frac{1+I'}{I'} \left(2 \int_0^{90^\circ} \sqrt{1-k^2 \sin^2 j} dj - \int_0^{90^\circ + \frac{a}{2}} \sqrt{1-k^2 \sin^2 j} dj \right), \quad (9)$$

где $k = \frac{2\sqrt{I'}}{1+I'}$ – введенная переменная; $I' = \frac{u_x k}{u_y}$ – скоростной параметр; k – коэффициент буксования;

u_x и u_y – соответственно поступательная скорость перемещения колесного движителя и скорость внедрения почвозацепа в почву, м/с; a – угол поворота колесного движителя из начального положения в фиксированное, град;

Проводя расчет аналитических зависимостей (3-9) и подставив полученные значения в зависимость (2) можно определить объем уплотняемой почвы, заключенной между почвозацепами. Проводя анализ представленных зависимостей, необходимо отметить, что на объем уплотняемой почвы большее влияние оказывает характер движения и форма колеса, которые можно оценить коэффициентом буксования и удельным давлением. Если вес, приходящийся на ось пневматического колеса, – величина постоянная, и зависит от массы базовой машины, то величина коэффициента буксования колеса изменяется в зависимости от скорости движения и влажности почвы. Для подтверждения данных суждений были проведенные экспериментальные исследования, в ходе которых трактор К-701 с шинами Ф-81(86) и максимальной крюковой нагрузкой двигался по неорошаемым почвам – тяжелым суглинкам с влажностью 18-19% и орошаемым почвам – тяжелым суглинкам с влажностью 24-25%. Результаты исследований показали (рис. 1), что увеличение скорости с 2 до 10 км/ч приводит к двукратному увлечению коэффициента буксования для обоих типов почв, однако, коэффициент буксования на орошаемых почвах в среднем на 13,3% выше по сравнению с неорошаемыми почвами.

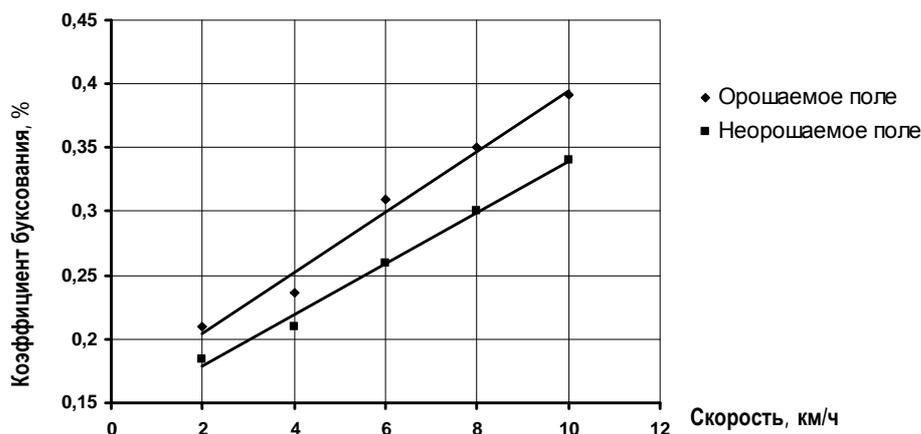


Рис. 1. Влияние скорости движения трактора К-701 на буксование пневматических шин при максимальной крюковой нагрузке

Исходя из вышеизложенного следует, что увеличение скорости движения и массы, приходящейся на ось пневматического колеса, приводит к увеличению объема уплотненной почвы в верхних горизонтах, заключенных между почвозацепами шины [8]. Оценить степень данного негативного воздействия можно путем изменения качественного показателя почвы определяемого как

$$\Pi_k = f \left(\frac{\Pi_{ci}}{\Pi_{cd}} \right) \quad (10)$$

где Π_{ci} – абсолютный показатель свойства почвы, который подвержен изменению вследствие воздействия на почву; Π_{cd} – абсолютный показатель свойства почвы, принятый за допустимый.

Качественным показателем почвы может быть любое физико-механическое свойство почвы, которое изменяет свои значения в процессе передвижения пневматического колеса по почве. Тогда величину качественного показателя почвы можно записать в виде

$$P_{ki} = \frac{P_{ci}^{\max} - P_{cd}}{P_{ci}^{\max} - P_{ci}^{\min}}, \quad (11)$$

где P_{ci}^{\max} – максимальное значение показателя почвы, которое может достигать в результате воздействия движителя; P_{ci}^{\min} – минимальное значение показателя почвы, как правило, эталонное значение.

При воздействии пневматических колес МТА на почву приводит к изменению нескольких показателей почвы, при этом их величина и значимость для роста сельскохозяйственных культур может быть различной. Тогда с учетом коэффициента весомости единичного качественного показателя почвы можно произвести оценку степени воздействия пневматического колеса МТА на почву путем определения комплексного показателя качества почвы, определяемого по математической модели следующего вида

$$P_k = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ci}^{\max} - P_{cd}}{P_{ci}^{\max} - P_{ci}^{\min}} \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{P_{ki}^{\max} - P_{ki}^{\min}}}. \quad (12)$$

Оценка степени негативного воздействия пневматического колеса МТА на почву начинается с определения качественных показателей свойств почвы, которые можно измерить в ходе экспериментальных исследований. Были выбраны следующие показатели: плотность почвы, глубина следа, макроагрегатный состав, влажность почвы, твердость почвы и давление в почве, возникаемое в момент прохода колеса. В ходе экспериментальных исследований проводился замер изменения показателей почвы до и после прохода пневматических колес МТА, ряд из которых представлен в таблице 1.

Таблица 1

Изменение качественных показателей почвы после прохода пневматических колес МТА

Марка трактора	Давление движителя на почву, кПа	Плотность почвы, г/см ³	Глубина следа, см	Комплексный показатель качества почвы
МТЗ-80	70	1,43-1,36	6-8	1,4
К-701, К-744	110	1,48-1,44	7-9	2,2
ДТ-75	50	1,4-1,36	5-6	1
МТЗ-1221	85	1,44-1,38	6-7	1,7
МТЗ-1522	90	1,45-1,39	6-8	1,8
РТ-М-160	95	1,45-1,40	7-8	1,9
ХТЗ-16331	108	1,47-1,43	8-9	2,16
Т-150К	120	1,52-1,46	8-10	2,4
Дождевальная машина Фрегат	140	1,55-1,67	15-24	2,8
Норматив	35-40	1,2-1,3	3-4	

Зная абсолютный показатель свойства почвы, принятый за допустимый, при котором возможно нормальное развитие сельскохозяйственной культуры (табл. 1), можно определить качественный показатель почвы, результат которого является основанием для расчета комплексного показателя качества почвы.

Заключение. Представленные аналитические зависимости способны провести оценку негативного воздействия движителей МТА, движущегося по разным типам почв, что позволит повысить эффективность применения МТА за счет минимизации воздействия и сохранения плодородия почвы. Представленные зависимости позволят провести оптимизацию конструктивно-технологических параметров МТА.

Библиографический список

1. Карапетян, М. А. Образование колеи на почве при многократных проходах сельхозмашин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – №9. – С. 31-33.
2. Русинов, А. В. Моделирование слеодообразования движителями колесных тракторов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – №3. – С. 32-37.
3. Щитов, С. В. Использование многоосных энергетических средств класса 1,4 / С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов, В. И. Худовец, А. С. Щитов. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2013. – 153 с.
4. Чумаков, В. Г. Способы борьбы с уплотнением почвы / В. Г. Чумаков, Л. Ю. Копыленко // Вестник Кубанской ГСХА. – 2014. – №2(10). – С. 65-67.
5. Лапынин, Ю. Г. Пути увеличения проходимости и экологичности транспортных средств / Ю. Г. Лапынин, А. Н. Макаренко, А. А. Архипов, Д. В. Резников // Фундаментальные исследования. – 2011. – №4. – С. 101-107.
6. Слюсаренко, В. В. Определение глубины следа после проходов машинно-тракторных агрегатов / В. В. Слюсаренко, А. В. Русинов, С. В. Новичков // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – №2. – С. 11.

7. Щитов, С. В. Воздействие на почву тракторов с различной ходовой частью // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – №4. – С. 36-38.

8. Слюсаренко, В. В. Определение критериев сохранения плодородия почвы в процессе ее обработки / В. В. Слюсаренко, А. В. Русинов, Ю. Р. Хабибов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2006. – №3. – С. 164-166.

УДК 621.436-224.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРМОСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОЛОВКИ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

Черкашин Николай Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: Cherkashin_NA@ssaa.ru.

Жильцов Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail : Zhiltsov_SN@ssaa. ru.

Ключевые слова: термостойкость, напряжение, деформация, усталость, трещина.

Цель исследований – повышение термостойкости материала головки блока цилиндров (ГБЦ) с обоснованием химического состава и структуры этой детали. При малоцикловом термическом нагружении постепенно происходит релаксация термических напряжений при наличии уже образовавшейся остаточной деформации. Это приводит к появлению напряжений растяжения, особенно опасных для серого чугуна из которого изготовлена головка блока цилиндров. Предел прочности этого материала на растяжение в несколько раз меньше, чем на сжатие. С каждым термоциклом напряжения растяжения будут возрастать, так как серый чугун обладает малой пластичностью. Остаточные деформации будут возрастать и в конечном итоге приведут к возникновению термоусталостных трещин. Материал головки, серый чугун СЧ25, имеет графитовые включения пластинчатой формы. Структура материала не является оптимальной для улучшения теплопередачи, что также повышает температурные напряжения по поверхности и толщине огневого днища и приводит к появлению трещин. Этот дефект лимитирует ресурс ГБЦ. Для рационального выбора материала этой детали использовалась экспериментальная установка. На основе анализа полученных результатов исследований было выявлено, что максимальной термостойкостью, 160 термоциклов, обладает вермикулярный чугун. Повышенную термостойкость показывают чугуны с такими легирующими элементами, как медь, никель, молибден. Установлено, что использование легирующих добавок оптимального химического состава и структуры вермикулярного чугуна позволит значительно повысить долговечность головки блока цилиндров.

Одна из наиболее дорогостоящих деталей двигателя – головка блока цилиндра, у которой в процессе эксплуатации появляются трещины в межклапанных перемычках вследствие низкой термоусталостной прочности применяемого материала. Ресурс современных дизелей не превышает 7500-8000 моточасов [1].

Головка блока заменяется в среднем 4 раза в течение всего срока службы дизеля из-за наличия трещин, которые появляются в результате термического нагружения в процессе эксплуатации. Обследование ремфонда дизелей показало, что наиболее характерными дефектами ГБЦ являются термическая деформация и термоусталостные трещины (до 85%) [2]. Причина возникновения трещин на огневом днище ГБЦ – это термическая деформация, возникающая из-за циклической смены температурных режимов. Наличие трещин приводит к потере мощности, снижению работоспособности [2, 5]. Долговечность детали зависит от способности выдерживать термические напряжения без образования трещин, т.е. термостойкости. Этот показатель в значительной степени зависит от материала изготовления ГБЦ [7].

При исследованиях термостойкости головок блоков и разработке рекомендаций по ее повышению применялись различные установки, на которых имитировались условия теплового нагружения огневого днища при работе двигателя или создавались жесткие форсированные режимы для ускоренного получения термоусталостных трещин. ГБЦ современных дизелей подвергаются высоким нагрузкам. Как правило, это большие перепады температур по ширине и толщине огневого днища, механическая напряженность, возникающая при монтаже деталей. Сложная геометрия этой детали усиливает данные факторы. В результате возникают пластические деформации, которые при своем развитии проявляются в виде трещин в местах концентрации напряжений. Этими местами являются межклапанные перемычки огневого днища ГБЦ. Трещины в указанных местах определяют ресурс рассматриваемой детали, так как при своем дальнейшем развитии они нарушают герметичность водяного охлаждения и являются причиной выбраковки.

Цель исследований – повышение термостойкости материала головки блока цилиндров (ГБЦ) с обоснованием химического состава и структуры этой детали.

Задачи исследований:

- 1) изучить влияние химического состава и структуры материала головки блока цилиндров на термостойкость этой детали;
- 2) установить оптимальный материал для изготовления ГБЦ (химический состав и структуру).

Материалы и методы исследований. Лабораторные испытания для определения термостойкости производили на установке, во время работы которой для нагрева использовался принцип активного сопротивления. С помощью установки можно оперативно оценить влияние различных марок чугуна на склонность к трещинообразованию самого слабого звена – межклапанных перемычек огневого днища.

На установке имитировались условия местного перегрева зоны межклапанной перемычки ГБЦ, в условиях эксплуатации приводящего к появлению трещин.

Вместо межклапанной перемычки ГБЦ испытывали опытные образцы из различных марок чугуна. Алюминиевые головки имеют более низкие рабочие температуры и температурные перепады, наряду с этими качествами и более высокую чувствительность к температурным напряжениям. Поэтому основные направления работ в данной области – поиск легирующих добавок и подбор соответствующих структур чугуна для увеличения теплопроводности и снижения коэффициента теплового расширения, что повысит вероятность сохранения упругих деформаций для ожидаемого температурного состояния. Для изготовления опытных образцов были взяты следующие материалы: ковкий чугун, серый чугун (С=3%, С=4%), высокопрочный чугун, легированный чугун, вермикулярный чугун (рис. 1).



Рис. 1. Структуры материалов опытных образцов:
а – ковкий чугун; б – высокопрочный чугун; в – серый чугун; г – вермикулярный чугун

Образцы имели центральное отверстие, которое имитировало форсуночное отверстие ГБЦ.

Исследования проводились на установке, представленной на рисунке 2. Основные части установки: трансформатор ТСД-1000, выпрямитель, медный электрод с графитовым наконечником.

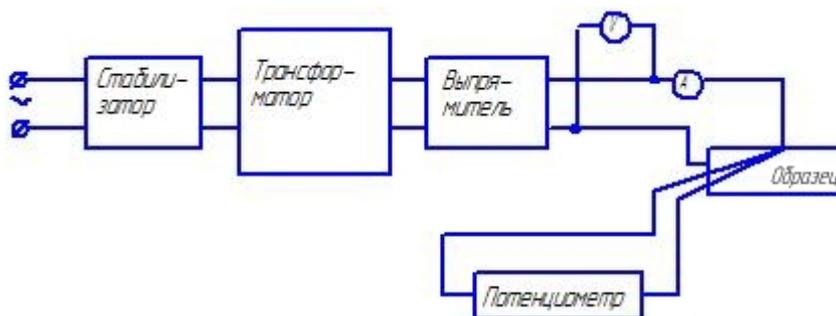


Рис. 2. Общая схема установки для определения термической усталости

Нагрев осуществляется при помощи трансформатора, два провода которого через выпрямитель подводятся к опытному образцу, установленному на специальном столе. Один провод от трансформатора закреплен на опытном образце. Другой подводится к медному подвижному электроду, установленному в специальном кронштейне над испытываемой головкой. Нижняя часть электрода выполнена в виде разрезной втулки и в ней с помощью хомута закреплен графитовый стержень. Между носком графитового стержня и плоскостью опытного образца находится пакет графитовых пластин. Геометрическая форма графитовых пластин определяется формой опытного образца.

Вторичная обмотка трансформатора замкнута через испытываемый образец. В этой цепи наибольшим сопротивлением будет обладать пакет графитовых пластин, следовательно там будет выделяться

максимальное количество теплоты. Сила тока, а также количество и толщина пластин определены экспериментальным путем. Пакет графитовых пластин состоит из 3-х пластин толщиной 1,5 мм каждая. Эти пластины в течение нескольких секунд нагреваются до высокой температуры и значительно ускоряют нагрев исследуемого образца. Для того, чтобы в процессе лабораторных экспериментов осуществлять нагрев до заданной температуры, была проведена тарировка лабораторной установки, в процессе которой контролировалось время нагрева образца до определенной температуры. Температуру поверхности регистрировали потенциометром КСП2-005 и хромель-алюмелевой термопарой, горячий спай которой находится на поверхности нагреваемого образца. В процессе тарировки контролировали также значение напряжения U и силу тока I .

Значение силы тока I было выбрано постоянным – 285 А. Эксперименты показали, что время нагрева значительно меняется и, в основном, зависит от величины напряжения U , которое изменяется в пределах от 2,5 до 3,5 В. С увеличением напряжения время нагрева уменьшается вследствие частичного прогорания графитовых пластинок. Полученная зависимость более точно учитывает характерные особенности графитовых пластин, сопротивление которых зависит от состояния их поверхностей, а следовательно, значительно влияет на нагрев.

Известно, что в современных высокофорсированных дизелях температура огневого днища головки может достигать 550°C [3, 4, 6]. Испытания на термостойкость головок цилиндров проводили путем осуществления последовательных термоциклов по режиму нагрев-охлаждение, до появления трещин.

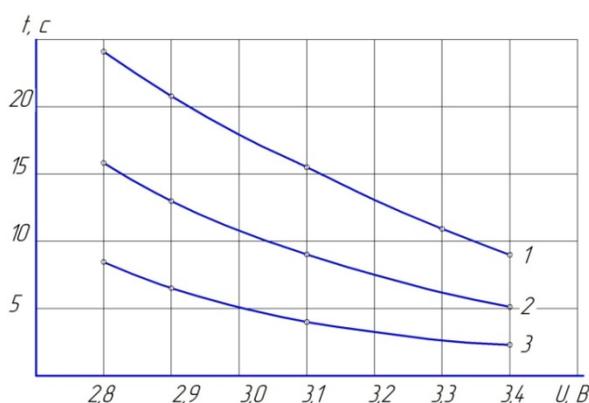


Рис. 3. Зависимость времени нагрева от напряжения
1 – при $t=150^{\circ}\text{C}$; 2-1 – при $t=350^{\circ}\text{C}$; 3 – при $t=550^{\circ}\text{C}$

Тарировка была проведена для трех уровней температур 550, 350, 150°C. Получены зависимости для четырех последовательно испытанных пакетов, для каждого уровня температуры. Таким образом, удалось упростить методику испытаний, отказавшись от использования термопар, ориентируясь при осуществлении термоциклов по секундомеру.

Результаты исследований. Результаты исследования термостойкости чугунов с различной структурой и химическим составом показаны на рисунке 4.

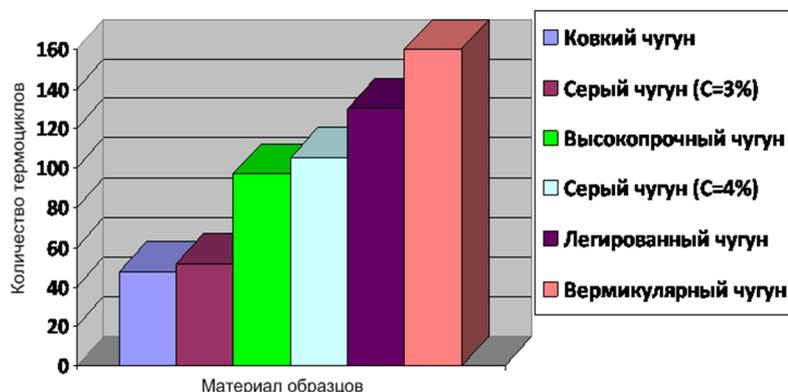


Рис. 4. Результаты исследования термостойкости различных чугунов

Материал головки, серый чугун СЧ25, подразумевает наличие графитовых включений, пластинчатой формы. Структура материала не является оптимальной для улучшения теплопередачи, что также повышает температурные напряжения по поверхности и толщине огневого днища и снижает термостойкость [7].

Повышенную термостойкость показывают чугуны с такими легирующими элементами, как медь, никель, молибден. Эти элементы препятствуют образованию внутренних окислов в чугуне при эксплуатации с чередованием циклов нагрева и охлаждения в активной газовой среде. Кремний и фосфор, наоборот, усиливают процессы внутреннего окисления.

Хороший эффект достигается при использовании высокоуглеродистых чугунов (C=4,0%) легированных медью и никелем, при содержании хрома не более 0,09-0,11%. Такие чугуны разрушаются под действием термоциклических нагрузок в среде отработанных газов значительно позже, чем серийные и, практически без следов внутреннего окисления, т.е. в результате термической усталости. Термостойкость повышается в 1,3-1,4 раза. Содержащийся в чугуне графит приобретает шаровидную форму, чугун имеет хорошие механические свойства и мало окисляется при высоких температурах.

В последние годы в машиностроении стали применять чугун с вермикулярным графитом марки ВЧ35 с удлинением до 3%, который при высокой прочности (до 450 МПа) обладает высокой пластичностью и выдерживает значительные динамические и термические нагрузки без образования трещин. Вермикулярный графит имеет промежуточную форму между пластинчатой и шаровидной формами. Благодаря такой форме графита, чугун имеет прочность, близкую к прочности чугуна с шаровидным графитом (350-500 МПа при растяжении) и повышенную, по сравнению с серым чугуном пластичность. В тоже время он обладает более высокой теплопроводностью. Усадка вермикулярного чугуна значительно меньше, чем у чугуна с шаровидным графитом.

Заключение. Использование легирующих добавок оптимального химического состава и структуры вермикулярного чугуна позволит значительно повысить долговечность корпусных деталей двигателя.

Библиографический список

1. Галенко, И. Ю. Увеличение послеремонтного ресурса двигателей / И. Ю. Галенко, О. В. Шарымов // Сельский механизатор. – 2014. – №10. – С. 32-37.
2. Захаров, А. А. Повышение долговечности головок цилиндров дизелей при восстановлении путем применения деконцентраторов напряжений : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Захаров Александр Анатольевич. – Саратов, 2005. – 207 с.
3. Черкашин, Н. А. Снижение напряжений в межклапанных перемычках головок цилиндров дизелей / Н. А. Черкашин, В. В. Шигаева, Г. Н. Дмитриев // Достижение науки агропромышленному комплексу : сб. науч. тр. – Самара, 2014. – С. 268-271.
4. Межецкий, Г. Д. Определение ресурса головок блоков дизельных двигателей / Г. Д. Межецкий, Н. А. Черкашин // Ресурсосберегающие методы использования сельскохозяйственной техники : сб. науч. тр. – Ульяновск, 2007. – С. 67-71.
5. Межецкий, Г. Д. Механика образования трещин в деталях двигателей внутреннего сгорания при малоцикловом термоусталостном режиме / Г. Д. Межецкий, В. В. Чекмарев, Д. В. Межецкий // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2009. – №10. – С. 54-58.
6. Захаров, А. А. Повышение долговечности головок цилиндров дизелей при восстановлении путем применения деконцентраторов напряжений : дис. ... канд. техн. наук : 052003 / Захаров Александр Анатольевич. – Саратов, 2005. – 207 с.
7. Бондаренко, С. И. Влияние формы графита на термическую стойкость чугуна [Электронный ресурс] / С. И. Бондаренко, И. П. Гладкий // Вестник ХНАДУ. – 2006. – №33. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-formy-grafita-na-termicheskuyu> (дата обращения: 28.04.2014).

УДК 631.331

ОБОСНОВАНИЕ ПОДАЧИ СЕМЯН КАТУШЕЧНО-ШТИФТОВЫМ ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ

Сыркин Владимир Анатольевич, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: Sirkin_VA@mail.ru.

Ключевые слова: высевающий аппарат, штифтовая катушка, высев семян

Цель исследований – повышение равномерности высева семян катушечно-штифтовым высевающим аппаратом. Катушечно-штифтовые высевающие аппараты хорошо зарекомендовали себя при посеве зерновых культур как альтернатива традиционным катушечно-желобчатым высевающим аппаратам. При относительно высокой равномерности высева, у аппаратов данного типа наблюдается импульсное воздействие штифтов на поток семян. Это связано с относительно медленным заполнением пустого пространства, которое образуется после прохождения штифтов через массу зерна и возникновения зоны уплотнения семян перед штифтами. Для решения данной

проблемы был разработан катушечно-штифтовый высевочный аппарат с асинхронным движением штифтов. Разбив катушку на диски и придав им разные скорости вращения, произошло разделение общего потока семян на три потока. Скорость движения центрального потока при этом стала меньше скорости движения крайних потоков. Взаимодействие потоков приводит к перемешиванию семян и в результате к более активному заполнению пространства после прохода штифтов. Главным требованием для высевочных аппаратов является обеспечение требуемой нормы высева семян, что напрямую зависит от их подачи. Фактическая подача высевочного аппарата будет всегда меньше максимальной теоретической подачи, в связи с влиянием таких факторов как трение семян о элементы конструкций аппарата, неполное заполнение межштифтового пространства и скольжение семян о штифты. Максимальная теоретическая подача определится как сумма высевочной массы семян, находящихся в межштифтовом пространстве, и высевочной массы семян активным слоем. Масса семян, высевочных отдельным штифтовым диском. Масса семян, высевочная активным слоем, также определится как сумма масс семян, высевочных потоками активных слоев, расположенных под штифтовыми дисками. Установлено, что основными конструктивными параметрами высевочного аппарата, влияющими на подачу, являются: диаметр и ширина дисков, размеры штифтов и их количество, а также расстояние от клапана до края штифтов. Основными технологическими параметрами являются частоты вращения центрального и боковых дисков.

Использование катушечно-штифтовых высевочных аппаратов на селекционных сеялках для посева зерновых культур показало их преимущество перед традиционными катушечно-желобчатыми высевочными аппаратами. В основном это связано с высокими показателями равномерного распределения семян в рядке и обеспечения тем самым оптимальной площади питания для растений [1, 3, 7]. Однако одним из недостатков аппаратов данного типа является периодическое импульсное воздействие штифтов на поток семян. Это связано с возникновением перед движущимися в семенном материале штифтами локальных зон уплотнения семян. При этом после прохождения штифтов возникает шлейф, вызванный неполным и несвоевременным заполнением пустого пространства семенами. В результате равномерность высева семян частично снижается [3, 6, 7].

Цель исследований – повышение равномерности высева семян катушечно-штифтовым высевочным аппаратом.

Задача исследований – определить основные конструкционные и технологические параметры высевочного аппарата, влияющие на теоретическую подачу высевочного аппарата.

Материалы и методы исследований. Для решения данной проблемы на кафедре «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА был разработан экспериментальный катушечно-штифтовый высевочный аппарат с асинхронным движением штифтов [3, 6].

Результаты исследований. Экспериментальный высевочный аппарат (рис. 1, б) включает в себя катушку, состоящую из трех штифтовых дисков 1, 2, 9, установленных на центральном валу 8. Причем центральный диск 9 установлен на валу неподвижно, а диски 1 и 2 имеют возможность свободно вращаться. Привод штифтовых дисков 1 и 2 осуществляется через промежуточный редуктор, при помощи звездочек 3, 6 и цепную передачу. Звездочки 3 соединены неподвижно боковыми дисками 1 и 2, а звездочка 6 – с центральным валом 8. Промежуточный редуктор включает в себя вал с закрепленными на нем тремя звездочками (на рисунке 1 не показано). Причем звездочка, соединенная со звездочкой 6, является регулировочной. Штифты 4 расположены на дисках 1, 2 и 9 в два ряда и имеют цилиндрическую форму.

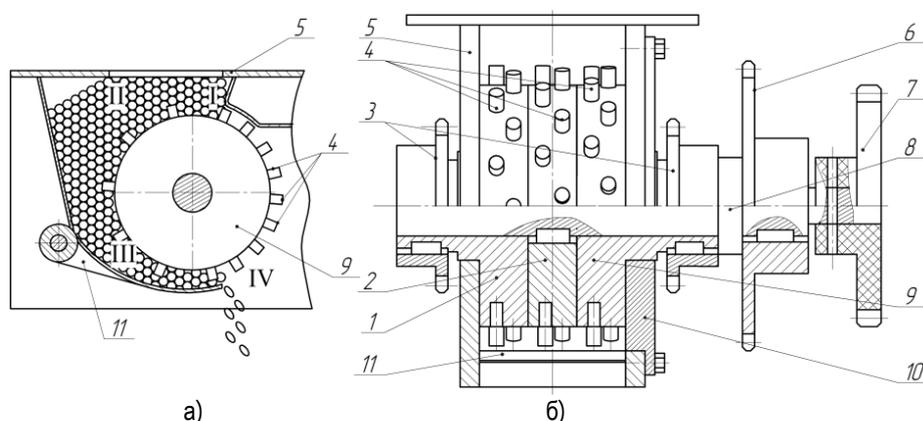


Рис. 1. Схема высевочного аппарата с асинхронным движением штифтов:

а) технологическая схема высева семян; б) общий вид высевочного аппарата;

1, 9 – боковые штифтовые диски; 2 – центральный штифтовый диск; 3, 6 – звездочки привода боковых штифтовых дисков; 4 – штифты; 5 – корпус; 7 – приводная шестерня; 8 – центральный вал; 10 – крышка; 11 – клапан

В процессе работы высевающего аппарата семена из семенного бункера через входное отверстие поступают в семенную коробку высевающего аппарата и заполняют пространство между штифтами в зонах I и II (рис. 1, а). Вращаясь на центральном валу, штифтовые диски, за счет трения штифтов о семена, увлекают последние в зону III и в зоне IV сбрасывают с края клапана.

Для определения подачи высевающего аппарата необходимо определить максимальную теоретическую подачу высевающего аппарата.

Общая подача высевающего аппарата определится по формуле

$$\Pi_{в.а.} = \Pi_{к.} + \Pi_{а.с.}, \quad (1)$$

где $\Pi_{в.а.}$ – подача семян высевающим аппаратом, кг/с;

$\Pi_{к.}$ – подача семян штифтовой катушкой, кг/с;

$\Pi_{а.с.}$ – подача семян активным слоем, кг/с.

Определим подачу штифтовой катушки как сумму подач штифтовыми дисками

$$\Pi_{к.} = \sum \Pi_{д.}, \quad (2)$$

где $\sum \Pi_{д.}$ – сумма подач тремя штифтовыми дисками, кг/с.

Так как боковые диски имеют одинаковую частоту вращения, то они равны по производительности.

Подача или производительность одного штифтового диска равна:

$$\Pi_{д.} = \gamma \cdot \omega \cdot (V_1 - (V_2 + N_{ш} \cdot V_{ш})), \quad (3)$$

где γ – удельный вес семян, кг/м³;

ω – угловая скорость штифтового диска, с⁻¹;

V_1 – объем занимаемый диском со штифтами и межштифтовым пространством, м³;

V_2 – объем диска без штифтов, м³;

$V_{ш}$ – объем одного штифта, м³;

$N_{ш}$ – число штифтов на диске, шт.

$$V_1 = \pi \cdot R_{д.}^2 \cdot l, \quad (4)$$

где $R_{д.}$ – радиус диска с учетом штифтов, м;

l – рабочая длина диска, м.

$$V_2 = \pi \cdot r_{д.}^2 \cdot l, \quad (5)$$

где $r_{д.}$ – радиус диска без штифтов, м.

$$V_{ш} = \pi \cdot r_{ш.}^2 \cdot h, \quad (6)$$

где $r_{ш.}$ – радиус одного штифта, м;

h – высота штифта, м.

Тогда производительность одного диска определится как

$$\Pi_{д.} = \pi \cdot \gamma \cdot \omega \cdot (l \cdot (R_{д.}^2 - r_{д.}^2) - N_{ш} \cdot r_{ш.}^2 \cdot h). \quad (7)$$

Выразив $R_{д.}$ как сумму $r_{д.} + h$ и сделав ряд преобразований, получаем

$$\Pi_{д.} = \pi \cdot \gamma \cdot \omega \cdot l \cdot h \cdot \left(2 \cdot r_{д.} + h - \frac{N_{ш} \cdot r_{ш.}^2}{l} \right). \quad (8)$$

Так как крайние диски приводятся в движение через повышающий редуктор, их угловую скорость определим по формуле

$$\omega_1 = i_p \cdot \omega_2, \quad (9)$$

где ω_1 – угловая скорость центрального вала и центрального диска высевающего аппарата, с⁻¹;

ω_2 – угловая скорость боковых дисков, с⁻¹.

Определим среднюю угловую скорость штифтовой катушки:

$$\omega_{к.} = \frac{\omega_2 + \omega_2 + \omega_1}{3}, \quad (10)$$

где $\omega_{к.}$ – средняя угловая скорость центральной катушки, с⁻¹.

Выражая ω_2 через ω_1 , получаем

$$\omega_{к.} = \frac{\omega_1 \cdot (2 \cdot i_p + 1)}{3}. \quad (11)$$

Подставляя формулу (11) в формулу (8), определим производительность всей катушки:

$$\Pi_{к.} = 2 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot l \cdot h \cdot \omega_1 \left(i_p + \frac{1}{2} \right) \cdot \left(2 \cdot r_{д.} + h - \frac{N_{ш} \cdot r_{ш.}^2}{l} \right). \quad (12)$$

Подача семян активным слоем определяется по формуле

$$\Pi_{а.с.} = 2 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot \omega_{к.} \cdot R_{д.} \cdot l_{к.} \cdot C, \quad (13)$$

где C – толщина активного слоя, м;

l_k – общая рабочая длина катушки высевающего аппарата, м.

Учитывая, что катушка состоит из трех дисков, принимаем

$$P_{a.c.} = 4 \cdot \gamma \cdot \pi \cdot \omega_1 \cdot \left(i_p + \frac{1}{2}\right) \cdot (r_d + h) \cdot l \cdot C, \quad (14)$$

Подставим формулы (12) и (14) в формулу (2):

$$P_{в.а.} = 2 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot l \cdot h \cdot \omega_1 \cdot \left(i_p + \frac{1}{2}\right) \cdot \left(2 \cdot r_d + h - \frac{N_{ш} \cdot r_{ш}^2}{l}\right) + 4 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot \omega_1 \cdot \left(i_p + \frac{1}{2}\right) \cdot (r_d + h) \cdot l \cdot C. \quad (15)$$

Сделав ряд преобразований, получаем

$$P_{в.а.} = 4 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot l \cdot h \cdot \omega_1 \cdot \left(i_p + \frac{1}{2}\right) \cdot \left(r_d + \frac{h}{2} - \frac{N_{ш} \cdot r_{ш}^2}{2 \cdot l} + \frac{r_d \cdot C}{h} + C\right). \quad (16)$$

Заключение. Таким образом, было определено, что основными конструктивными параметрами высевающего аппарата, влияющими на его теоретическую подачу, являются диаметр и ширина штифтовых дисков без штифтов, высота и диаметр штифтов, а также расстояние от клапана до края штифтов. Технологическими параметрами являются частоты вращения штифтовых дисков.

Библиографический список

1. Крючин, Н. П. Оптимизация конструктивно-технологических параметров высевающего аппарата дисково-щеточного типа, влияющих на равномерность высева / Н. П. Крючин, С. В. Вдовкин, П. В. Крючин // Достижение науки агропромышленному комплексу : сб. науч. тр. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2014. – С. 287-291.
2. Пат. №2412578 Российская Федерация. Выссевающий аппарат / Петров А. М., Васильев С. А., Петров М. А., Зелева Н. В. – № 2009140536/21 ; заявл. 02.11.09 ; опубл. 27.02.11, Бюл. №6. – 3 с.
3. Пат. №2473200 Российская Федерация. Выссевающий аппарат / Петров А. М., Сыркин В. А., Васильев С. А. [и др.]. – № 2011122286/13; заявл. 01.06.11 ; опубл. 27.01.13, Бюл. №3. – 7 с. : ил.
4. Петров, А. М. Разработка дисково-ленточного выссевающего аппарата селекционной сеялки / А. М. Петров, Н. В. Зелева // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – №3. – С. 29-32.
5. Петров, А. М. Теоретическое обоснование конструктивных и теоретических параметров дисково-ленточного выссевающего аппарата / А. М. Петров, Н. В. Зелева // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №3 – С. 3-9.
6. Сыркин, В. А. Обоснование конструктивно-технологической схемы катушечно-штифтового выссевающего аппарата / В. А. Сыркин, А. М. Петров, С. А. Васильев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – №3. – С. 44-46.
7. Сыркин, В. А. Разработка катушечно-штифтового выссевающего аппарата для селекционной сеялки ССНП-16 / А. М. Петров, В. А. Сыркин // Вклад молодых ученых в аграрную науку Самарской области : сб. науч. тр. – Самара, 2011. – С. 105-107.

УДК 631.371

ОЦЕНКА ТОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПЛАТФОРМЕ ИНС

Кузнецов Михаил Александрович, ст. преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: alexsys-7@mail.ru

Ключевые слова: теоретический, анализ, автоматическое, регулирование, точное, земледелие.

Цель исследования – улучшить качественные показатели сельскохозяйственных машин при их дальнейшем совершенствовании и проектировании. Неравномерность распределения различных доз минеральных удобрений по-разному влияет на потери урожая. При внесении оптимальных доз потери урожая от неравномерности рассева удобрений увеличиваются в результате недобора на недостаточно удобренных участках, а также из-за полегания растений на участках, получивших избыточную дозу питательных веществ. При этом проблема обеспечения точного вождения агрегатов для внесения удобрений еще более обостряется с увеличением ширины захвата современной высокопроизводительной высокотехнологичной техники. Система дифференцированного внесения удобрений, созданная на платформе инерционной навигационной системы (ИНС), как альтернатива GPS-навигации в системе точного земледелия, позволит с меньшими затратами и большей точностью выполнять сельскохозяйственные операции по внесению удобрений. При предъявлении требований к точности регулирования обоснована длительность интервала,

по отношению к которому должна обеспечиваться заданная точность. Как теоретические предпосылки анализа качества регулирования при воздействии стохастического возмущения $Q(t)$ рассмотрены тенденции изменения значения среднеквадратического отклонения объема материала в последовательных участках потока за интервалы времени Δt . Оптимальный выбор, с точки зрения качества регулирования рабочего сечения, рассматривается при условии подачи на входы системы заданной функции $Q_{зад}(t)$ и случайного сигнала $Q(t)$. Выработаны рекомендации по применению преобразователей с малыми значениями времени дифференцирования T_d , что позволит расширить полосу пропускания ω_n . Эффективная полоса пропускания, гарантирующая устойчивость системы, составит $\omega_n = \frac{4\pi}{3\tau}$.

Неравномерность распределения различных доз минеральных удобрений по-разному влияет на потери урожая. При внесении оптимальных доз потери урожая увеличиваются от неравномерности рассева удобрений, в результате недобора на недостаточно удобренных участках, а также из-за полегания растений на участках, получивших избыточную дозу питательных веществ [1]. При этом проблема обеспечения точного вождения агрегатов для внесения удобрений еще более обостряется с увеличением ширины захвата современной высокопроизводительной техники [5]. Таким образом, при работе без технологической колеи отсутствие устройств точного вождения ведет к нарушению оптимального перекрытия смежных проходов и огрехам, что существенно повышает неравномерность распределения удобрений по полю [3]. Это приводит к отклонению фактически вносимых доз от заданных на участках с двойной обработкой и огрехам, потерям удобрений, снижает эффективность их применения, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

Цель исследования – улучшить качественные показатели сельскохозяйственных машин при их дальнейшем совершенствовании и проектировании.

Задача исследования – определение теоретических предпосылок качества регулирования потока с целью поддержания подачи заданного количества материала $G(t)$, выдаваемого за промежутки времени Δt , с отклонениями не более $\pm \Delta$, гарантирующими устойчивость автоматической системы дифференцированного внесения удобрений.

Материалы и методы исследований. При внедрении и популяризации в мировом аграрном земледелии точного земледелия с дифференцированным внесением удобрений на участки поля, имеющие различное плодородие [4] рассматриваются два основных способа: внесение в режиме on-line (режим реального времени) и внесение в режиме off-line (с предварительно подготовленной картой поля). В случае авторов работа по дифференцированному внесению удобрений производится способом off-line, т.е. первоначально создается электронная карта поля по обеспеченности почвы химическими элементами питания [1]. Данные электронной карты экспортируются в систему дифференцированного внесения удобрений, созданную на платформе инерционной навигационной системы (ИНС), как альтернативу GPS-навигации в системе точного земледелия, и смонтированную на с.-х. агрегате. На рисунке 1 показан электропривод экспериментального автоматического устройства для дифференцированного внесения удобрений на платформе ИНС [2]. Бортовой микропроцессор считывает данные с электронной карты и выдает команды на электропривод автоматического устройства.

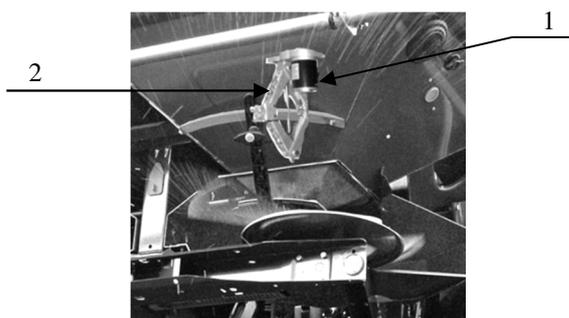


Рис. 1. Электропривод экспериментального автоматического устройства для дифференцированного внесения удобрений:

1 – реверсивный электродвигатель привода с редуктором; 2 – ромбовидный механизм перемещения заслонки

Результаты исследований. Задача автоматического устройства для дифференцированного внесения удобрений – обеспечение расхода регулируемым потоком с целью поддержания подачи заданного количества материала $G(t)$, выдаваемого за промежутки времени Δt , с отклонениями не более $\pm \Delta$ [5]:

$$G(t) = \int_t^{t+\Delta t} Q(t) dt, \quad (1)$$

$$\int_t^{t+\Delta t} Q(t) dt - \int_t^{t+\Delta t} Q_{зад}(t) dt \leq \pm \Delta, \quad (2)$$

где $Q(t)$ – реализация значения расхода в интервале $t_i - (t_i + \Delta t)$; $Q_{зад}(t)$ – заданное значение расхода; Δ – допускаемое отклонение.

Для определения теоретических предпосылок анализа качества регулирования при воздействии стохастического возмущения $Q(t)$, рассматривается тенденция изменения значения среднеквадратического отклонения объема материала в последовательных участках потока за интервалы времени Δt , допуская, что спектральная плотность отклонений $S(\omega) = A^2$ (белый шум) [6]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{A^2}{\pi} \int_0^\infty \left(\frac{2Sn \frac{\omega \Delta t}{2}}{\omega}\right)^2 d\omega} = A\sqrt{\Delta t}. \quad (3)$$

Очевидно, что с увеличением Δt значение коэффициента вариации v , который используется для оценки точности, будет иметь вид [7]:

$$G_{c.p} = Q_{c.p} \Delta t, \quad (4)$$

$$v = \frac{A}{Q_{c.p} \sqrt{\Delta t}}, \quad (5)$$

где $Q_{c.p}$ – среднее значение расхода; A – случайная величина.

Подобная оценка в начале участка шкалы Δt остаточно хорошо соотносится с экспериментальными данными. При прохождении такого сигнала через инерционное звено с $K = \Delta t$ и $T=0,5 \Delta t$ получается аналогичный результат:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\infty \left(\frac{K}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}}\right)^2 S(\omega) d\omega} = A\sqrt{\Delta t}. \quad (6)$$

Идентичность результатов (3) и (6) дает возможность использования аппроксимирующих значений передаточных функций для анализа систем регулирования на случайные возмущения. Исходя из формул (3), (5), можно сделать вывод, что при предъявлении требований к точности регулирования необходимо обосновать длительность интервала, по отношению к которому должна обеспечиваться заданная точность [3]. Анализ качества регулирования на стохастическое возмущение производится при условии обеспечения устойчивости системы. Рассмотрим структурную схему системы (рис. 2). Оптимальный выбор, с точки зрения качества регулирования рабочего сечения, должен рассматриваться при условии подачи на входы системы заданной функции $Q_{зад}(t)$ и случайного сигнала $Q(t)$.

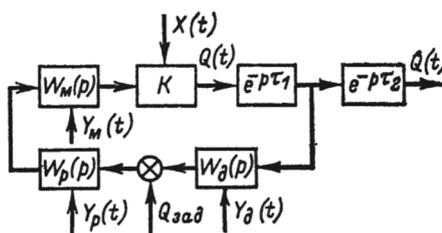


Рис. 2. Структурная схема регулирования рабочего сечения дозатора автоматического устройства для дифференцированного внесения удобрений

При прохождении случайного сигнала через систему с передаточной функцией [7]

$$W(p) = \frac{K e^{-pt}}{T_p + 1} \quad (7)$$

происходит существенное ослабление высокочастотных составляющих. Для характеристики степени ослабления необходимо использовать величину эффективной полосы пропускания:

$$\omega_n = \frac{1}{W^2(0)} \int_0^\infty |W(j\omega)|^2 d\omega = \frac{\pi}{2T_D}. \quad (8)$$

Сигналы с $\omega > \omega_n$ практически не проходят через систему и не влияют на процесс. Таким образом, при поставленных условиях к σ (при заданном $\Delta t_{зад}$) необходимо, чтобы:

$$T_0 \ll \Delta t_{зад} \frac{D_{зад}}{D_\phi}, \quad (9)$$

где $\Delta t_{зад}$ – заданный интервал времени, при котором дисперсия не больше $D_{зад}$; D_ϕ – дисперсия при том же интервале без автокоррекции.

При высоких требованиях к точности дозирования, соответствующих формуле (2) и при $\Delta t_{зад} \leq 10 \frac{\pi}{\omega_\phi}$, необходимо применение преобразователей с малыми значениями T_D (времени дифференцирования), что позволит расширить ω_n . Тогда для соблюдения условия (2) необходимо увеличивать

быстродействие и других звеньев, что приведет к увеличению $K_o K_p$ и уменьшению $\frac{T_u}{\tau}$ и, как следствие, к снижению запаса устойчивости системы. Однако величина τ в нашей схеме есть интервал, через который регулирующее воздействие влияет на поток материала. Тогда для обеспечения условия (2) необходимо, чтобы $\tau \ll \Delta t_{зад}$. Эффективная полоса пропускания в данном случае будет равна:

$$\omega_n = \frac{\int_0^{\infty} \left(\frac{8Sn^2 \omega \tau}{\tau \omega^2} \right)^2 d\omega}{\left(\frac{\tau}{2} \right)^2} = \frac{4\pi}{3\tau}. \quad (11)$$

Из сопоставления (8) и (11) видно, что в последнем случае эффективная полоса пропускания в 2,5 раза больше. Это обстоятельство весьма важно для решения поставленной задачи.

Заключение. В качестве гипотезы анализа качества регулирования при воздействии стохастического возмущения $Q(t)$ рассмотрена тенденция изменения значения среднеквадратического отклонения объема материала в последовательных участках потока за интервалы времени Δt . Оценку качества регулирования рабочего сечения следует определять при условии подачи на входы системы заданной функции $Q_{зад}(t)$ и случайного сигнала $Q(t)$. При предъявлении требований к точности регулирования системы была обоснована длительность интервала, через который регулирующее воздействие влияет на поток материала, по отношению к которому должна обеспечиваться заданная точность. Рекомендовано применение преобразователей с малыми значениями времени дифференцирования T_d , что позволит расширить полосу пропускания ω_n . Эффективная полоса пропускания, гарантирующая устойчивость системы, составит $\omega_n = \frac{4\pi}{3\tau}$.

Библиографический список

1. Бикбулатова, Г. Г. Технология точного земледелия // Омский научный вестник. – 2008. – №2 (71). – С. 46-49.
2. Доросинский, Л. Г. Основы и принципы построения инерциальных навигационных систем / Л. Г. Доросинский, Л. А. Богданов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №5. – С. 49-54.
3. Луханин, В. А. Методика оптимизации параметров центробежного аппарата для распределения минеральных удобрений / В. А. Луханин, В. А. Черноволов, Т. М. Ужахов // Совершенствование технологических средств в растениеводстве : межвузовский сб. науч. трудов. – Зерноград : ФГОУ ВПО АЧГАА, 2010. – С. 27-34.
4. Милюткин, В. А. Система механизации мониторинга и управления плодородием почвы в режиме ON-LINE / В. А. Милюткин, М. А. Канаев, М. А. Кузнецов // Известия Самарской сельскохозяйственной академии. – 2013. – №3. – С. 34-39.
5. Михайленко, И. М. Управление системами точного земледелия : монография / И. М. Михайленко. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2005. – 231 с.
6. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация : монография / Под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 632 с.
7. Пешехонов, А. А. Автоматическое управление расходом сыпучих материалов : монография. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2006. – 110 с.

УДК 631.431

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОЧВЕННОГО ПРОБООТБОРНИКА

Нугманов Сергей Семенович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 10.

E-mail: nugmanov_ss@ssaa.ru.

Гриднева Татьяна Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 10.

E-mail: t-grid@mail.ru.

Васильев Сергей Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 10.

E-mail: sj_vasilev@mail.ru.

Ключевые слова: пробы, почвы, пробоотборник, ненарушенная, структура.

Цель исследования – совершенствование технических средств для отбора образцов почвы при проведении полевых исследований. Существующие устройства для отбора проб почвы можно разделить на устройства для отбора с нарушенной структурой или ненарушенной. Предложенная авторами конструкция пробоотборника позволяет отбирать образцы почвы с ненарушенной структурой. В разработанной конструкции формирование заключенного в пробоотборнике образца происходит за счет извлечения устройства из почвенной скважины, определение

физико-химических свойств можно проводить одновременно с взятием пробы почвы. В разборном корпусе, составленном из двух половинок, установлен контейнер, опирающийся передним торцом на внутреннее заплешико разборного корпуса. На заднем торце контейнера закреплена крышка со штифтами, пропущенными наружу через пазы стенки корпуса, а на последнем надет фланец, примыкающий задней поверхностью к штифтам. В корпусе установлен толкатель, между ним и крышкой установлена пружина. В кольцевой проточке разборного корпуса напротив переднего окончания контейнера уложены две режущие струны, по одной на каждую половинку разборного корпуса. При внедрении толкателем пробоотборника в почву она заполняет контейнер, а при вытягивании толкателя режущие струны обрезают образец почвы по основанию контейнера и обеспечивают извлечение пробоотборника. Одновременно с взятием пробы почвы производится определение физико-химических свойств, например, влажности. Для этого в пробоотборнике установлен электрод, электрически изолированный от корпуса и крышки текстолитовыми втулками, с возможностью подключения к электроизмерительному устройству. По результатам лабораторно-полевых испытаний установлено, что разработанный пробоотборник работоспособен, позволяет получать образцы почвы с ненарушенной структурой объемом 125 см³, может использоваться для определения объемного веса, а также непосредственного определения физико-химических свойств почвы, например влажности, по электрическим показателям, используя в качестве питающего сигнала ток частотой 100-200 кГц.

Многие полевые исследования предполагают отбор образцов почвы с различных глубин для дальнейшего определения физических и химических свойств. В большинстве исследований рекомендуется отбирать пробы на глубине пахотного слоя, т.е. в диапазоне от 15 до 20 см. При оценке характера распределения минерального азота пробы рекомендуется отбирать на глубине от 60 до 120 см [1]. В зависимости от целей исследования образцы почвы берут или в нарушенном или ненарушенном состоянии. Образцы почвы в ненарушенном состоянии необходимы для определения таких свойств, как плотность почвы, пористость и др., т.к. в этом случае необходимо знать точный объем почвенного образца. Для этого обычно используют металлические цилиндры объемом 100, 250, 500 или 1000 см³, которые вбивают в почву сверху или в стенку почвенного разреза, а затем подрезают ножом или лопаткой верхнюю и нижнюю поверхности для получения образца объемом, равным объему цилиндра. Однако этот процесс является достаточно трудоемким. Для обеспечения сохранности естественной структуры образца почвы и снижения трудоемкости его отбора предлагается конструкция почвенного пробоотборника для отбора образцов почвы с ненарушенной структурой.

Цель исследования – совершенствование технических средств для отбора проб (образцов) почвы при проведении полевых исследований.

Задача работы – разработать конструкцию пробоотборника для отбора проб почвы с ненарушенной структурой с возможностью непосредственного определения ее физико-химических или электрических свойств.

Существующие устройства для отбора проб почвы можно разделить на устройства для отбора с нарушенной структурой или ненарушенной. Устройства, используемые для отбора проб с нарушенной структурой, можно подразделить на 2 группы: вращательные и ударные. К вращательным относятся буры, в которых почва поступает внутрь рабочей части бура и удерживается в ней или между спиралями. Существуют также ударные буры, которые ввинчивают или вбивают вертикально на нужную глубину. Для отбора проб с ненарушенной структурой используют устройства, содержащие цилиндр, в который при вращательном его заглублении поступает образец почвы, объем которого не нарушается. Ниже приведены примеры рассмотренных разновидностей таких устройств. Известно устройство для отбора почвы [2], состоящее из приводного двигателя с валом, управляемого щитом управления, редуктора, магнестрикционного генератора, телескопического стержня с возможностью установки в различные положения по высоте, съемного накопительного цилиндра-бура, подбираемого в зависимости от типа почвы. В данном устройстве электродвигатель предназначен для привода вертикального перемещения при отборе проб, магнестрикционный генератор – для создания вибрации бура для уменьшения энергетических потерь процесса бурения. За счет конструктивных особенностей устройства оно обладает следующими достоинствами: высокая производительность, уменьшение энергетических затрат при отборе пробы почвы, расширение функциональных возможностей устройства, снижение затрат ручного труда, облегчение условий работы оператора. К недостаткам данного устройства следует отнести нарушение естественной структуры образцов почвы, а также необходимость источника питания в полевых условиях – мобильной почвенно-экологической лаборатории или какого-либо другого.

Для отбора проб с ненарушенной структурой предложена конструкция устройства для отбора проб почвы [3], которое оснащено заборным цилиндрическим стаканом с заостренной режущей кромкой и проточкой в нижней его части, крышкой, стержнем, ударным наконечником. Приспособление для извлечения образцов почвы из стакана содержит выталкиватель, расположенный внутри стакана для проб с возможностью перемещения вверх-вниз, стержни, фланец, отверстия в крышке для прохождения стержней и шкалу. В данном устройстве заглубление и заполнение заборного стакана пробой производится за счет ударов кувалдой или молотком по наконечнику, а извлечение пробы – за счет ударов по специальному фланцу.

К достоинствам устройства можно отнести достаточную простоту конструкции. Среди недостатков следует отметить необходимость применения физической силы на удары при заглублении устройства и освобождении проб. Устройство не позволит получить образцы с ненарушенной структурой точного объема, при извлечении стакана возможно осыпание почвы, т.к. в нижней части образец не имеет каких-либо подрезающих и поддерживающих устройств.

Образцы ненарушенной структуры позволяет получить почвенный бур-пробоотборник [4], который состоит из корпуса, стакана с пробоприемной гильзой, выполненной разъемной и состоящей по концам из половинок дна и фланца, крышки, ступицы с приводной шестерней, фрезы. Для лучшего подрезания почвы на внешней стороне корпуса расположена шнековая спираль с режущей кромкой. Для подрезания столбика монолита устройство содержит серповидные ножи, закрепленные на приводных валах в зазоре между фрезой и фланцем в дугообразных пазах. Ножи приводятся в действие автоматически при достижении буром необходимой глубины, подрезают и удерживают образец почвы при извлечении устройства. Данное устройство позволит получить монолитные образцы почвы ненарушенного объема, т.к. в нем имеется подрезающее устройство в виде серповидных ножей, которые также удерживают образец при его извлечении. Наличие на корпусе шнековой навивки с режущей кромкой и фрезы позволит снизить энергоемкость процесса заглубления. Однако к недостаткам устройства следует отнести низкую производительность отбора проб почвы, большую трудоемкость процесса, вследствие того, что оно содержит подвижные и разъемные части.

Для отбора образцов почвы ненарушенной структуры с фиксированным объемом авторами предложен почвенный пробоотборник [5, 6]. Устройство содержит разъемный корпус 1 (рис. 1), контейнер 2 с крышкой 3, толкатель 4, фланец 6, пружину 7 и штифты 8. Подрезание образцов почвы происходит при помощи режущих струн 5 при извлечении устройства из почвенного разреза. Для взятия образца пробоотборник внедряют в стенку заранее выполненной почвенной скважины, в результате чего почва заполняет объем контейнера 2. При дальнейшем вдавливании фланец 6, опираясь на штифты 8, смещает контейнер к толкателю 4, сжимая пружину 7, освобождает режущие струны 5 из проточки в корпусе. При извлечении пробоотборника струны автоматически натягиваются, производя срез образца.

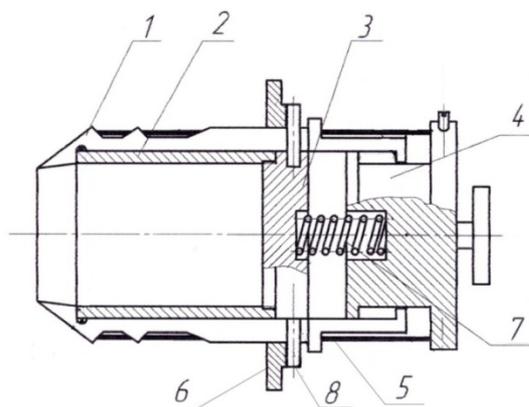


Рис. 1. Почвенный пробоотборник

Данное устройство удобно в эксплуатации, обеспечивает монолитность взятых образцов почвы. Использование устройства позволяет снизить трудоемкость отбора проб, т.к. подрезание заключенного в пробоотборнике образца происходит автоматически при заполнении контейнера за счет извлечения устройства из почвенной скважины.

Однако недостатком последнего устройства, а также всех рассмотренных аналогов является то, что для определения физико-химических свойств (влажности, химического состава и др.) пробу почвы необходимо извлекать из устройства.

Для исключения указанного недостатка предлагается усовершенствовать конструкцию почвенного пробоотборника.

С этой целью на кафедре «Электрификация и автоматизация АПК» ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА был предложен и изготовлен почвенный пробоотборник, позволяющий определять физико-химические свойства одновременно с взятием пробы почвы с ненарушенной структурой.

Использование предлагаемой конструкции по сравнению с рассмотренными аналогами не только позволит отбирать образцы почвы без нарушения их монолитности, но и позволит повысить производительность при взятии проб почвы и оценке их свойств. С этой целью на пробоотборнике установлен электрод с возможностью подсоединения к электроизмерительному прибору. По измеренным электрическим

показателям можно косвенно определить некоторые другие свойства почвы, например, влажность почвы, т.к. они могут находиться в тесной зависимости.

Разработанный пробоотборник состоит из разборного корпуса 1 (рис. 2), составленного из двух половинок, стыкующихся по диаметральной плоскости разъема 2, и установленного в нем контейнера 3 для почвенного образца. Контейнер опирается передним торцом на внутреннее заплешико 4 корпуса. На заднем торце контейнера 3 закреплена на резьбе крышка 5, на которой закреплены радиальные штифты 6, пропущенные наружу через продольные пазы 7 корпуса. На корпусе также установлен съемный фланец 8, примыкающий задней поверхностью к штифтам, и толкатель 9, между ним и крышкой установлена пружина 10. На выступающем относительно корпуса конце толкателя выполнено наружное заплешико 11, имеющее относительно торца разборного корпуса интервал, меньше интервала между толкателем и крышкой. Напротив переднего окончания контейнера на внутренней поверхности корпуса выполнена кольцевая проточка 12, в которой уложены две режущие струны 13, по одной на каждую половинку разборного корпуса, выведенные наружу относительно последнего через две пары противоположащих друг относительно друга отверстий 14. Одна пара отверстий выполнена на одной половинке разборного корпуса, а другая – на другой его половинке, причем отверстия образуют относительно плоскости разъема 2 миллиметровые перемычки, а режущие струны 13 закреплены на наружном заплешике 11 винтами 17.

Для совмещения операций взятия проб почвы и определения ее физико-химических свойств, например, влажности, без предварительного извлечения пробы почвы из устройства, в пробоотборнике установлен электрод 18. Электрод установлен относительно корпуса неподвижно, с зазором относительно крышки контейнера и электрически изолирован от корпуса и крышки текстолитовыми втулками 19 и 20, с возможностью подключения к электроизмерительному устройству. Вторым электродом при измерениях служит корпус пробоотборника.

Устройство работает следующим образом. Для взятия образца почвы разборный корпус 1 пробоотборника внедряют в стенку почвенного разреза или скважины при помощи разработанного авторами устройства [7], состоящего из четырехзвенного винтового механизма с закрепленной на нем трубой и упором. На одном из шарниров механизма на плиту устанавливается пробоотборник со сменным стаканом. Вращением рукоятки раздвигают механизм, и после того, как упор упрется в стенку скважины, пробоотборник начнет вдавливаться в противоположную стенку, вырезая объем почвы.

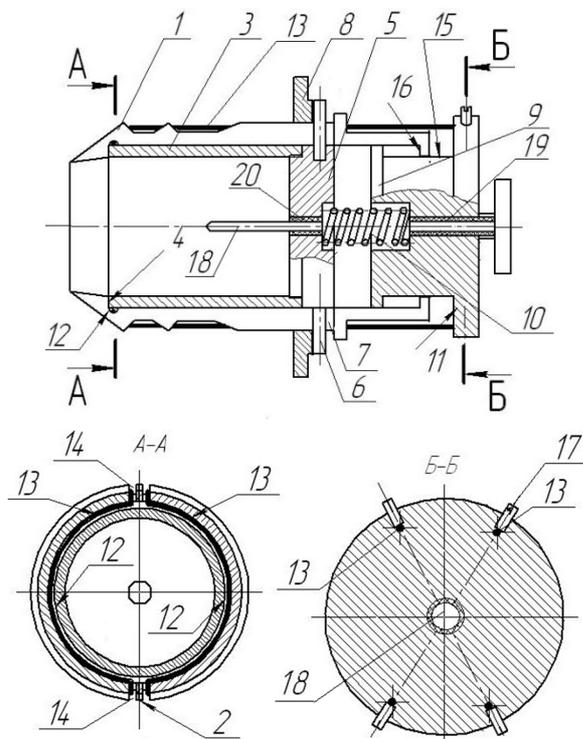


Рис. 2. Схема почвенного пробоотборника

При внедрении в стенку корпуса пробоотборника почва заполняет контейнер 3, а затем фланец 8 опирается передней поверхностью на стенку скважины. При дальнейшем вдавливании разборного корпуса 1 в почву фланец 8, опираясь задней поверхностью на радиальные штифты 6, смещает к толкателю 9

контейнер 3, который, сжимая пружину 10, смещается за проточку 12. Извлекают пробоотборник из скважины за толкатель 9, в результате чего толкатель смещается назад в разборном корпусе, и режущие струны 13 натягиваются, выходя из проточки 12, и производят срез образца почвы вдоль основания контейнера (оставляя несущественный недорез почвы между режущими струнами). При этом одновременно производят определение физико-химических свойств пробы почвы электроизмерительным прибором.

Пробоотборник извлекают из скважины вращением рукоятки приводного механизма в обратную сторону, устанавливают на подставку и фланец 8, снимают с разборного корпуса, половинки которого отклоняются друг от друга и фиксируются в таком положении за счет натяжения струн 13, удерживаемых в отверстиях 14 миллиметровыми перемычками между этими отверстиями и плоскостью разъема 2. Такое положение половинок разборного корпуса обеспечивает извлечение контейнера с образцом почвы и удобство установки сменных контейнеров при последующем отборе проб.

Материалы и методы исследований. Для оценки работоспособности пробоотборника на кафедре «Электрификация и автоматизация АПК» ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА были проведены лабораторно-полевые испытания. В лабораторных исследованиях определяли влажность образцов в сравнении с традиционным весовым методом. Для определения влажности пробоотборник работает по принципу двухэлектродной установки: в качестве электродов используются электрод устройства и его корпус, изолированные друг от друга диэлектриком и подключенные к источнику тока и электроизмерительному прибору. В качестве источников электрического тока использовались выпрямитель постоянного тока и генератор частоты тока ГЗ-102, выдающий синусоидальный сигнал частотами 14-200000 Гц. Данные экспериментов получали с помощью микроамперметра и цифрового мультиметра MASTECH MAS 830. Образец почвы, взятый для лабораторных исследований, просеивался через сито с отверстиями диаметром 5 мм. После просеивания определялась исходная влажность почвы методом сушки в сушильном шкафу. Затем моделировалась необходимая влажность почвы (14-35 %). Частоту питающего тока задавали 0,1; 1; 10; 20; 50; 100; 150 и 200 кГц. В зависимости от этих параметров определяли падение напряжения в электрической цепи. Для проверки возможности получения образцов ненарушенной структуры пробоотборником отбирали пробы почвы в полевых условиях из почвенной скважины и затем визуально определяли ровность образца по срезу, а также объем полученных образцов.

Результаты исследований. На основании полевых испытаний разработанного пробоотборника установлено, что срезание заполненного образца режущими струнами происходит четко, образцы почвы получаются монолитные, ненарушенной структуры, срез образца ровный (рис. 3). Средний объем образцов в 20-ти повторностях составил $124 \pm 3 \text{ см}^3$ (конструктивный объем контейнера для образцов – 125 см^3).

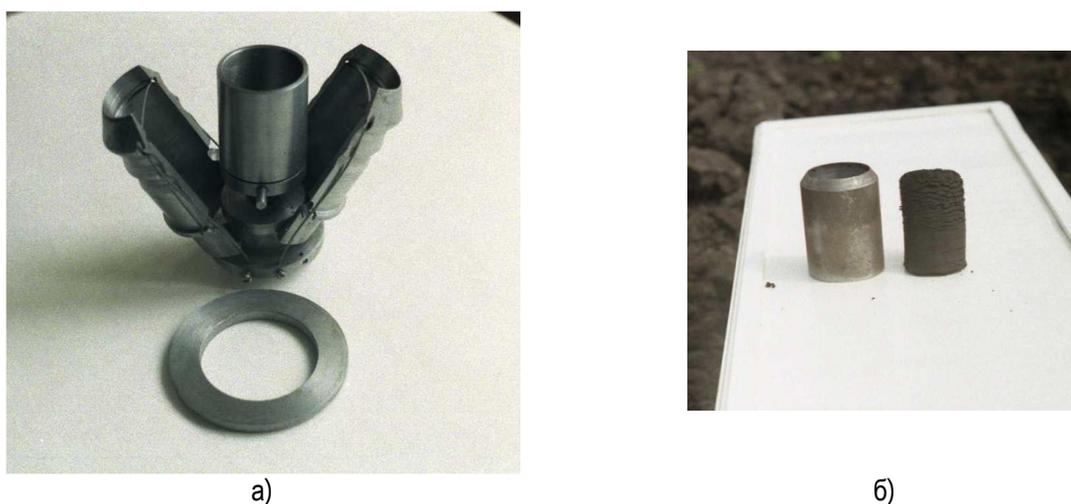


Рис. 3. Модель почвенного пробоотборника (а) и полученный образец (б)

По результатам лабораторных испытаний установлена взаимосвязь между электрическим показателем (падением напряжения) и влажностью почвы при различных частотах питающего тока. Результаты представлены на рисунке 4.

Из полученных графиков видно, что наиболее выраженная зависимость (с меньшим разбросом значений) наблюдается на частотах питающего тока 100-200 кГц. Таким образом, используя полученные зависимости, и проведя соответствующую тарировку электроизмерительного прибора, можно с достаточной точностью определить влажность почвы разработанным устройством.

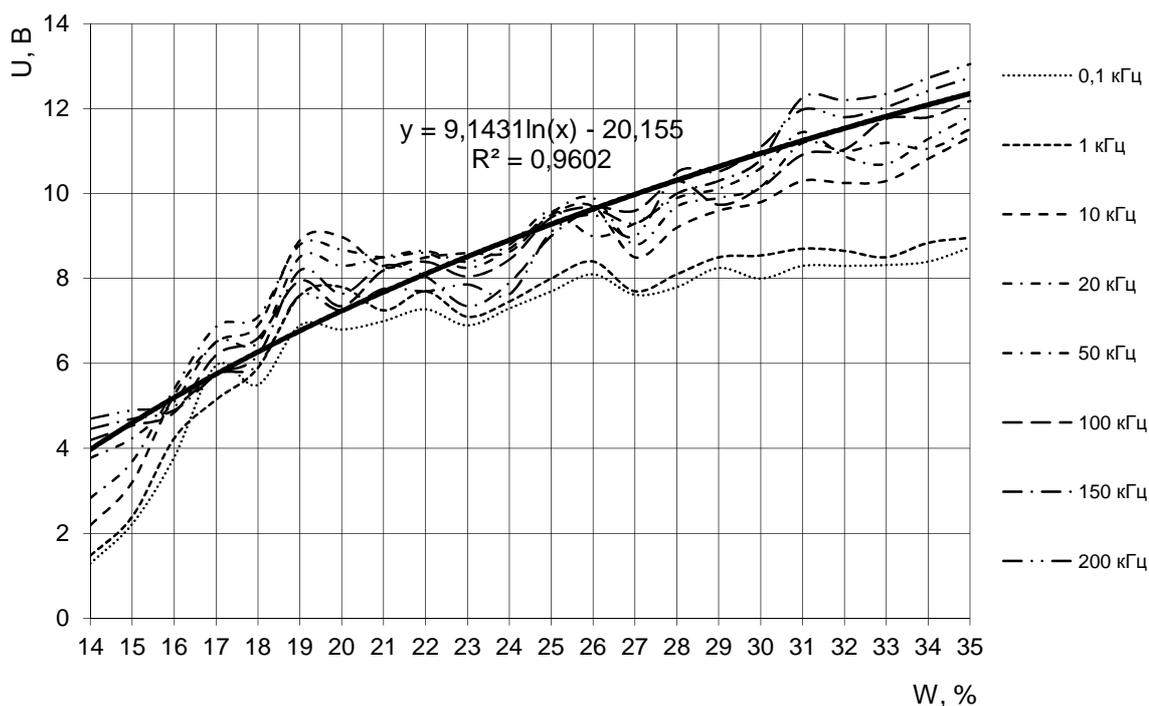


Рис. 4. Зависимость падения напряжения U от влажности W при различной частоте тока

Заключение. Использование предлагаемого пробоотборника по сравнению с рассмотренными аналогами не только позволит отбирать образцы почвы ненарушенной структуры, но и позволит повысить производительность при взятии проб почвы и оценке их свойств. По результатам лабораторно-полевых испытаний предлагаемого пробоотборника установлено, что он работоспособен, позволяет получать образцы почвы с ненарушенной структурой объемом 125 см^3 , может использоваться для определения объемного веса, а также непосредственного определения физико-химических свойств, например влажности, по электрическим показателям, используя в качестве питающего сигнала ток частотой 100-200 кГц.

Библиографический список

1. Отбор почвенных проб и их анализ в точном земледелии [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mcx.ru/news/news/show/36322.htm> (дата обращения: 15.05.2015).
2. Пат. №2525080 Российская Федерация, МПК E02D1/04, G01N1/04. Устройство для отбора почвы / Н. И. Богатырев, В. И. Терпелец, Н. С. Баракин [и др.]. – №2013130569/03 ; заявл. 03.07.2013 ; опубл. 10.08.2014, Бюл. №22. – 5 с.
3. Пат. №2534139 Российская Федерация, МПК G01N1/04, G01N1/08. Устройство для отбора проб почвы / А. В. Шевцов, С. А. Отрошко, А. А. Зотов [и др.]. – №2013112901/05 ; заявл. 25.03.2013 ; опубл. 27.11.2014, Бюл. №33. – 4 с.
4. Пат. №2348754 Российская Федерация, МПК E02D1/04, G01N1/04. Почвенный бур-пробоотборник / С. С. Нугманов, Ю. В. Ларионов, А. В. Иваськевич. – №2007131670/03 ; заявл. 20.08.2007 ; опубл. 10.03.2009, Бюл. №7. – 8 с.
5. Иваськевич, А. В. Экспериментальное обоснование параметров почвенного пробоотборника / А. В. Иваськевич, С. С. Нугманов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – №3. – С. 39-42.
6. Нугманов, С. С. Новые устройства для агрооценки почвы / С. С. Нугманов, С. И. Васильев, А. В. Иваськевич [и др.] // Сельский механизатор. – 2011. – №11. – С. 10-11.
7. Гриднева, Т. С. Результаты сравнительных полевых испытаний устройства для отбора проб почвы / Т. С. Гриднева, С. С. Нугманов // Наука и образование: инновации, интеграция и развитие : мат. II Международной науч.-практич. конф. – Уфа : РИО ИЦИПТ, 2015. – №1(2). – С. 118-120.

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

УДК 620.179.12

ОБОСНОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРАКТОРНОЙ ГИДРОНАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ

Володько Олег Станиславович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: volodko-75@mail.ru

Молофеев Максим Валерьевич, аспирант кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: max19899891@yandex.ru

Бухвалов Артем Сергеевич, канд. техн. наук, инженер учебно-научно-исследовательской лаборатории «Повышение надежности и эффективности механических систем», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: fleischwolf@list.ru

Бажутов Денис Николаевич, инженер учебно-научно-исследовательской лаборатории «Повышение надежности и эффективности механических систем», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: bazhutov@yandex.ru

Ключевые слова: гидросистема, критерий, присадка, износ, ресурс.

Цель исследований – обосновать рациональные диагностические критерии оценки работоспособности тракторной гидронавесной системы, учитывая особенности её основных элементов. Исходя из цели исследований были поставлены следующие задачи: аналитически оценить рациональные критерии и методы повышения работоспособности отдельных элементов гидронавесных систем и установить их взаимосвязь; методологически определить направление экспериментальной оценки диагностических критериев работоспособности гидросистемы с учетом улучшения трибологических параметров сопряжений в основных элементах системы. Обоснованы рациональные критерии оценки работоспособности элементов гидронавесной системы трактора МТЗ-1221.2. Установлено, что перспективным направлением повышения ресурса основных элементов тракторной гидронавесной системы является использование и центробежная очистка альтернативной растительно-минеральной смазочной композиции (РМСК) с комплексом присадок. Для оценки антифрикционных свойств РМСК проведены лабораторные исследования влияния графита (d , C) как антифрикционной присадки на изменение диаметра пятна износа на четырехшариковой машине трения МАСТ-1. В результате обработки результатов исследований получено уравнение регрессии и построена поверхность отклика, характеризующая влияния концентрации C и диаметра частиц d графита на изменение диаметра пятна износа D_i . Определены рациональные значения концентрации $C = 0,75\%$ по массе и размера частиц $d = 10-30$ мкм графита в составе смазочной композиции. Поисковыми исследованиями установлено повышение ресурса сопряжений основных элементов тракторной гидронавесной системы до 15-20% при использовании альтернативной РМСК на основе рапсового масла в комплексе с дозатором присадки

при соответствующем снижении экологической загрязненности почвы. Обоснована методология выбора основных диагностических критериев гидронавесной системы.

Работоспособность тракторной гидронавесной системы основана на её надежности или, по ГОСТ 27.002-89, свойстве объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Данное свойство обосновывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении, поддерживается в процессе эксплуатации и восстанавливается при ремонте машины, как технической системы в период её жизненного цикла.

В этот период можно выделить три вида источников воздействий энергетического характера, влияющих на техническое состояние системы:

- внутренние источники энергии, связанные с рабочими процессами, протекающими в системе и сопряжениях деталей;
- действие энергии окружающей среды (внешние условия эксплуатации, включая операторов по управлению, техническому обслуживанию и ремонту системы);
- потенциальную энергию элементов системы конструктивно-технологического характера, обеспечивающую достаточный уровень работоспособности технической системы.

Для ремонтируемых и неремонтируемых элементов, как правило, устанавливаются предельные состояния как отдельных элементов, так и технической системы в целом. Эти предельные состояния оцениваются диагностическими критериями работоспособности системы.

Актуальность исследования методов оценки уровня работоспособности гидронавесных систем тракторов сельскохозяйственного назначения обусловлена расширением функций гидросистем, повышением нагрузочных и скоростных режимов работы, а также разнообразием и постоянным конструктивным совершенствованием основных элементов. Важное практическое значение имеет обоснование рациональных путей повышения работоспособности гидронавесных систем улучшением трибологических параметров поверхностей трения ресурсопределяющих сопряжений [1, 2].

Цель исследований – обосновать рациональные диагностические критерии оценки работоспособности тракторной гидронавесной системы, учитывающие особенности её основных элементов.

Задачи исследований – аналитически оценить рациональные критерии и методы повышения работоспособности отдельных элементов гидронавесных систем и установить их взаимосвязь; методологически определить направление экспериментальной оценки диагностических критериев работоспособности гидросистемы с учетом улучшения трибологических параметров сопряжений в основных элементах системы.

Материалы и методы исследований. Для выбора и обоснования рациональных критериев, необходимых и достаточных для оценки работоспособности, была выбрана гидронавесная система трактора МТЗ-1221.2 Минского тракторного завода, включающая характерные функциональные элементы (рис. 1).

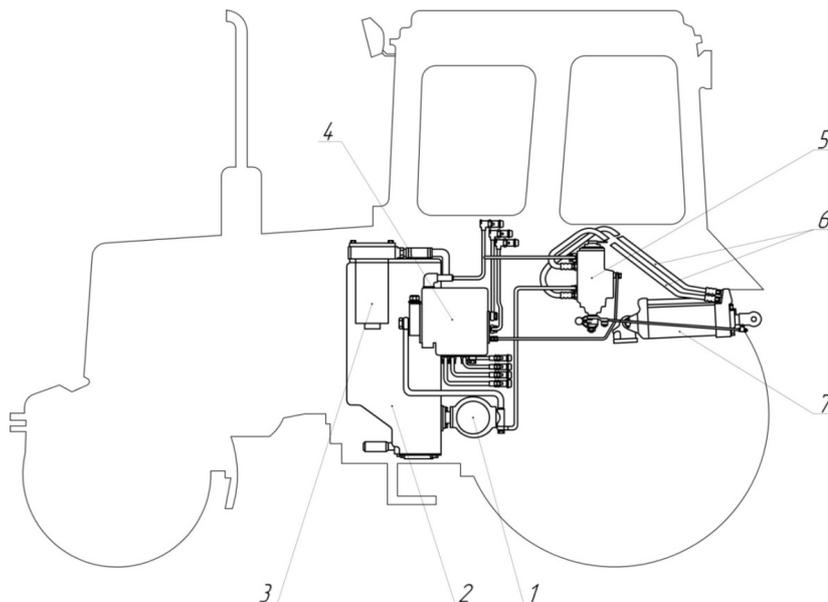


Рис. 1. Характерные функциональные элементы гидронавесной системы трактора МТЗ-1221.2:

- 1 – масляный насос; 2 – маслобак; 3 – масляный фильтр; 4 – гидрораспределитель;
5 – силовой регулятор; 6 – соединительные шланги; 7 – гидроцилиндр

Работоспособность каждого из элементов гидронавесной системы в процессе эксплуатации характеризуется следующими приведенными критериями:

K_M – критерий рабочей жидкости гидронавесной системы, выполняющей одновременно функцию смазочного материала для обеспечения повышения ресурса узлов и сопряжений системы;

K_H – критерий насосных элементов гидросистемы, обеспечивающих поддержание необходимого рабочего давления в системе, оцениваемых таким показателем как коэффициент объемной подачи, выступающим критерием работоспособности [3];

K_P – критерий распределительно-регулирующих элементов, выполняющих функцию управления в гидросистеме гидравлическими потоками при помощи внешнего воздействия;

K_C – критерий силовых элементов гидравлической системы, обеспечивающих преобразование энергии потока гидравлической рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена;

$K_{Ш}$ – критерий соединительных элементов системы, обеспечивающих гидравлическую взаимосвязь всех составляющих тракторной гидросистемы.

Диагностический обобщенный критерий оценки работоспособности тракторной гидронавесной системы $K_{ГС}$ включает сумму всех приведенных критериев её элементов:

$$K_{ГС} = K_M \cdot b_M + K_H \cdot b_H + K_P \cdot b_P + K_C \cdot b_C + K_{Ш} \cdot b_{Ш}, \quad (1)$$

где $K_M, K_H, K_P, K_C, K_{Ш}$ – приведенные критерии оценки работоспособности элементов гидросистемы;

$b_M, b_H, b_P, b_C, b_{Ш}$ – коэффициенты уровня значимости каждого из приведенных критериев соответствующих элементов системы.

Методическое и экспериментальное обоснование диагностического обобщенного критерия работоспособности тракторной гидронавесной системы $K_{ГС}$ является перспективной задачей научных исследований в создании широкой базы экспериментальных данных особенностей и взаимосвязи приведенных критериев основных элементов системы. При этом выделяются две характерные группы приведенных критериев.

Диагностической основой критериев силовых K_C и соединительных $K_{Ш}$ является работоспособность корпусных деталей, манжет, сальников и других соединительных и уплотнительных средств. Уровень их значимости определяется своевременной заменой сменных деталей.

В основе работоспособности рабочей жидкости K_M , насосных K_H и распределительных K_P элементов лежат триботехнические процессы (трение, смазывание и изнашивание ресурсопределяющих деталей).

Уровень значимости критериев K_H и K_P определяется скоростью изнашивания рабочих поверхностей трения, что влияет на диагностический характер показателей данных элементов системы, где главным является изменение рабочего давления жидкости на разных участках системы.

Уровень значимости критерия K_M может быть оценен таким трибологическим параметром как диаметр пятна износа $D_{и}$, определяемый на машинах трения. Иными словами, приведенный критерий рабочей жидкости характеризуется напряженностью эксплуатационных условий и интенсивностью изменения ее физико-химических и трибологических свойств.

Рациональный уровень критерия K_M гидравлической рабочей жидкости в значительной мере определяется её трибологическими свойствами, характеризующими взаимосвязь критериев K_M, K_H, K_P . В гидравлических системах сельскохозяйственных тракторов масло выполняет не только роль смазочной среды в трибосопряжениях, но и роль рабочей жидкости, т.е. бифункциональную роль в работе гидросистемы. Это повышает требования к физико-химическим и трибологическим свойствам масел в аспекте улучшения параметров надежности и работоспособности гидравлической системы [4, 5].

Перспективными в данном направлении являются использование и центробежная очистка альтернативной растительно-минеральной смазочной композиции (РМСК) на основе рапсового масла с комплексом присадок [6, 7, 8].

Для расчёта практического использования обобщенного критерия работоспособности тракторной гидросистемы при её диагностике в процессе работы трактора необходимо преобразовать уравнение (1) в следующую зависимость:

$$K_{ГС} = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{D_{и0}}{D_{и}} + \frac{V_H \cdot P_O}{V_{HO} \cdot P_H} + \frac{V_P \cdot P_H}{V_{PO} \cdot P_P} + \frac{P_P}{P_{Ш}} + \frac{P_{Ш}}{P_C} \right], \quad (2)$$

где $D_{и0}$ и $D_{и}$ – начальное и текущее значения диаметра пятна износа на машине трения;

V_{HO}, V_{PO}, V_H, V_P – начальные и текущие скорости изнашивания деталей насоса и распределителя по содержанию продуктов износа в рабочей жидкости соответственно;

P_O – начальное значение давления масла на разных участках гидросистемы.

$P_H, P_P, P_{Ш}, P_C$ – текущие значения давления масла на разных участках гидросистемы;

n – число диагностируемых элементов системы.

Начальные значения параметров принимаются по технической характеристике тракторной гидросистемы и трибологическим свойствам рабочей жидкости.

В связи с преобладанием трения скольжения в сопряжениях основных элементов гидронавесной системы целесообразно добавление графита в качестве присадки к РМСК при эксплуатации гидронавесной системы. Данная проблема решается установкой специальных графитовых щёток на роторе центробежного очистителя, прижимаемых к колпаку центробежными силами.

На рисунке 2 представлен горизонтальный разрез центробежного масляного фильтра с расположением графитовых щеток 1 на наружной поверхности крышки 4 ротора 3, закреплённых при помощи винтов 5.

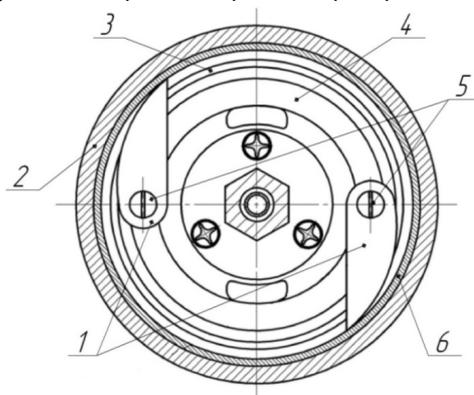


Рис. 2. Центробежный масляный фильтр с дозатором присадки:
1 – графитовые щетки; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – крышка; 5 – винты; 6 – колпак

Для оценки антифрикционных свойств РМСК как альтернативной рабочей жидкости гидравлической системы был произведён анализ влияния концентрации и размера частиц графита на изменение диаметра пятна износа $D_{и}$ на четырехшариковой машине трения МАСТ-1.

Исследования проводились согласно методике полного факторного эксперимента 3^2 . При проведении испытаний параметром оптимизации был диаметр пятна износа шариков $D_{и}$, а двумя входными регулирующими факторами – диаметр частиц графита d и его концентрация по массе C , соответственно.

Для обработки результатов исследований использовались программы MathCad 15.0 и Statistica 12.0.

Факторы, интервалы и уровни их варьирования на основном, нижнем и верхнем уровнях представлены в таблице 1.

Результаты исследований. При анализе процесса добавления графита в РМСК после проведения расчетов с доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$ получено уравнение регрессии в следующем виде:

$$D_{и} = 1,2226 - 0,4068 \cdot d - 0,0127 \cdot C + 0,22 \cdot d^2 + 0,0002 \cdot C^2, \quad (3)$$

где $D_{и}$ – диаметр пятна износа, мм;

d – диаметр частиц графита, мкм;

C – концентрация графита, %.

Таблица 1

Интервалы, факторы и уровни варьирования

Интервалы и уровни варьирования	Факторы	
	диаметр частиц графита x_1 , мкм	концентрация графита x_2 , %
Нижний уровень, $X_i = -1$	10	0,2
Основной уровень, $X_i = 0$	30	0,6
Верхний уровень, $X_i = 1$	50	1,0
Интервал варьирования, l_i	20	0,4

В результате обработки полученных данных построена поверхность отклика, показывающая изменение диаметра пятна износа в зависимости от диаметра частиц графита и его концентрации (рис. 3).

Исходя из экспериментальных данных, установлено, что рациональная концентрация графита составляет $C = 0,75$ % по массе, а минимальный диаметра пятна износа $D_{и}$ при такой концентрации обеспечивается частицами диаметром $d = 30$ мкм. Дальнейшее повышение концентрации C в рапсовом масле не оказывает значительного влияния на уменьшение диаметра пятна износа. С учетом рекомендаций [6] разработан рациональный состав РМСК в качестве рабочей жидкости: 92,35% рапсового масла + 3,7% присадки ДФ-11 + 3,2% присадки ЭФО + 0,75% мелкодисперсного графита.

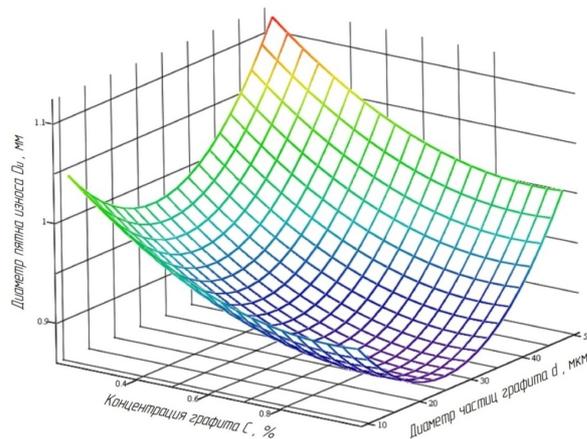


Рис. 3. Поверхность отклика, характеризующая влияние концентрации C и диаметра частиц d графита на диаметр пятна износа $D_{и}$

Проведенный анализ изменения показателей работы отдельных элементов гидронавесной системы позволил определить рациональные критерии работоспособности и оценки технической характеристики системы:

- диаметр пятна износа $D_{и}$ для оценки трибологических свойств рабочей жидкости, как критерий её работоспособности;
- скорость изнашивания деталей гидросистемы;
- содержание продуктов изнашивания в рабочей жидкости;
- коэффициент объёмной подачи, время повышения и падения давления, утечки рабочей жидкости с учетом типов и характеристик основных насосных и распределительно-регулирующих элементов, характеризующих изменение давления рабочей жидкости на разных участках гидросистемы;
- время подъема подъемного механизма с установленной нагрузкой, время оседания нагрузки и ограничительного клапана цилиндра.

Заключение. Поисковыми лабораторными и стендовыми исследованиями установлено повышение ресурса сопряжений основных элементов гидросистемы до 15-20% при использовании альтернативной РМСК на основе рапсового масла в комплексе с дозатором присадки при соответствующем снижении экологической загрязненности почвы. Определены рациональные значения концентрации $C = 0,75\%$ по массе и размера частиц $d = 10-30$ мкм графита в составе смазочной композиции и возможность снижения скорости изнашивания деталей в 1,2-1,4 раза.

Анализ изменения показателей гидросистемы, характеризующих диагностический критерий её работоспособности при работе в течении 1000 моточасов до замены рабочей жидкости, свидетельствует об их незначительном (2,0-9,1%) отклонении от технических требований. Расчетное значение приведенного критерия работоспособности по формуле (2) составило $K_{ГС} = 0,92$ при допустимом его значении 0,35-0,40 с учетом предельных характеристик системы.

Взаимосвязь критериев отдельных основных элементов гидронавесной системы является методической основой для дальнейших исследований и создания базы экспериментальных данных, обеспечивающих оценку уровня значимости отдельных составляющих и обобщенного диагностического критерия с учетом особенностей конструкции и режимов эксплуатации тракторной гидросистемы.

Библиографический список

1. Медеяев, И. А. Повышение работоспособности узлов трения агрегатов гидравлических систем транспортной техники : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02, 05.02.04 / Медеяев Игорь Алексеевич. – М., 2011. – 482 с.
2. Стефанов, В. А. Повышение долговечности гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта путем интенсификации формирования смазочного слоя : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Стефанов Владимир Александрович. – Харьков : УкрДАЗТ, 2013. – 20 с.
3. Лавров, С. В. Повышение работоспособности шестеренных насосов гидравлических систем сельскохозяйственной техники путем применения антифрикционных добавок в рабочую жидкость : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Лавров Сергей Васильевич. – СПб., 2004. – 154 с.
4. Мышкин, Н. К. Трение, смазка и износ. Физические основы и технические приложения трибологии / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.

5. Пучков, В. Н. Исследование влияния добавок наноструктурированных материалов на трибологические свойства смазочных масел / В. Н. Пучков, П. П. Заскалько // Трение и смазка в машинах и механизмах. – М. : Машиностроение 2010. – №11. – С. 25-30.

6. Улучшение уровня очистки и трибологических свойств рабочих жидкостей при эксплуатации тракторных гидросистем : отчет о НИР / ВНИЦентр ; исполн. : Ленивец Г. А., Володько О. С., Молофеев М. В. [и др.]. – М. : ВНИПИОАСУ, 2012. – 137 с. – № ГР 01.201062609. – Инв. № 02.201352396.

7. Приказчиков, М. С. Повышение ресурса гидроподжимных муфт коробок передач с гидроуправлением улучшением режима трения фрикционных дисков : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Приказчиков Максим Сергеевич. – Пенза, 2013. – 197 с.

8. Молофеев, М. В. Повышение работоспособности тракторных гидросистем улучшением состояния рабочей жидкости // Эксплуатация автотракторной техники : опыт, проблемы, инновации, перспективы : сб. статей. – Пенза : МНИЦ ПГСХА, 2013. – С. 69-73.

УДК 631.171

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НАГРУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ТИПА «МАШИНА ПОСТОЯННОГО ТОКА – ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЙ МОЩНЫХ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Иншаков Александр Павлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: kafedra_mes@mail.ru

Байков Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры «Электроника и наноэлектроника», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: bdv2304@mail.ru

Кувшинов Алексей Николаевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: mesmgu@mail.ru

Курбаков Иван Иванович, канд. техн. наук, преподаватель кафедры «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: ivankurbakov@mail.ru

Ключевые слова: дизельный, двигатель, испытательный, стенд, тиристорный, преобразователь, машина.

Цель исследований – повышение надежности нагружающего устройства типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь» при проведении обкатки и испытаний мощных автотракторных двигателей. Для достижения поставленной цели были разработаны способ и устройство для защиты и диагностики последовательно соединенных тиристоров. В данном способе в качестве защитного воздействия прекращают подачу управляющих импульсов и осуществляют контроль состояния тиристоров по обратному напряжению и рабочей температуре охладителей вентиля. Осуществляют контроль исправности линий связи с системой импульсно-фазового управления по обратному отклику, производят измерение распределения обратного напряжения в каждом такте работы вентиляльных групп. При превышении предельно допустимой температуры тиристоров или снижении номинального значения распределения обратного напряжения, или обрыве связи с СИФУ производят защитное воздействие путем снятия импульсов со всех тиристорных групп и отключением тиристорного преобразователя от сети. Затем, с помощью произведенного анализа измеренных распределений обратного напряжения и рабочей температуре на тиристоре, предупреждают об аварийном отказе тиристорного вентиля из-за деградации его характеристик. Благодаря этому, предложенное устройство и способ позволяют улучшить диагностические и защитные свойства тиристорного преобразователя, что, несомненно, ведет к повышению надежности нагружающего устройства типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь», следовательно, всего обкаточно-тормозного стенда.

Современный этап развития техники вызывает потребность в появлении высокоэффективных, долговечных и надежных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и дизелях [1]. Стендовые испытания являются важной составной частью процесса разработки, изготовления и ремонта ДВС и дизелей [2, 3]. Поэтому, в связи с повышением требований к качественным и количественным свойствам ДВС, роль таких испытаний постоянно растет.

Основным узлом испытательных стендов является нагружающее устройство (НУ), обеспечивающее имитацию различных режимов работы двигателей. На моторостроительных и ремонтных предприятиях страны применяются самые различные НУ [4, 5, 6]. Экономические и технические требования, предъявляемые к ним, определяются не только уровнем качества изготовления ДВС, но и направлением развития энергоэффективности в стране, а также повсеместной автоматизацией процесса испытаний и экономией энергетических ресурсов.

Важным, но слабо освещенным вопросом, является аварийная защита испытательных стендов, которая должна быть предусмотрена: от превышения крутящего момента на валу ДВС; от падения давления в системе смазки ниже допустимого; от превышения температуры масла в системе смазки двигателя; от превышения температуры воды в системе охлаждения; от неполадок в регуляторе топливного насоса; от пропадания сетевого напряжения; от перегрева электрической машины.

Неправильное срабатывание защиты может привести к потере ДВС или выходу из строя НУ, поэтому необходимо учитывать особенность конструкции испытательного стенда. В связи с этим моторостроители выдвигают еще ряд требований относительно надежности и исполнения отдельных узлов НУ и его элементов.

Послеремонтная обкатка мощных двигателей типа ЯМЗ-8424.10.06, ЯМЗ-850.10-01 и др. требует особого внимания к надежности обкаточно-тормозного стенда (ОТС), а точнее к защитным и диагностическим функциям НУ, так как стоимость таких агрегатов очень высока и поломка может привести к существенной потере ремонтного времени и денежных средств.

Структурная схема типового ОТС, на котором может производиться обкатка и испытания таких двигателей, представлена на рисунке 1.

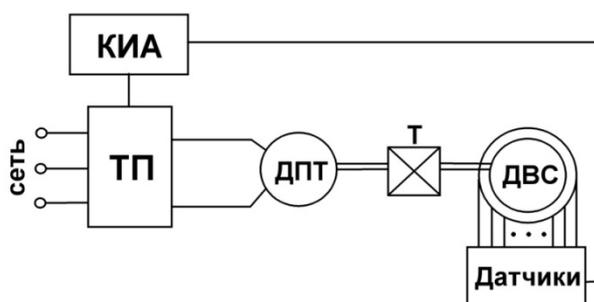


Рис. 1. Структурная схема ОТС с НУ типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь»

ОТС с НУ типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь» включает в себя: ДПТ – двигатель постоянного тока; ТП – тиристорный преобразователь; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; Т – трансмиссия; КИА – контрольно-измерительная аппаратура на базе персонального компьютера.

Трехфазный тиристорный преобразователь (ТП) является самой дорогой и трудно ремонтируемой частью данных стендов, поэтому его защита имеет первостепенное значение, как для фирм разработчиков, так и для ремонтных предприятий, где он используется.

Для увеличения мощности ТП часто приходится использовать последовательное соединение тиристоров, что увеличивает шансы выхода из строя одного из них, поэтому для повышения надежности как ТП, так и стенда в целом, необходимо внедрять новые защитные и диагностические функции контроля состояния тиристоров.

Многие из существующих способов и устройств контроля состояния последовательно соединенных тиристоров характеризуются определенными недостатками: отсутствие гальванической развязки устройства управления от силовой части ТП со стороны датчиков проводящего состояния тиристоров, что влечет к снижению надежности работы устройства; в случае пробоя одного из тиристоров распределение напряжения на других тиристорах изменится, и к n-1 тиристорам будет приложено повышенное обратное напряжение, которое вызовет лавинообразный пробой оставшихся вентилялей, что в последующем приведет к выходу из строя ТП; несинхронное снятие импульсов управления, что приводит к повышению коммутационных перенапряжений на последовательно соединенных тиристорных группах преобразователя, что влечет к снижению срока его службы; отсутствие способов предупреждения аварийного отказа тиристора из-за деградации его параметров; отсутствие селективной многоуровневой защиты ТП; отсутствие защитных функций, сигнализирующих о превышении предельно допустимой рабочей температуры каждого тиристора в группе.

Цель исследований – повышение надежности НУ типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь» при проведении обкатки и испытаний мощных автотракторных двигателей.

Задача исследований – разработка способа и устройства для защиты и диагностики последовательно соединенных вентилях в тиристорном преобразователе.

Для устранения недостатков с целью повышения надежности ОТС и НУ авторами были разработаны способ и устройство для защиты и диагностики последовательно соединенных тиристоров [7]. Способ основан на том, что в качестве защитного воздействия прекращают подачу управляющих импульсов и осуществляют контроль состояния тиристоров по обратному напряжению и рабочей температуре охладителей вентилях. Осуществляют контроль исправности линий связи с системой импульсно-фазового управления (СИФУ) по обратному отклику, проводят измерение распределения обратного напряжения в каждом такте работы вентиляхных групп. При превышении предельно допустимой температуры тиристоров или снижении номинального значения распределения обратного напряжения, или обрыве связи с СИФУ производят защитное воздействие путем снятия импульсов со всех тиристорных групп и отключением ТП от сети. Затем, с помощью произведенного анализа измеренных распределений обратного напряжения и рабочей температуре на тиристоре, предупреждают об аварийном отказе тиристорного вентиля из-за деградации его характеристик.

Структурная схема устройства, осуществляющего контроль состояний последовательно включенных тиристоров, показана на рисунке 2.

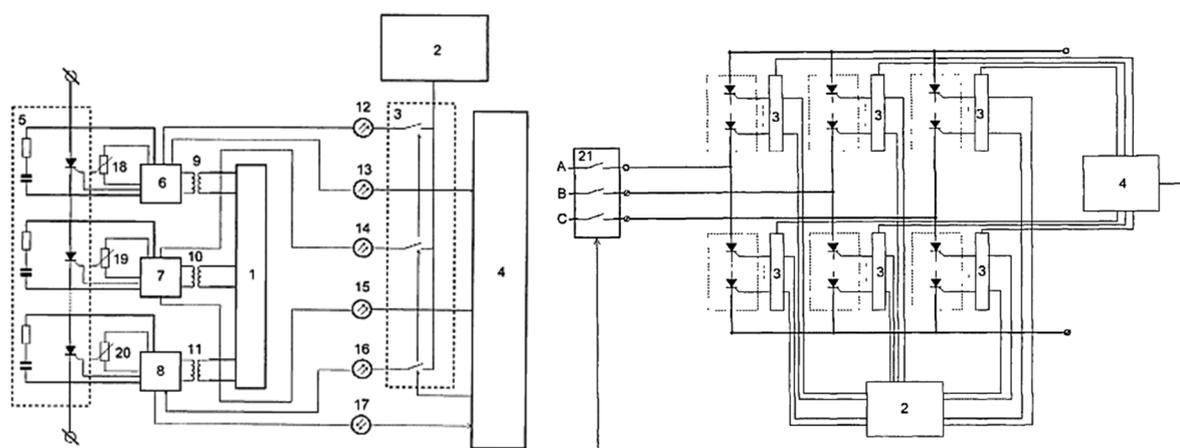


Рис. 2. Структурная схема устройства защиты последовательно соединенных тиристоров:

- 1 – вспомогательный источник питания; 2 – СИФУ; 3 – блок прерывателей импульсов управления;
- 4 – блок общих сигналов групп последовательно включенных тиристоров;

- 5 – блок n-последовательно включенных тиристоров с демпферными RC цепи; 6, 7, 8 – драйверы;
- 9, 10, 11 – малогабаритные высокочастотные трансформаторы; 12, 13, 14, 15, 16, 17 – волоконно-оптические линии связи;
- 18, 19, 20 – терморезисторы; 21 – электромеханический расцепитель

Устройство работает следующим образом: в момент начала работы ТП СИФУ, синхронизированного с питающей сетью, выдает импульс на отпирание вентиляхных групп, который поступает на блок прерывателей импульсов управления. Так как в момент запуска сигнал об аварии, поступающий с блока общих сигналов групп последовательно включенных тиристоров отсутствует, то ключи прерывателей импульсов находятся в замкнутом состоянии и беспрепятственно пропускают сигналы от СИФУ к драйверам. При поступлении расцепленного импульса управления к драйверам осуществляется введение фиксированной задержки в отпирание импульс каждого тиристора группы, тем самым, выделяя время t , необходимое для контроля состояния всех тиристоров, входящих в работу и контроль исправности линий связи на участке: драйвер – прерыватель импульсов – СИФУ. Драйвера также выполняют функцию контроля тиристоров после восстановления запирающих свойств по распределению обратного напряжения и температуры. Блок общих сигналов групп последовательно включенных тиристоров осуществляет работу в два момента времени. В первый момент времени, когда тиристор входит в работу, сигнал отклика со всех драйверов вентиляхной группы отправляется на блок общих сигналов групп последовательно включенных тиристоров, где осуществляется проверка целостности линий связи между драйверами тиристоров и СИФУ. В случае получения ответов, количественно равных n-тиристорам группы, входящий в работу блок общих сигналов групп последовательно включенных тиристоров не предпринимает ни каких действий, и тиристоры группы переходят в проводящее состояние, в противном случае, в отсутствии одного или нескольких подтверждающих ответов от драйверов тиристоров за время $t/2$, блок общих сигналов групп последовательно включенных тиристоров выдает сигнал на отключение блока прерывателей импульсов управления, в результате чего импульсы, поступающие на драйвера,

прерываются, и, так как время задержки выдачи отпирающего импульса на тиристор к данному моменту еще не вышло, все тиристоры группы не будут открыты в этом и последующих тактах, работа ТП будет прекращена. Во второй момент времени тиристоры заканчивают проводить ток и выходят из работы, за время t тиристор должен восстановить запирающие свойства, после чего драйвера осуществляют измерение распределения обратного напряжения по тиристорам группы, и если оно верное, это свидетельствует об исправности полупроводниковых приборов в последовательном включении. Одновременно с измерением обратного напряжения считываются значения температуры охладителя каждого тиристора. При перегреве одного или более тиристоров происходит снятие импульсов со всех вентиляльных групп. В случае недостаточного значения обратного напряжения хотя бы на одном тиристоре группы выдается глобальный сигнал аварии, и срабатывают все блоки прерывателей импульсов управления, прекращая подачу импульсов на все тиристоры преобразователя. В случае неисправности двух и более тиристоров, в дополнение к вышеописанному воздействию, происходит отключение ТП от сети при помощи электромеханического расцепителя, предотвращая лавинообразное развитие аварии, реализуя селективную двухуровневую защиту ТП. Измерение распределения обратного напряжения тиристоров производится в каждом такте работы тиристорных групп. Информация о распределении напряжения и рабочей температуре тиристоров в блоке общих сигналов групп последовательно включенных тиристоров накапливается за несколько тактов работы. Данный блок имеет пороговую функцию и в случае снижения обратного напряжения или превышения рабочей температуры на тиристоре вызывает алгоритм защиты, описанный ранее, а накопленная информация используется для предсказания аварийных отказов.

Функция предсказания реализуется следующим образом: если один или несколько тиристоров с течением срока службы испытывают деградацию параметров или потерю класса, то обратное напряжение на тиристорах последовательной группы будет снижаться. При этом накопленная статистика об общем распределении напряжений, взятых по нескольким временным интервалам работы, будет отражать это изменение, что свидетельствует о возможном ухудшении характеристик как RC цепи демпфера, так и самого тиристора с его последующем пробоем [7].

Заключение. Благодаря измерению температур и обратного напряжения, предложенное устройство и способ позволяют улучшить диагностические и защитные свойства ТП, что, несомненно, влечет к повышению надежности НУ типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь», а, следовательно, и всего обкаточно-тормозного стенда. Кроме того, предложенное техническое решение позволяет оценить эффективность работы системы охлаждения тиристорных блоков и локализовать места с неравномерным или недостаточным отводом тепла, а в дальнейшем и сэкономить ресурс отключений электромеханического расцепителя с помощью селективной двухуровневой защиты. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №15-38-50155.

Библиографический список

1. Данилов, И. К. Повышение эффективности использования ресурса автотракторных двигателей систематизацией эксплуатационно-ремонтного цикла на основе диагностирования : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / Данилов Игорь Кеворкович. – Саратов, 2005. – С. 7-12.
2. Голубцова, И. В. Обкаточный стенд для резервирования электропитания сельскохозяйственных потребителей // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – №1. – С. 70-74.
3. Денисов, В. А. Обобщение результатов ускоренных стендовых испытаний на усталость стальных и чугунных коленчатых валов // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 117. – С. 42-43.
4. Жданко, Д. А. Анализ современных обкаточно-тормозных стендов / Д. А. Жданко, А. В. Новиков // Механизация и электрификация сельского хозяйства / Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Минск, 2007. – Вып. 41. – С. 42-48.
5. Тодарев, В. В. Энергосберегающие электромеханические стенды для испытания двигателей внутреннего сгорания и трансмиссий сельскохозяйственной техники / В. В. Тодарев, М. Н. Погуляев, И. В. Дорошенко // Вестник Гомельского ГТУ им П. О. Сухого. – 2007. – №4. – С. 80-84.
6. Мельников, Г. И. Способы построения энергосберегающих электромеханических стендов для испытания двигателей внутреннего сгорания / Г. И. Мельников, А. О. Коротков // Вестник НТУ. – 2014. – №24 (1067). – С. 56-62.
7. Пат. № 2535290 Российская Федерация, МПК H02H 7/10, МПК H02H 7/12, МПК H02M 1/34. Способ защиты и диагностики последовательно соединенных тиристоров и устройство для его осуществления / Матвеев Д. А., Байков Д. В. – №2013130493/07 ; заявл. 02.07.2013 ; опубл. 10.12.2014, Бюл. №34. – 8 с.

ВИХРЕВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Бирюк Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели», ФГАОУ ВО Самарский ГАУ им. академика С. П. Королева (НИУ).

443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34.

E-mail: teplotex_ssau@bk.ru

Серебряков Рудольф Анатольевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства.

109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, 2

E-mail: ruds@list.ru

Достовалова Софья Сергеевна, аспирант кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели», ФГАОУ ВО Самарский ГАУ им. академика С. П. Королёва (НИУ).

443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34

E-mail: sophiadost@mail.ru

Ключевые слова: теплогенератор, вихревой, эффект, система, отопление, интенсификация, преобразование, энергия.

Цель исследований – создание устройства генерации тепловой энергии экологически чистым способом, характеризующегося улучшенными массогабаритными параметрами и показателями эффективности. Для достижения данной цели была создана установка – «Вихревой гидравлический теплогенератор» (ВГТ). Это устройство вырабатывает тепло за счет изменения физико-механических параметров жидкости при ускоренном и заторможенном движении. Поток ускоряется посредством создания вихря в завихрителе потока теплогенератора и одно-временного сужения в конфузоре, затем затормаживается посредством его расширения в кавитационной трубе теплогенератора и развихрения на выходе из кавитационной трубы. Задача исследования – интенсификация процессов преобразования энергии в вихревом гидравлическом теплогенераторе. Поставленная задача достигалась посредством интенсификации процессов преобразования энергии в вихревом гидравлическом теплогенераторе за счет выполнения корпуса в виде сосуда, расширяющегося от входа ко дну симметрично оси, с продольными цилиндрическими канавками, распределенными равномерно по окружности поперечного сечения корпуса теплогенератора. Для осуществления испытаний были изготовлены экспериментальный стенд и две модели теплогенераторов (с номинальными и улучшенными параметрами). Сравнение результатов их работы показало, что теплогенератор с улучшенными параметрами нагревает воду в системе отопления до температуры на 3-4°С выше, чем теплогенератор с номинальными параметрами. Эффективность теплогенератора увеличена в среднем на 5%. Использование системы отопления на базе вихревого гидравлического теплогенератора с улучшенными параметрами целесообразно для создания компактных и экономичных систем отопления сельскохозяйственных помещений в зимнее время года. Например, для отопления коровников и подогрева пола в яслях для ягнят.

Широкое распространение в промышленности и сельском хозяйстве нашли теплогенераторы, использующие теплоту сгорания традиционных видов топлива, недостатками которых являются высокие финансовые затраты на покупку, транспортировку и хранение энергоносителей, а также негативное воздействие продуктов сгорания на окружающую среду.

В настоящее время в сельском хозяйстве, как и во всех отраслях народного хозяйства, стоит задача широкого внедрения энергосберегающих технологий, которые позволят снизить материальные и энергетические затраты на производство продукции. Перспективным является использование возобновляемых источников энергии.

Вихревая энергетика является одним из видов альтернативной энергетики и представляет собой технологии преобразования энергии закрученных потоков сплошной среды (например, жидкости и газа) в работу, тепловую энергию, градиент давления и температуры [1, 2].

Известные типы генераторов тепла, преобразующих механическую энергию движущихся тел в тепловую имеют ряд недостатков, а именно: большие габариты, конструктивная сложность, низкая эффективность [3, 4, 5].

Цель исследований – создание устройства генерации тепловой энергии экологически чистым способом, характеризующегося улучшенными массогабаритными параметрами и показателями эффективности.

Задача исследований – интенсификация процессов преобразования энергии в вихревом гидравлическом теплогенераторе.

Для достижения поставленной цели в ГНУ ВИЭСХ, совместно со СГАУ, была создана автономная, малогабаритная, экономичная, гибкая в эксплуатации и технически безопасная установка – «Вихревой гидравлический теплогенератор» (ВГТ).

Это устройство вырабатывает тепло за счет изменения физико-механических параметров жидкости при ускоренном и заторможенном движении. Поток ускоряется посредством создания вихря в завихрителе потока теплогенератора и одновременного сужения в конфузоре, затем затормаживается посредством его расширения в кавитационной трубе теплогенератора и развихрения на выходе из кавитационной трубы [6].

ВГТ состоит из системы закрутки на входе, корпуса кавитационной трубы и патрубка для отвода нагретой жидкости с развихрителем. Корпус представляет собой сосуд, расширяющийся осесимметрично от входа ко дну. На окружности поперечного сечения его внутренней поверхности равномерно распределены продольные цилиндрические канавки. Данные особенности корпуса обеспечивают интенсивную циркуляцию рабочего тела внутри него. При этом в канавках вращающимися протяженными вихрями создаются возмущения, взаимодействие которых приводит к усилению трения между слоями жидкости. Таким образом, канавки являются зонами активного торможения и тепловыделения. В результате во вращающемся потоке рабочего тела значительно увеличиваются градиенты изменения скоростей в продольном и поперечном сечении корпуса кавитационной трубы, а также возникает обратный ток рабочего тела в приосевой зоне, которое отводится через систему закрутки на входе и патрубок для отвода нагретой жидкости [7].

На рисунке 1 представлена система теплоснабжения с использованием ВГТ.

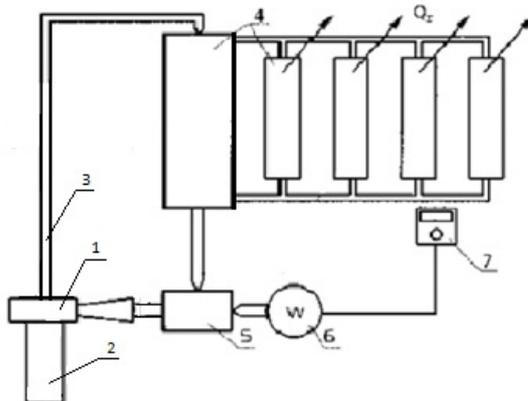


Рис. 1. Схема децентрализованной системы теплоснабжения на базе ВГТ:

1 – система закрутки потока; 2 – кавитационная труба; 3 – развихритель; 4 – теплопередающие устройства; 5 – гидронасос; 6 – электродвигатель; 7 – теплогенератор

Источником тепла служит миниатюрный вихревой теплогенератор (ВГТ), работающий от гидронасоса. Электроэнергия используется только для работы привода гидронасоса системы отопления для подогрева воды, при нагреве отопительной системы до заданной температуры гидронасос отключается (работает автомат контроля заданной температуры воздуха в помещении).

Внешний вид опытной установки тепловой мощностью 0,5-5 кВт представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Вихревой гидравлический теплогенератор

Материалы и методы исследований.

Были спроектированы и изготовлены две модели ВГТ:

- модель с номинальными параметрами – ВГТ_{НОМ};
- модель с минимизированными параметрами – ВГТ_{МИН};



Рис. 3. Модели вихревого гидравлического теплогенератора с номинальными параметрами и минимизированными параметрами

Для проведения испытаний системы отопления с моделями ВГТ был разработан и изготовлен экспериментальный стенд, позволяющий замерять параметры функционирования системы отопления. В его состав входили: бак, радиатор отопления, теплогенераторы (ВГТ_{НОМ} и ВГТ_{МИН}), гидронасос мощностью 1,5 кВт. Расход воды – 24 л (температура 18°C). Температура измерялась пирометром T_c и термопарой $T_ж$.

Функциональная схема стенда представлена на рисунке 4.

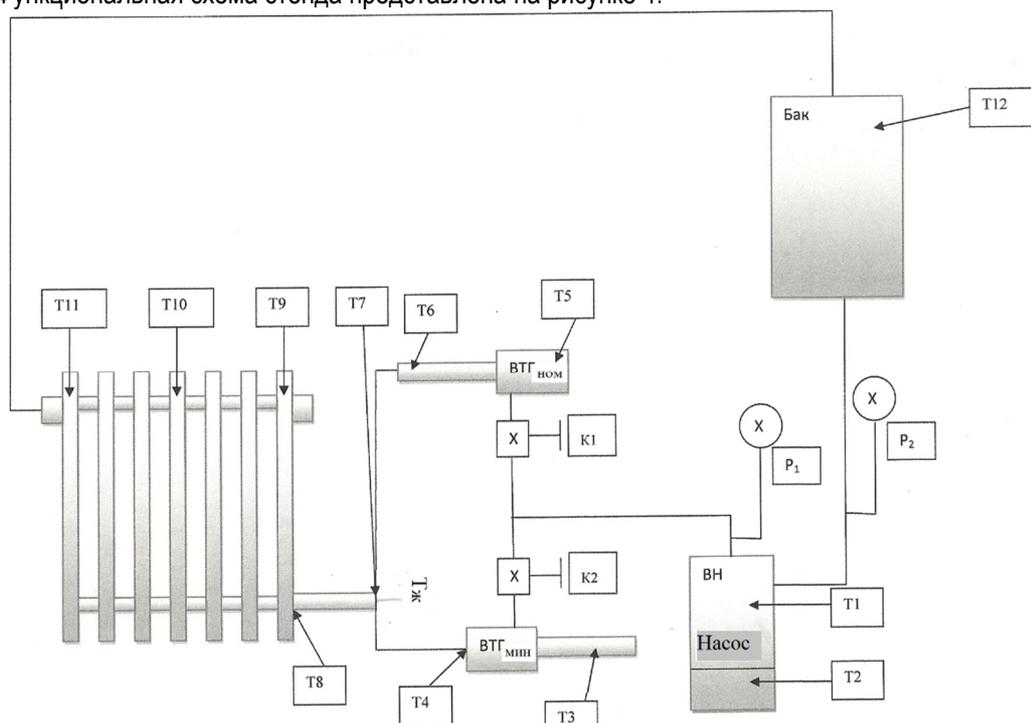


Рис. 4. Функциональная схема испытательного стенда

Результаты исследований. Результаты испытаний показывают, что в системе отопления с гидронасосом мощностью 1,5 кВт и ВГТ с минимизированными параметрами вода нагревается до температуры на 3-4°C выше, чем с ВГТ с номинальными параметрами. Расход электроэнергии 19 кВт·ч/сут.

Таблица 1

Результаты испытаний			
ВГТ _{НОМ}		ВГТ _{МИН}	
T_c	$T_ж$	T_c	$T_ж$
62 °C	65 °C	66 °C	68 °C

Заключение. Внедрение данной установки позволит решить задачи обеспечения потребности населения, сельского хозяйства и промышленности в тепловой энергии, полученной без сжигания традиционных видов топлива. Данная установка особенно актуальна для регионов, удаленных от централизованных энергосетей.

Особенностями вихревого гидравлического теплогенератора являются:

- отсутствие необходимости сжигания углеводородных топлив;
- отсутствие нагревательных элементов;
- использование электроэнергии только для работы привода гидронасоса;
- отсутствие необходимости в водоподготовке;
- возможность использования жидкости любого происхождения (вода, нефть, газовый конденсат);
- обеспечение автоматического поддержания температуры теплоносителя в требуемом диапазоне температур;
- экономичность эксплуатации и обслуживания.

Использование предлагаемой системы отопления на базе ВГТ целесообразно для создания компактных и экономичных систем отопления сельскохозяйственных помещений в зимнее время года. Например, для отопления коровников и подогрева пола в яслях для ягнят.

Библиографический список

1. Пиралишвили, Ш. А. Вихревой эффект : в 2 т. Т. 1. Физическое явление, эксперимент, теоретическое моделирование. – М. : ООО Научтехлитиздат, 2013. – 337 с.
2. Бирюк, В. В. Вихревой эффект : в 2 т. Т. 2. Технические приложения / В. В. Бирюк, Ш. А. Пиралишвили, С. В. Веретенников, А. И. Гурьянов. – М. : ООО Научтехлитиздат, 2014. – 491 с.
3. Пат. № 2059162 Российская Федерация, МПК⁶ F 24 D 3/02. Система теплоснабжения потребителей / Дмитриев Н. Т., Яхно В. А., Марчануков Э. Т. [и др.]. – № 94024936/06 ; заявл. 01.07.94 ; опубл. 27.04.96, Бюл. №12. – 4 с.
4. Пат. № 94019359 Российская Федерация, МПК⁶ 25 В 29/00. Теплогенерирующая установка ТГУ-1 / Беспалов В. И., Страхова Н. А., Шитов М. Н., Дзюба В. К. – № 94019359/06 ; заявл. 24.03.94 ; опубл. 27.12.95.
5. Пат. № 2045715 Российская Федерация, МПК⁶ 25 29/00. Теплогенератор и устройство для нагрева жидкости / Потопов Ю. С. – № 93021742/06 ; заявл. 26.04.1993 ; опубл. 10.10.95, Бюл. №28. – 4 с.
6. Бирюк, В. В. Вихревой гидравлический теплогенератор для сельского хозяйства и промышленности / В. В. Бирюк, Р. А. Серебряков // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : мат. Международной науч.-практ. конф. – Минск : БГАТУ, 2014. – С. 238-240.
7. Белозерцев, В. Н. Исследование течения и энергообмена закрученных потоков жидкости в гидравлическом генераторе // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева (НИУ). – Самара, 2011. – № 5 (29). – С. 23-28.

УДК 621.892.099.6

ПОВЫШЕНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ И ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

Сафонов Валентин Владимирович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Технический сервис и технология конструкционных материалов», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ.

410600, г. Саратов, ул. Советская, 60.

E-mail: safonow2010sgau@yandex.ru

Азаров Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис и технология конструкционных материалов», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ.

410600, г. Саратов, ул. Советская, 60.

E-mail: azarov444@yandex.ru

Халов Евгений Юрьевич, аспирант кафедры «Технический сервис и технология конструкционных материалов», ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ.

410600, г. Саратов, ул. Советская, 60.

E-mail: хахo164@yandex.ru

Ключевые слова: износ, подшипники, трансмиссионное, масло, смазка, модификация, наноразмерные, порошки.

Цель исследований – повысить противоизносные свойства трансмиссионного масла ТСП-15к и пластичной смазки Литол-24 путём их модификации наноразмерными порошками (НРП), полученными методом плазменной переконденсации. Трансмиссионное масло модифицировали наноразмерными частицами оловянной бронзы BrO10Ф1 в сочетании с фторопластом, нитридом бора, фосфором и оксидом алюминия. Противоизносные свойства пластичной смазки улучшали НРП никеля, железа, цинка, а также сплавами меди с оловом, меди со свинцом, алюминия со свинцом, железа с никелем и железа с цинком. На основании результатов лабораторных испытаний установили,

что наноразмерные частицы оловянной бронзы $BrO10\Phi1$ в сочетании с фторопластом, нитридом бора, фосфором и оксидом алюминия могут повысить противоизносные свойства трансмиссионного масла ТСП-15к от 1,5 до 2,5 раз. Наилучшие результаты зафиксированы при испытании смазочной композиции, полученной с использованием сочетания НРП оловянной бронзы и оксида алюминия. Результаты сравнительных лабораторных испытаний товарной пластичной смазки Литол-24 и экспериментальных смазочных композиций, приготовленных на её основе с использованием НРП никеля, железа, цинка, а также сплавов меди с оловом, меди со свинцом, алюминия со свинцом, железа с никелем и железа с цинком, показали, что используемые наноразмерные компоненты повышают противоизносные свойства товарной пластичной смазки от 1,9 до 17 раз. Наилучшие результаты получены при использовании НРП никеля и сплава железа с цинком, которые на примере модельной пары трения «ролик-ролик» позволили реализовать восстановительный эффект.

Основным условием успешного ведения современного сельского хозяйства является использование высокопроизводительной энергонасыщенной и, как правило, дорогостоящей автотракторной техники. Несмотря на все достижения научно-технического прогресса, трение и износ являются, на сегодняшний день, неотъемлемыми «паразитическими» процессами, сопровождающими работу технических объектов. Для снижения трения в большинстве узлов машин и механизмов подшипники скольжения заменяют подшипниками качения. Современные подшипники качения наиболее ответственных узлов трения характеризуются высокой стоимостью, поэтому методы снижения износа их деталей можно считать одним из важнейших резервов снижения эксплуатационных расходов при производстве сельскохозяйственной продукции.

Трансмиссия и ходовая часть автомобилей и тракторов являются системами, включающими в свою конструкцию наибольшее количество подшипников качения. Очевидно, что помимо работоспособности данных систем подшипники качения обеспечивают и безопасность эксплуатации автотракторной техники.

Основные методы, используемые для повышения износостойкости деталей подшипников качения, применяются на этапе конструирования и изготовления. При этом большинство известных конструктивных и технологических мероприятий [1, 2], в значительной степени исчерпали свои принципиальные возможности. Одним из альтернативных методов снижения износа деталей подшипников качения является повышение противоизносных свойств применяемых смазочных материалов.

При эксплуатации большинства подшипников качения техники в сельском хозяйстве применяют трансмиссионные масла и пластичные смазки с противоизносными и противозадирными присадками. Однако многие из них имеют ряд существенных недостатков: повышенная коррозионная агрессивность некоторых компонентов присадок к сталям; снижение контактной выносливости материала деталей подшипников; низкая стабильность при эксплуатации и хранении; высокая токсичность и т.д. Не имеют большинства перечисленных недостатков смазочные материалы, модифицированные наноразмерными порошками (НРП) металлов, их соединений и сплавов [1].

Цель исследований – повысить противоизносные свойства трансмиссионного масла ТСП-15к и пластичной смазки Литол-24 путём их модификации наноразмерными порошками (НРП), полученными методом плазменной переконденсации.

Задачи исследований:

1) Выполнить исследования влияния НРП оловянной бронзы $BrO10\Phi1$ в сочетании с фторопластом, нитридом бора, фосфором и оксидом алюминия на противоизносные свойства трансмиссионного масла ТСП-15к ГОСТ 23652-79.

2) Провести сравнительные противоизносные испытания товарной пластичной смазки Литол-24 ГОСТ 21150-87 и экспериментальных смазочных композиций, полученных на её основе с использованием НРП никеля, железа, цинка, а также сплавов меди с оловом, меди со свинцом, алюминия со свинцом, железа с никелем и железа с цинком.

Материалы и методы исследований. Анализ существующих технологий получения НРП позволил выбрать метод плазменной переконденсации, основанный на испарении крупнодисперсного порошка (сырья) в плазменном потоке с температурой 5000-8000 К и конденсации пара до частиц требуемого размера [3].

Данным способом синтезированы следующие НРП:

- а) чистые – Cu, Zn, Ni, MoS_2 , Al, BN;
- б) бинарные – Cu-Zn, Cu-Ni, Cu-Sn, Cu-Pb;
- в) легированные – Cu-Zn-P, Cu-Zn-S, Cu-Ni-P, Cu-Ni-S, Cu-Sn-P, Cu-Sn-S, Cu-Pb-P, Cu-Pb-S;
- г) композиционные – Cu- Al_2O_3 , Cu-BN, Cu- MoS_2 .

Эффективность модификации трансмиссионных масел НРП, полученными методом плазменной переконденсации, оценивали по результатам противоизносных испытаний экспериментальных смазочных композиций на машине трения МИ-1М по схеме «ролик-ролик». Ролики изготавливали из стали ШХ-15 ГОСТ 2590-88 с твёрдостью рабочих поверхностей 60-62 HRC и шероховатостью Ra 0,8 мкм. Наружный

диаметр роликов составлял 50 мм, ширина нижнего ролика – 12 мм, ширина верхнего – 10 мм. Износ роликов определяли по результатам их взвешивания на аналитических весах ВЛА-200-М ГОСТ 24104-80Е с точностью 0,1 мг до и после испытаний.

Испытания проводили на следующих режимах: нагрузка $P = 2,7$ кН, частота вращения нижнего ролика $n = 600$ мин⁻¹, проскальзывание в контакте $\lambda = 10\%$, время испытаний $\tau = 3$ ч. Полученные результаты сравнивали с результатами испытаний трансмиссионного масла ТСП-15к.

Испытаниям подвергали пять смазочных композиций, которые получали модификацией масла ТСП-15к наноразмерным порошком (НРП) оловянной бронзы БрО10Ф1 ГОСТ 613-79. Кроме того, модифицирующее действие НРП БрО10Ф1 (Бр) в каждом экспериментальном составе пытались усилить одним из следующих компонентов: фторопластом (*Фт*), нитридом бора (*ВН*), фосфором (*Р*) и оксидом алюминия (*К*). Выбор перечисленных компонентов обусловлен результатами анализа литературных источников и проведенных ранее трибологических испытаний [2, 4-7].

Для определения эффективности использования НРП, полученных плазменной переконденсацией, для повышения противоизносных свойств пластичных смазочных материалов также проводили сравнительные лабораторные испытания на машине трения МИ-1М.

Испытаниям подвергали пластичную смазку Литол-24 и смазочные композиции, изготовленные на её основе с использованием НРП *Fe, Ni, Zn, Cu-Pb, Al-Pb, Cu-Sn*. Результаты испытаний экспериментальных смазочных композиций сравнивали с данными, полученными при испытании товарной пластичной смазки Литол-24.

Перед началом эксперимента ролики прирабатывали на товарной пластичной смазке Литол-24 в течение 3 ч. Смазку осуществляли погружением нижнего ролика на 1/5 диаметра в смазочную среду. После окончания приработки ролики промывали в бензине, высушивали на воздухе и взвешивали на аналитических весах. Испытания проводили на следующих режимах: нагрузка $P = 1,2$ кН, частота вращения нижнего ролика $n = 500$ мин⁻¹, проскальзывание в контакте $\lambda = 10\%$, время испытаний $\tau = 6$ ч. Полученные результаты сравнивали с результатами испытаний пластичной смазки Литол-24. По окончании испытаний ролики подвергали повторному взвешиванию.

Результаты исследований. Результаты испытаний (рис. 1) показали, что модификация трансмиссионного масла ТСП-15к наноразмерным порошком оловянной бронзы во всех пяти случаях улучшает его противоизносные свойства.

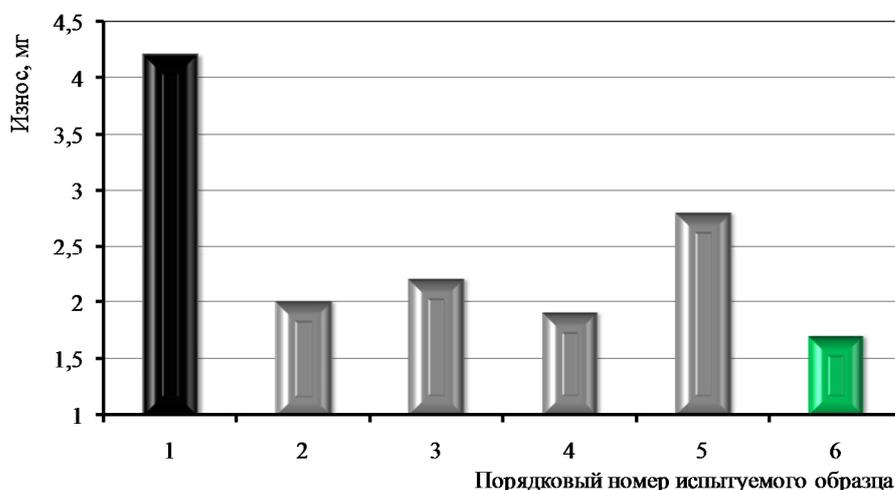


Рис. 1. Износ роликов после испытания следующих смазочных составов:

1 – ТСП-15к; 2 – ТСП-15к+Бр; 3 – ТСП-15к+Бр+ВН; 4 – ТСП-15к+Бр+Фт; 5 – ТСП-15к+Бр+Р; 6 – ТСП-15к+Бр+К

При модификации товарного масла НРП бронзы без дополнительных компонентов износ снизился по сравнению с результатами испытаний базового масла ТСП-15к в 2,1 раза. Введение в имеющийся состав дополнительных компонентов привело к получению следующих результатов: *ВН* позволил снизить износ в 1,9 раза, *Фт* – в 2,2 раза, *Р* – в 1,5 раза, *К* – в 2,5 раза. Таким образом, наилучшие результаты получены при испытании смазочной композиции, полученной с использованием сочетания НРП оловянной бронзы БрО10Ф1 и оксида алюминия.

Помимо узлов, для смазывания которых используются трансмиссионные масла, в сложных конструкциях современной сельскохозяйственной техники для многих подвижных сопряжений использование

жидких масел с конструкторской точки зрения не рационально. В таких случаях применяют пластичные смазки.

Результаты сравнительных противоизносных испытаний товарной пластичной смазки Литол-24 и экспериментальных смазочных композиций представлены на рисунке 2.

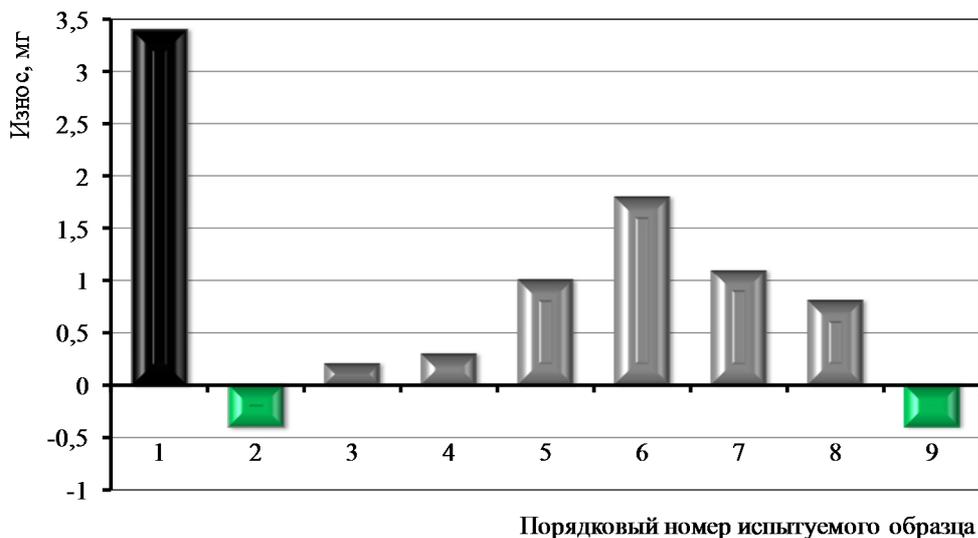


Рис. 2. Результаты противоизносных испытаний пластичных смазочных композиций:

1 – Литол-24; 2 – Литол-24 + Ni; 3 – Литол-24 + Fe; 4 – Литол-24 + Zn; 5 – Литол-24 + Cu-Sn; 6 – Литол-24 + Cu-Pb; 7 – Литол-24 + Al-Pb; 8 – Литол-24 + Fe-Ni; 9 – Литол-24 + Fe-Zn

Анализ представленных результатов показывает, что модификация пластичной смазки Литол-24 НРП металлов и их сплавов во всех случаях позволила повысить противоизносные свойства товарного смазочного материала: использование *Ni* не только привело к снижению износа, но и обеспечило прирост массы роликов за 6 ч испытаний на 0,4 мг, введение *Fe* снизило износ в 17 раз, *Zn* – в 11 раз, *Cu-Sn* – в 3,4 раза, *Cu-Pb* – в 1,9 раза, *Al-Pb* – в 3 раза, *Fe-Ni* – в 4,2 раза, сплав *Fe-Zn* также как и *Ni* позволил получить прирост массы роликов на 0,4 мг.

Заключение. Таким образом, на основании результатов лабораторных испытаний установили высокую эффективность модификации трансмиссионных масел и пластичных смазочных материалов НРП, полученными методом плазменной переконденсации. Так, наноразмерные частицы оловянной бронзы *BrO10F1* в сочетании с фторопластом, нитридом бора, фосфором и оксидом алюминия могут повысить противоизносные свойства трансмиссионного масла ТСП-15к от 1,5 до 2,5 раз. Наилучшие результаты зафиксированы при испытании смазочной композиции, полученной с использованием сочетания НРП оловянной бронзы и оксида алюминия.

Результаты сравнительных лабораторных испытаний пластичной смазки Литол-24 и экспериментальных смазочных композиций, приготовленных на её основе с использованием НРП *Ni*, *Fe*, *Zn* и сплавов *Cu-Sn*, *Cu-Pb*, *Al-Pb*, *Fe-Ni*, *Fe-Zn*, показали, что используемые наноразмерные компоненты повышают противоизносные свойства товарной пластичной смазки от 1,9 до 17 раз. Наилучшие результаты получены при использовании НРП *Ni* и сплава *Fe-Zn*, которые на примере модельной пары трения «ролик-ролик» позволили реализовать восстановительный эффект.

Библиографический список

1. Сафонов, В. В. Повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники за счет применения наноматериалов / В. В. Сафонов, С. А. Шишурин, В. А. Александров // Нанотехника. – 2009. – №20. – С. 79-80.
2. Азаров, А. С. Повышение долговечности подшипников качения ступиц колёс автотракторной техники путём модификации смазочной среды : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Азаров Александр Сергеевич. – Саратов, 2008. – 20 с.
3. Пат. 2123030 Российская Федерация. Смазочная композиция / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский, В. В. Венскаяйтис [и др.]. – №97116529/04 ; заявл. 07.10.1997 ; опубли. 10.12.1998, Бюл. №34. – 1998. – 7 с.
4. Сафонов, В. В. Наноразмерные добавки к смазочным средам трибосопряжений в условиях их моделирования / В. В. Сафонов, В. А. Александров, А. С. Азаров, Э. К. Добринский // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2008. – №2. – С. 8-11.
5. Сафонов, В. В. Применение наноматериалов при техническом сервисе автотракторной техники / В. В. Сафонов, В. А. Александров, С. А. Шишурин, А. С. Азаров // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина». – М. : Московский ГАУ, 2009. – №3. – С. 62-66.

6. Азаров, А. С. Комплексное использование наноразмерных порошков металлов и полититаната калия в составе пластичной смазки как способ повышения износостойкости поверхностей трения / А. С. Азаров, В. В. Сафонов, А. В. Гороховский, А. И. Палагин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники : мат. Международного науч.-техн. семинара им. В. В. Михайлова. – Саратов : ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2013. – Вып. 26. – С. 6-9.

7. Сафонов, В. В. Оценка эффективности применения нанокomпонентной смазочной композиции при эксплуатации насосных агрегатов оросительных систем / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский, В. В. Соколов, А. С. Азаров // Научное обозрение. – 2014. – №4. – С. 74-79.

УДК 621.892.84

ПОВЫШЕНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ И АНТИФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМООБРАБОТАННОГО ГРАФИТА

Терентьев Владимир Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис и механика», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: vladim-terent@yandex.ru

Наумова Ирина Константиновна, канд. хим. наук, доцент кафедры «Химия», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: rektorat@ivgsha.ru

Баусов Алексей Михайлович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технический сервис и механика», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: rektorat@ivgsha.ru

Телегин Игорь Михайлович, аспирант кафедры «Технический сервис и механика», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: rektorat@ivgsha.ru

Галкин Игорь Михайлович, аспирант кафедры «Технический сервис и механика», ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева.

153012, г. Иваново, ул. Советская, 45.

E-mail: rektorat@ivgsha.ru

Ключевые слова: плазма, износ, смазка, присадка, графит.

Цель исследований – улучшение трибологических показателей серийных пластичных литиевых смазок, используемых в узлах трения сельскохозяйственных машин. В статье представлены результаты экспериментальных исследований антифрикционных и противоизносных свойств пластичных смазочных материалов с присадками в виде графита, модифицированного плазмохимическим методом. Для модифицирования графита использовались два типа разряда: подводный диафрагменный разряд и тлеющий разряд атмосферного давления. В результате плазменной активации происходит модифицирование поверхности графита, приводящее, в частности, к изменению его свойств. Поверхностное модифицирование вызвано действием компонентов плазмохимического разряда. Иницирование плазмы в растворе приводит к генерации активных частиц, УФ-излучению, а также к механической активации раствора. Возникающие в объеме конвективные потоки способствуют быстрому переносу активных частиц и реагентов в жидкой фазе. При этом, активные частицы, взаимодействуя с поверхностью графита, изменяют ее характеристики. В результате модифицирования изменяется заряд на поверхности графита и улучшается его смачиваемость. Трибологические исследования проводились на машине трения. Установлено, что введение в качестве присадки к литиевым смазкам графита, модифицированного плазмохимическим способом, снижает коэффициент трения в 1,95-2,67 раза и позволяет уменьшить потери на трение в трибосопряжениях. Износ элементов пар трения снижается в 1,25-1,64 раза, что позволяет в дальнейшем увеличить ресурс деталей пар трения сельскохозяйственных машин и оборудования. Перспективным является использование для модифицирования графита плазмы подводного диафрагменного разряда. Использование плазмы тлеющего разряда атмосферного давления, зажигаемого над поверхностью жидкости, к значительному улучшению трибологических характеристик не привело. Полученные результаты показывают перспективность использования графита, модифицированного плазмохимическим способом, в качестве антифрикционной и противоизносной присадки к пластичным смазкам на литиевой основе.

Эффективное решение задачи обеспечения высокой надежности триботехнических сопряжений невозможно без применения высокоэффективных смазочных материалов. Особенно актуально это в современных машинах и оборудовании, работающих в условиях повышенных нагрузок.

Эффективность работы смазочного материала в основном определяется его антифрикционными и противоизносными характеристиками.

Улучшение характеристик смазочных материалов достигается за счет введения в их состав различных химических соединений, каждое из которых позволяет улучшать те или иные свойства. Однако, как показывает практика, недостаточно максимально улучшать какую-либо из характеристик – необходимо улучшение сразу комплекса свойств.

Известно, что эффективной антифрикционной присадкой к смазочным материалам является мелко-дисперсный графит, который при введении его в смазку ввиду своего химического строения позволяет существенно снижать трение в плоскостях, по направлению движения элементов трибосопряжения. Однако введение графита в смазки без дополнительного модифицирования недостаточно эффективно, особенно в условиях высоких контактных напряжений (характерных для многих трибосопряжений сельскохозяйственной техники).

Исследования, проведенные ранее авторами, указывают на перспективность использования в качестве модифицирования графита плазмы низкого давления [1].

Применение плазмы тлеющего разряда воздуха позволяет улучшать связь графита с рядом термо-реактивных полимеров при изготовлении подшипников скольжения, за счет чего наблюдается снижение коэффициента трения в трибосопряжениях «сталь-полимер».

Применение плазмы тлеющего разряда низкого давления при модифицировании элементов смазочных композиций также перспективно [2-4].

Цель исследований – улучшение трибологических показателей серийных пластичных литиевых смазок, используемых в узлах трения сельскохозяйственных машин.

Задача исследований – изучение влияния введения графита, модифицированного в плазменно-растворных системах [5-7], на трибологические показатели серийных пластичных литиевых смазок (литол-24). При этом в качестве воздействующего (модифицирующего) фактора использовалась плазма подводного диафрагменного разряда и тлеющего разряда атмосферного давления.

Материалы и методы исследований. В экспериментах применялись непроточные плазмохимические ячейки объемом 100 мл, при этом конструкция установки предусматривала термостатирование раствора.

Для модифицирования графита использовались два типа разряда: подводный диафрагменный и тлеющий разряд атмосферного давления, горящий непосредственно над поверхностью электролита.

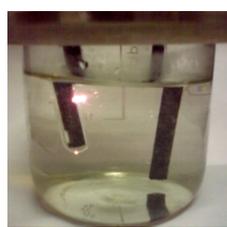
Для зажигания диафрагменного разряда в качестве электродов использовались графитовые стержни диаметром 5 мм, диаметр диафрагмы составлял 0,5 мм, ток разряда – 100 мА, напряжение горения разряда – 400 В.

Также в качестве источника активирующего воздействия использовался тлеющий разряд атмосферного давления с электролитным катодом, зажигаемый над поверхностью жидкости. В качестве анода выступала платиновая проволока, расстояние от анода до поверхности раствора – 3 мм. Ток разряда составлял 30-50 мА, напряжение – 1,8 кВ.

Фотографии экспериментальных ячеек представлены на рисунке 1.



а) тлеющий разряд



б) диафрагменный разряд

Рис. 1. Экспериментальные ячейки

Обработка графита проводилась в плазменно-растворных ячейках, соответствующих типу разряда (рис. 1). Предварительно графит смешивали с дистиллированной водой и добавляли хлорид натрия до обеспечения требуемой проводимости. Полученную суспензию обрабатывали разрядом в течение 10 мин, после чего отфильтровывали и высушивали в естественных условиях. Далее графит вводился в определенном процентном соотношении в пластичную смазку литол-24 и проводилась серия трибологических испытаний.

Трибологические исследования проводились на машине трения 2070 СМТ-1, по схеме «вращающийся диск – неподвижный шар». Условия эксперимента: частота вращения диска – 500 мин⁻¹, диаметр диска –

40 мм, материал пары трения – диск – сталь 45 с твердостью 60 HRC, шар – сталь ШХ-15. Нагружение на образцы 200 Н. Пробег при каждой нагрузке составлял 1 км. Перед приложением нагрузки на диск однократно наносился смазочный материал, что определяло граничный режим смазки. Для оценки противоизносных свойств изучаемых присадок замерялось пятно износа на шаре и ширина дорожки трения на ролике с помощью микроскопа МПБ-2.

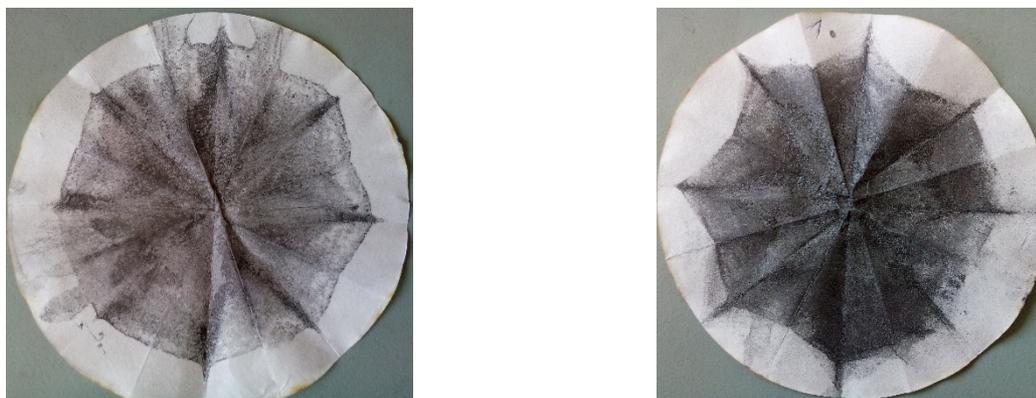
Результаты исследований. Результаты экспериментов показали, что при газоразрядной активации происходит модифицирование поверхности графита, приводящее, в частности, к изменению его когезионных свойств. Поверхностное модифицирование вызвано, как полагают авторы, действием компонентов разряда [8-9]. Так, иницирование плазмы в растворе приводит к генерации активных частиц, УФ-излучению, а также к механической активации раствора. Возникающие в объеме конвективные потоки способствуют быстрому переносу активных частиц и реагентов в объем жидкой фазы.

При этом, активные частицы, взаимодействуя с поверхностью графита, изменяют ее поверхностные свойства, меняя, тем самым, физико-химические характеристики поверхности материала. Так, в результате модифицирования изменяется заряд на поверхности графита и улучшается его смачиваемость.

При этом модифицируется только поверхностный слой графита без изменения его объемных характеристик.

Изменение смачиваемости графита после плазмохимической обработки было отмечено при фильтрации водно-графитовой суспензии.

Фотографии фильтров после фильтрации суспензий с графитом без обработки и плазмомодифицированным графитом представлены на рисунке 2.



а) графит без обработки

б) модифицированный графит

Рис. 2. Поверхности фильтров после фильтрации водно-графитовой суспензии

Как показывают результаты (рис. 2), после плазмохимической обработки графит более равномерно распределяется по поверхности фильтра, что говорит о его более высокой реакционной способности после газоразрядной обработки.

Таким образом, можно предположить, что повышение реакционной способности поверхности графита после плазмохимической обработки позволит при введении графита в пластичные смазки улучшить его связь с компонентами самой смазки, что в дальнейшем может привести к более эффективной работе самого графита, как противоизносного и антифрикционного компонента смазочного материала.

Результаты определения антифрикционных свойств (коэффициента трения), а также износа элементов пары трения при их смазывании пластичной смазкой литол-24, а также композиций на основе литол-24 с графитом представлены на рисунке 3.

Результаты трибологических исследований полученных смазочных материалов показывают, что плазмохимическое модифицирование поверхности вводимых компонентов позволяет улучшить как антифрикционные, так и противоизносные характеристики пластичной смазки литол-24. При этом более эффективным для поверхностного модифицирования графита является использование плазмы диафрагменного разряда. Коэффициент трения по сравнению с чистым литолом снижается в 2,67 раза, износ подвижного образца (ролика) снижается в 1,44 раза, износ неподвижного образца (шара) снижается в 1,64 раза. По сравнению с композицией, где в качестве присадки используется необработанный графит, снижение коэффициента трения составило 1,95 раза, износ подвижного образца (ролика) снизился в 1,25 раза, износ неподвижного образца (шара) – в 1,46 раза.

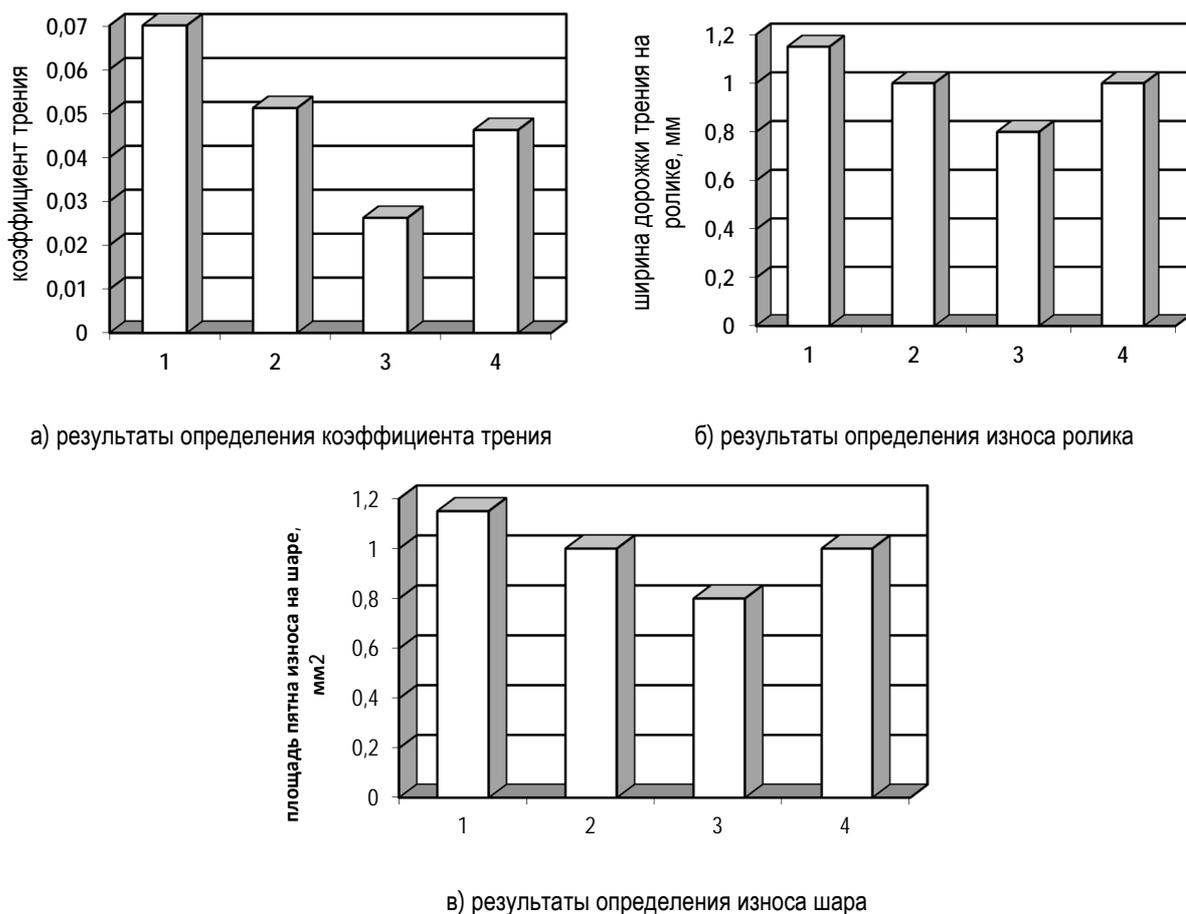


Рис. 3. Результаты трибологических исследований смазочных композиций: 1 – литол-24 без добавок; 2 – литол-24 + графит без обработки; 3 – литол-24 + графит, плазмообработанный в плазме диафрагменного разряда; 4 – литол-24 + графит, плазмообработанный в плазме тлеющего разряда.

Обработка графита в плазме тлеющего разряда приводит к незначительному изменению трибологических характеристик (по сравнению с композицией, где в качестве присадки используется необработанный графит, снижение коэффициента трения составило 10%, износ элементов пары трения не изменился).

Заключение. Таким образом, можно отметить перспективность обработки графита в плазме диафрагменного разряда атмосферного давления и использования в дальнейшем модифицированного графита в качестве антифрикционной и противоизносной присадки к пластичным смазкам на литиевой основе.

Библиографический список

1. Терентьев, В. В. Исследование триботехнических свойств полимерных материалов с наполнителями, обработанными плазмой тлеющего разряда : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.04 / Терентьев Владимир Викторович. – Иваново, 2001. – 148 с.
2. Терентьев, В. В. Исследование свойств наполнителей на основе плазмообработанного фторопласта для консистентных смазочных материалов / В. В. Терентьев, Г. М. Любина // Труды третьей Международной заочной молодежной научно-технической конференции. – Ульяновск : УЛГТУ, 2006. – С. 160-162.
3. Терентьев, В. В. Улучшение триботехнических характеристик материалов пар трения и смазок путем модификации плазмой тлеющего разряда / В. В. Терентьев, А. В. Крупин, Б. Л. Горберг // Материаловедение и надежность триботехнических систем : сб. науч. тр. / под ред. В. А. Годлевского, Б. Р. Киселева. – Иваново, 2009. – С. 69-74.
4. Терентьев, В. В. Улучшение свойств смазочных материалов путем их наполнения плазмообработанными элементами / В. В. Терентьев, А. М. Баусов, А. В. Крупин // Научное обозрение. – 2010. – №6. – С. 39-42.
5. Кутепов, А. М. Вакуумно-плазменное и плазменно-растворное модифицирование полимерных материалов / А. М. Кутепов, А. Г. Захаров, А. И. Максимов. – М. : Наука, 2004. – 496 с.
6. Стройкова, И. К. Химическая активация водных растворов электролитов тлеющим и диафрагменным газовыми разрядами : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.04 / Стройкова Ирина Константиновна. – Иваново, 2001. – 153 с.
7. Максимов, А. И. Сопоставление возможностей плазменного и плазменно-растворного модифицирования полимерных материалов в жидкой фазе / А. И. Максимов, А. Ю. Никифоров // Химия высоких энергий. – 2007. – Т. 41, №6. – С. 513.

8. Кузьмичева, Л. А. Генерация химически активных частиц в растворах электролитов под действием тлеющего и диафрагменного разрядов / Л. А. Кузьмичева, Ю. В. Титова, А. И. Максимов // Химия Высоких Энергий. – 2007. – Т. 43, №2. – С. 20.

9. Piskarev, I. M. Formation of active species in spark discharge and their possible use / I. M. Piskarev, I. P. Ivanova, S. V. Trofimova, N. A. Aristova // High Energy Chemistry. – 2012. – Vol. 46, №5. – P. 343.

УДК 631.171

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СТЕНДОВ ДЛЯ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЙ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Иншаков Александр Павлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: kafedra_mes@mail.ru

Байков Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры «Электроника и нанoeлектроника», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: bdv2304@mail.ru

Кувшинов Алексей Николаевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: mesmgu@mail.ru

Курбаков Иван Иванович, канд. техн. наук, преподаватель кафедры «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: ivankurbakov@mail.ru

Ключевые слова: дизельный, двигатель, асинхронный, обкаточно-тормозной, стенд, преобразователь.

Цель исследования – повышение качества приработки и обкатки автотракторных дизелей за счет применения в конструкции стендов рекуперативных преобразователей частоты с асинхронным электродвигателем и современных энергоэффективных алгоритмов управления ими. Такая конструкция испытательных стендов способна обеспечить полную рекуперацию электрической энергии в промышленную сеть в режиме горячей обкатки, что способствует повышению энергетической эффективности и снижению потребления электроэнергии. Кроме того, рекуперативный электропривод обеспечивает поддержание момента и скорости относительно друг друга во всех режимах работы и способствует расширению диапазона регулирования скорости вращения асинхронного двигателя, что позволяет в режиме холодной обкатки дизелей повысить качество приработки испытуемого двигателя, начиная плавную обкатку с низких оборотов (не менее 50 об/мин). В ходе исследования были выявлены положительные и отрицательные качества современных конструкций обкаточно-тормозных стендов, что позволило оценить существующие проблемы и обозначить ряд задач, решение которых приведет к устранению проблемных зон при разработке новых энергоэффективных конструкций испытательных стендов и модернизации существующих.

Быстрый темп развития техники повысил потребность в высокоэффективных, долговечных и надежных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) и дизелях [1, 2, 3]. В настоящее время дизельный двигатель – это основная энергетическая установка мобильных машин, используемых в сельскохозяйственном производстве [4]. Уровень мощности, надежности, экономичности и экологичности являются главными характеристиками их конкурентоспособности. Определение данных потребительских свойств ДВС неразрывно связано с созданием, модернизацией и совершенствованием испытательных обкаточно-тормозных стендов (ОТС), широко применяемых в научно-исследовательских центрах и лабораториях, автосервисах и крупных дилерских станциях [5]. Поэтому одним из важных элементов при разработке, изготовлении и ремонте ДВС является процесс испытаний, проводимых для экспериментального определения количественных и качественных свойств двигателя. Так, например, качественная послеремонтная обкатка способна увеличить ресурс обкатываемых агрегатов более чем на 70% [6].

Необходимо отметить, что в современных условиях энергосбережения важными остаются вопросы выбора конструктивных схем и алгоритмов управления при проведении обкатки автотракторных ДВС [7]. В связи с этим, современные ОТС обязаны удовлетворять требованиям регламента испытаний, управляемости и энергосбережения [8]. Стенд должен обеспечивать возможность работы в режимах холодной и горячей обкатки с нагрузкой и без. В первом случае электродвигатель должен работать в двигательном режиме, а во втором – в генераторном.

В настоящее время на отечественных авторемонтных предприятиях и в научно-исследовательских лабораториях в опытной эксплуатации находятся большое количество ОТС различного исполнения, но наиболее распространенными являются КИ-5540, КИ-5541, КИ-5543, КИ-5274. Подобные стенды выполнены на устаревшей элементной базе и не могут удовлетворить современным требованиям надежности, экономичности и энергосбережения, а также не позволяют автоматизировать процесс обкатки и испытаний автотракторных дизелей [7]. В основном они выполнены на базе трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором и жидкостным реостатом для регулирования параметров. Главными их недостатками являются невозможность обеспечения обкатки ДВС на малых оборотах, а также инвариантность скорости и момента относительно друг друга при больших диапазонах регулирования, что, несомненно, сказывается на качестве приработки и обкатки испытуемых двигателей и увеличивает погрешность измерений при исследовательских работах. Кроме того, нагружающие устройства таких стендов способны возвращать в сеть лишь часть энергии испытуемого двигателя, что ухудшает их энергетическую эффективность. Замена таких стендов новыми – энергосберегающими – требует серьезных затрат, так как стоимость новых составляет от 100 тысяч до 1,0 млн. евро, что большинству ремонтных предприятий и исследовательских центров просто не по карману.

Цель исследований – повышение качества приработки и обкатки автотракторных дизелей за счет применения в конструкции стендов рекуперативных преобразователей частоты с асинхронным электродвигателем и современных энергоэффективных алгоритмов управления ими.

Задача исследований – выявить положительные и отрицательные качества современных конструкций ОТС и обозначить цели и задачи, решение которых приведет к устранению проблем при разработке новых энергоэффективных конструкций испытательных стендов и модернизации существующих.

Наиболее простой путь решения проблем модернизации существующих конструкций ОТС видится в введении в состав стенда современной контрольно-измерительной аппаратуры на базе персонального компьютера (КИА) и узла согласования для полной рекуперации электрической энергии, вырабатываемой в процессе испытаний в сеть. При этом основные механические и электрические узлы ОТС можно оставить неизменными, так как их износ, как правило, незначителен, а затраты на модернизацию существенно ниже стоимости создания нового стенда. Поэтому перспективным направлением модернизации и разработки ОТС следует считать применение современных энергоэффективных устройств преобразовательной техники и систем управления ими.

Возможные варианты конструкции таких стендов можно условно разделить на две группы.

1) Стенды для испытаний ДВС на базе электрической машины переменного тока. Наиболее экономически выгодным вариантом модернизации ОТС такой конструкции является применение в составе стенда асинхронно-вентильного каскада (АВК), для которого установленная мощность электрооборудования минимальна. Структурная схема такого стенда представлена на рисунке 1. Данный стенд способен обеспечить холодную и горячую обкатку автотракторных дизелей, и благодаря включению в роторную цепь АДФР полупроводникового преобразователя, выполненного по схеме АВК, способен выполнить практически полную рекуперацию электрической энергии в сеть. Такие стенды позволят производить исследования и испытания под нагрузкой при минимальных материальных затратах на модернизацию испытательного стенда и минимуме затрат электроэнергии. Среди главных преимуществ такого технического решения можно выделить: высокий КПД АВК (около 98%), малая мощность управления, легкая автоматизация, хорошие динамические свойства.

Высокий КПД таких конструкций достигается за счет того, что в каскадных системах преобразуется только энергия скольжения, в то время как в электроприводах постоянного тока и в электроприводах с частотным и векторным управлением преобразуется все количество энергии, потребляемое электродвигателем. По сравнению с ОТС, в которых установлен жидкостной реостат, в стендах с АВК энергия скольжения не теряется в сопротивлениях, значит энергетическая эффективность таких конструкций не вызывает сомнений.

Несмотря на достоинства данной конструкции, необходимо отметить и ее недостатки: низкий коэффициент мощности, малое использование приводного двигателя (5-7%), высокая стоимость вентильного привода, низкий диапазон регулирования частоты вращения АДФР (3:2:1), необходимость применения специальных пусковых устройств [8].

Перспективным вариантом разработки и модернизации ОТС является применение современных серийно-выпускаемых электроприводов переменного тока на основе полупроводникового транзисторного преобразователя частоты (ПЧ) и асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АД). Представляют интерес две основные конструктивные схемы таких стендов, представленные на рисунке 2.

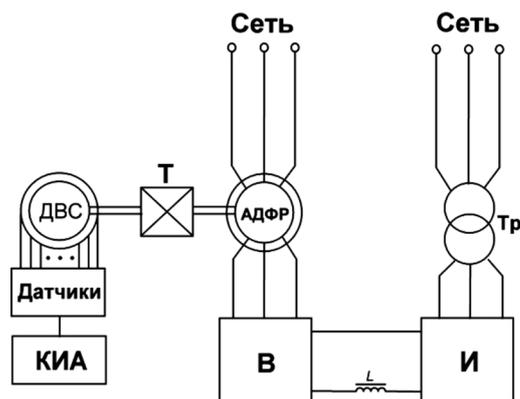


Рис. 1. Структурная схема ОТС автотракторного ДВС на основе АВК:
 АДФР – асинхронный двигатель с фазным ротором; В – выпрямитель; L – сглаживающий дроссель; И – инвертор;
 Тр – согласующий трансформатор; Т – трансмиссия; ДВС – двигатель внутреннего сгорания;
 КИА – контрольно-измерительная аппаратура на базе персонального компьютера

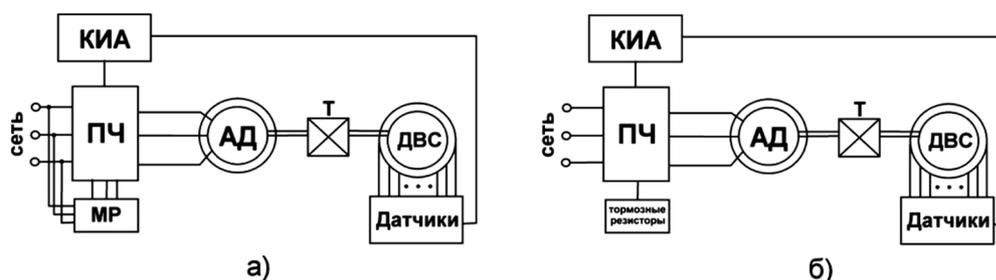


Рис. 2. Структурная схема ОТС автотракторного ДВС с ПЧ и АД:
 а) с возможностью рекуперации электроэнергии в сеть; б) с рассеиванием электроэнергии на тормозных резисторах;
 АД – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; ПЧ – преобразователь частоты; ДВС – двигатель внутреннего сгорания;
 КИА – контрольно-измерительная аппаратура на базе персонального компьютера;
 МР – модуль рекуперации; Т – трансмиссия

Испытательные стенды такого типа полностью удовлетворяют требованиям регламента испытаний, управляемости и энергосбережения и обеспечивают полноценные режимы холодной и горячей обкатки ДВС, а также инвариантность скорости и момента относительно друг друга при больших диапазонах регулирования. Применение в таких стендах энергоэффективных законов управления (частотное управление, векторное управление, прямое управление моментом) для регулирования скорости вращения АД, в сравнение с дроссельным или реостатным способами регулирования, обеспечивает экономию электроэнергии от 50-75% (в зависимости от мощности установки), позволяет отказаться от использования редукторов, дросселей и другой регулирующей аппаратуры, что значительно упрощает управляемую механическую систему, способствует повышению ее надежности и снижению эксплуатационных расходов. Кроме того, частотные преобразователи позволяют регулировать частоту вращения трехфазного напряжения питания управляемого двигателя в пределах от 0 до 400 Гц, а значит, обеспечивают возможность обкатки на малых оборотах (50 об/мин). Разгон и торможение АД в таких установках осуществляется плавно, а при необходимости по линейному закону от времени. Применение ПЧ в ОТС дизелей также способствует расширению диапазона регулирования и повышению точности регулирования электродвигателя, а, следовательно, и обкатываемого ДВС, снижают потери на нагрев и намагничивание, и как результат, повышается КПД электродвигателя.

Однако у таких конструкций стендов существует и ряд недостатков. Так, например, у конструкции (рис. 2, б) существенным недостатком являются дополнительные расходы на электроэнергию, расходуемую при преобразовании в тепло (рассеивании на тормозной резистор), а также в связи с этим требуется наличие относительно большого помещения и дополнительных устройств для отвода тепла с тормозных резисторов. Стенды, выполненные по конструкции (рис. 2, а) устраняют данный недостаток и обеспечивают полный возврат энергии торможения в промышленную сеть с КПД не менее 92%, однако это приводит к введению в состав стенда дополнительного модуля рекуперации (МР) электрической энергии в сеть, что существенно повышает цену установки. Несмотря на все вышеперечисленное, большая стоимость ПЧ, составляющего основные материальные затраты при создании ОТС большой мощности, делает такие конструкции менее конкурентоспособными по сравнению с другими схемами.

2) Стенды для испытаний ДВС на базе электрической машины постоянного тока.

При разработке таких стендов используется двигатель постоянного тока (ДПТ) с управляемым тиристорным преобразователем (ТП), данный преобразователь позволяет обеспечить регулирование и стабилизацию электрических, механических и технологических показателей работы стенда при холодной и горячей обкатке, причем при горячей обкатке обеспечивает полную рекуперацию генерируемой электрической энергии в промышленную сеть. Конструкция такого стенда представлена на рисунке 3.

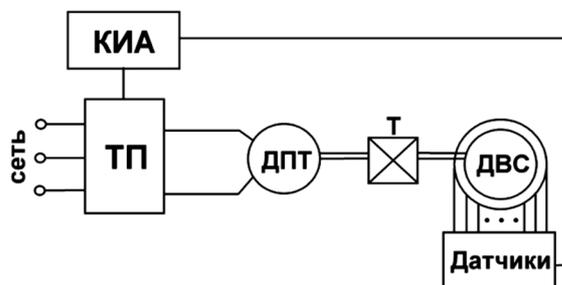


Рис. 3. Структурная схема ОТС автотракторного ДВС с ТП и ДПТ:

ДПТ – двигатель постоянного тока; ТП – тиристорный преобразователь; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; Т – трансмиссия; КИА – контрольно-измерительная аппаратура на базе персонального компьютера

К недостаткам такой конструкции можно отнести то, что ТП обладают сложной системой управления, большими массогабаритными показателями, низким диапазоном управления скорости вращения двигателя, самой высокой ценой на 1 кВт выходной мощности в классе высоковольтных преобразователей, а также такие преобразователи обладают слабыми защитными функциями и практически полным отсутствием диагностических возможностей в случае последовательного соединения вентилях, которое используется в преобразователе при питании от 6 кВ-ой линии.

Таким образом, рассмотренные выше конструкции испытательных стендов имеют как свои плюсы, так и минусы. Основным плюсом современного ОТС является возможность рекуперации выработанной ДВС энергии обратно в сеть, это позволяет существенно сэкономить часть средств, затраченных на испытания. Также к преимуществам можно добавить наличие современной системы управления и контрольно-измерительной аппаратуры, позволяющим автоматизировать процесс обкатки, улучшить его качество и сэкономить время, а также снизить количество обслуживающего персонала.

На сегодняшний день среди конструкций, наиболее полно удовлетворяющих требованиям регламента испытаний, управляемости и энергосбережения, можно выделить конструкцию ОТС автотракторного ДВС с ПЧ и АД с возможностью рекуперации электроэнергии в сеть или с применением рекуперативного преобразователя. Данные технические решения испытательных стендов просты в сборке и монтаже, а в совокупности с современными алгоритмами управления позволяют обкатывать дизели на малых оборотах (когда это необходимо), а также обеспечивают инвариантность скорости и момента относительно друг друга при больших диапазонах регулирования, что ведет к сокращению времени окончания приработки поверхностей и повышению качества обкатки автотракторных дизелей.

Заключение. Проведенное исследование особенностей построения современных электромеханических обкаточно-тормозных стендов ДВС показало, что для максимального повышения качества приработки и обкатки автотракторных дизелей в конструкции испытательных стендов необходимо использовать векторные или частотные рекуперативные преобразователи частоты с асинхронным двигателем. Такая конструкция ОТС обеспечивает полную рекуперацию электрической энергии в промышленную сеть в режиме горячей обкатки, что влечет к повышению энергетической эффективности и снижению потребления электроэнергии. Кроме того, рекуперативный электропривод обеспечивает поддержание момента и скорости относительно друг друга во всех режимах работы и способствует расширению диапазона регулирования скорости вращения асинхронного двигателя, что позволяет в режиме холодной обкатки дизелей повысить качество приработки испытуемого двигателя, начиная плавную обкатку с низких оборотов (не менее 50 об/мин). В ходе исследования были выявлены положительные и отрицательные качества современных конструкций обкаточно-тормозных стендов, что позволило оценить существующие проблемы и обозначить ряд задач: проанализировать существующие методики обкатки дизельных двигателей; разработать имитационные и математические модели всех ОТС; разработать методику определения энергетической эффективности испытательных стендов в различных режимах работы; разработать новые конструкции стендов, основанные на современной элементной базе и законах управления.

Решение данных задач приведет к устранению проблемных зон при разработке новых энергоэффективных конструкций испытательных стендов и модернизации существующих. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №15-38-50155.

Библиографический список

1. Данилов, И. К. Повышение эффективности использования ресурса автотракторных двигателей систематизацией эксплуатационно-ремонтного цикла на основе диагностирования : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / Данилов Игорь Кеворкович. – Саратов, 2005. – С. 7-12.
2. Соловьев, Р. Ю. Повышение эффективности работы цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания / Р. Ю. Соловьев, В. Г. Сафронов // Научные проблемы развития ремонта, технического обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей : труды ГОСНИТИ. – М. : ГОСНИТИ, 2008. – Т. 98. – С. 57-61.
3. Денисов, В. А. Обобщение результатов ускоренных стендовых испытаний на усталость стальных и чугунных коленчатых валов // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 117. – С. 42-43.
4. Петрищев, Н. А. Стенд для контроля технического состояния узлов и агрегатов системы смазки автотракторных дизелей КИ-28256.01 / Н. А. Петрищев, А. О. Капусткин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2012. – №4. – С. 37-41.
5. Петрищев, Н. А. Контрольно-регулирующее оборудование ГОСНИТИ для участков ремонта агрегатов гидропривода и трансмиссий / Н. А. Петрищев, А. О. Капусткин // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №8. – С. 42-43.
6. Тодарев, В. В. Энергосберегающие электромеханические стенды для испытания двигателей внутреннего сгорания и трансмиссий сельскохозяйственной техники / В. В. Тодарев, М. Н. Погуляев, И. В. Дорошенко // Вестник Гомельского ГТУ им П. О. Сухого. – 2007. – №4. – С. 80-84.
7. Родионов, Ю. В. Бестормозная обкатка дизелей // Автомобильная промышленность. – 2004. – №5. – С. 21-24.
8. Мельников, Г. И. Способы построения энергосберегающих электромеханических стендов для испытания двигателей внутреннего сгорания / Г. И. Мельников, А. О. Коротков // Вестник НТУ. – 2014. – №24 (1067). – С. 56-62.

УДК 631.3-6:621.89

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА МИНЕРАЛЬНО-РАСТИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ЛЬНЯНОГО МАСЛА ПО ТРИБОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Болдашев Геннадий Иванович, канд. техн. наук, проф. кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: SSAA_Ingener@mail.ru

Ещенко Евгения Александровна, аспирант кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: Eschenkova_EA@mail.ru

Приказчиков Максим Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: SSAA_Ingener@mail.ru

Ключевые слова: льняное, минерально-растительное, топливо, трение, износ.

Цель исследований – обоснование выбора оптимального состава минерально-растительного топлива, снижающего износ деталей. Приведен краткий анализ возможности применения льняного масла в качестве компонента смесового биотоплива. Рассмотрены теоретические предпосылки для снижения износа ответственных деталей системы топливоподачи за счет использования оптимального состава минерально-растительного топлива на основе льняного масла. Выдвинута гипотеза о снижении величины износа в зависимости от увеличения концентрации льняного масла в минерально-растительном топливе. Представлены результаты лабораторных исследований влияния различных составов минерально-растительного топлива на основе льняного масла на износ деталей, подтверждающие гипотезу. В процессе испытаний замерялись следующие показатели: температура масла в узле трения, сила трения и нормальная нагрузка. Производился визуальный осмотр поверхности трения и замерялись размеры пятна износа. Проводились испытания пяти различных составов топлива на четырех различных нагрузочных режимах с четырёхкратной повторностью. Полученные данные сохранялись в виде графиков и в числовой базе данных по окончании каждого испытания. Делались снимки пятна износа каждого образца. Была установлена зависимость изменения величины износа от процентного содержания льняного масла в минерально-растительном топливе. Выбран оптимальный состав минерально-растительного топлива на основе льняного масла – 25%ЛМ+75%ДТ. Проанализированы результаты испытаний. Выявлено, что использование данного состава минерально-растительного топлива в качестве рабочей среды является рациональным и позволяет уменьшить величину пятна износа минимум на 6%.

Использование различных видов масел для производства биотоплива обуславливается климатическими условиями возделывания культур и их стоимостью [1, 6, 7]. В настоящее время все большее распространение получил лен масличный.

Льняное масло относится к высыхающим маслам и представляет собой смесь триглицеридов следующих кислот: 9-11% пальмитиновой и стеариновой, 13-29% олеиновой, 15-30% линолевой, 44-61% линоленовой. Выделяют льняное масло из семян льна прессованием или экстракцией органическими растворителями. При высыхании масло дает гладкую, сухую, блестящую пленку, которая не плавится при нагревании до 260 °С и не растворяется в диэтиловом эфире [3].

В ведущих европейских странах в ГОСТе Р52368 «Топливо дизельное ЕВРО» обозначен показатель «смазывающая способность» трущихся деталей, а в российском ГОСТе 305-82 (Л-0,2-62) данный показатель отсутствует и топливо рассматривается только как энергетический носитель [5]. Опираясь на передовой опыт, возникает интерес к использованию данного трибологического показателя при исследовании минерально-растительных топлив с различным процентным содержанием льняного масла в составе смеси.

В настоящее время использование льняного масла в качестве компонента для изготовления биотоплива мало изучено, однако имеет хорошие предпосылки [4]. Для получения объективного представления о возможности применения льняного масла в качестве минерально-растительного топлива необходимо провести ряд исследований его жирнокислотного состава, сравнительный анализ физико-химических показателей топлива на его основе и исследований трибологических свойств [2].

Наиболее ответственными деталями системы питания дизеля, подверженными износу, являются плунжерные пары, распылители и нагнетательные клапаны.

Цель исследований – обоснование выбора оптимального состава минерально-растительного топлива, снижающего износ деталей.

Задачи исследований:

– установить зависимость величины износа на четырехшариковой машине трения при использовании составов минерально-растительного топлива с различным процентным содержанием льняного масла в качестве образца;

– выявить оптимальный состав топлива.

Материалы и методы исследований. При проведении лабораторных испытаний по изучению влияния величины износа в зависимости от различных составов минерально-растительного топлива использовался специализированный трибометр, созданный в лаборатории наноконструированных покрытий СамГТУ и программа PowerGraph. Трибометр имеет в своем составе различные насадки и способен создавать различные режимы работы. Метод определения износных характеристик минерально-растительного топлива соответствует стандартной методике ЕН ИСО 12156. В данном исследовании он использовался в качестве четырех-шариковой машины трения. Для оценки образцов по состоянию поверхности использовались цифровой микроскоп «Микрон-500», подключенный к компьютеру посредством USB и программа Micro-Measure. Испытания проводились при следующих режимах работы: частота вращения верхнего шарика – 1220 мин⁻¹; продолжительность испытаний – 600 с; нормальная нагрузка: 200, 420, 480 и 500 Н. Начальная температура образцов топлива – 24 °С. В процессе испытаний посредством программы PowerGraph замерялись следующие показатели: температура масла в узле трения, сила трения и нормальная нагрузка. Производился визуальный осмотр поверхности трения и замерялись размеры пятна износа. Испытания проводились в различных средах (объем 10 ml): минеральное дизельное топливо ДТ-Л-0.2-62 (100%ДТ), технически очищенное льняное масло (100%ЛМ), а также смеси минерального топлива и льняного масла в различных соотношениях (25%ЛМ + 75%ДТ, 50%ЛМ + 50%ДТ, 75%ЛМ + 25%ДТ). Полученные данные сохранялись в виде графиков и в числовой базе данных по окончании каждого испытания. Делались снимки пятна износа каждого образца.

Проведены испытания пяти различных составов топлива на четырех различных нагрузочных режимах с четырёхкратной повторностью.

Результаты исследований. Ранее был проведен сравнительный анализ физико-химических показателей топлива (низшая теплота сгорания, плотность, кинематическая и динамическая вязкости) [2], который показал, что наиболее схожим по свойствам является биотопливо с содержанием 25% льняного масла и 75% минерального дизельного топлива.

Низшая теплота сгорания у данной смеси ниже дизельного топлива на 1,26 МДж/кг, что лежит в пределах, допустимых для дизельного топлива, плотность выше на 27 кг/м³ и не превышает предел в 860 кг/м³. Показатели кинематической и динамической вязкости наиболее приближены к минеральному дизельному топливу марки Л-0,2-62. Этот факт наглядно показывает важное преимущество данной смеси минерально-растительного топлива, так как его применение является возможным без изменения конструкции системы

питания дизелей. Данный оптимальный состав минерально-растительного топлива на основе льняного масла не ухудшает физико-химических свойств топлива и способствует снижению износа деталей [2].

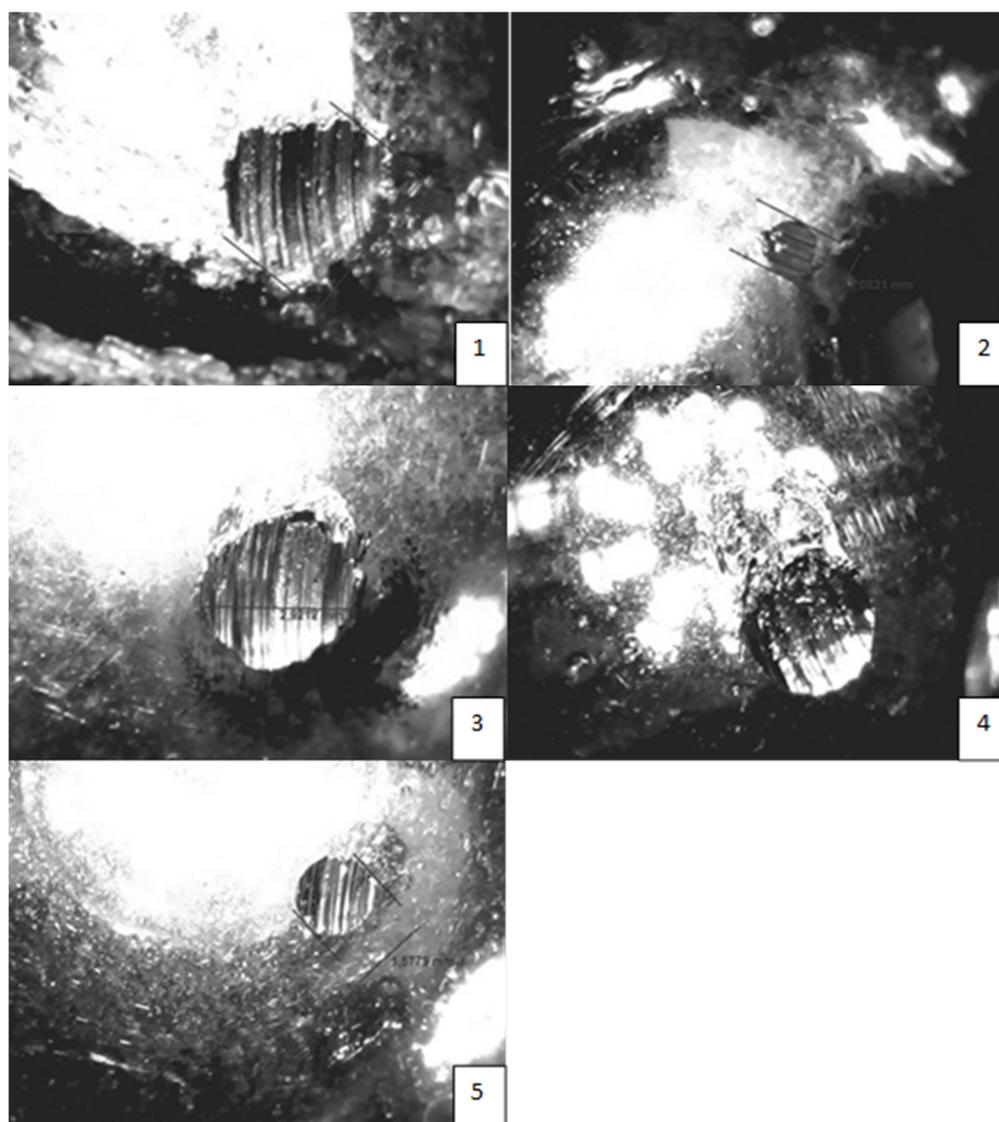


Рис. 1. Величина пятна износа образцов, испытываемых при одинаковой нагрузке (500 Н) в различных средах: 1 – 100% ДТ; 2 – 100% ЛМ; 3 – 25%ЛМ+75%ДТ; 4 – 50%ЛМ+50%ДТ; 5 – 75%ЛМ+25%ДТ

Результаты исследований показали, что наибольшая величина пятна износа при различных режимах нагрузки была достигнута при использовании минерального дизельного топлива (табл. 1).

Таблица 1

Изменение величины пятна износа шарика в зависимости от прилагаемой нагрузки

№ п/п	Нагрузка, Н	Средняя величина пятна износа (за цикл), мм				
		100%ДТ	100%ЛМ	25%ЛМ+75%ДТ	50%ЛМ+50%ДТ	75%ЛМ+25%ДТ
1	500	3,4428	1,1149	2,8741	2,7081	1,5457
2	480	2,5655	0,9718	2,4376	2,4062	1,4760
3	420	1,8308	0,7676	1,2416	1,2311	1,1530
4	200	1,6369	0,5607	1,4559	1,2884	0,8035

Лучшие результаты показали образцы, исследуемые в среде технически очищенного льняного масла (100%ЛМ). Однако анализ ряда научных публикаций [1, 4] позволяет сделать вывод о том, что ухудшение пусковых свойств дизеля при работе на 100% растительных маслах и применение данного состава повлечет за собой конструктивные изменения в системе питания дизеля.

Исследования составов смесей минерально-растительного топлива на основе льняного масла показали следующие результаты. При использовании минерально-растительного топлива с 25% содержанием льняного масла, при нормальной нагрузке 200 Н, средняя величина пятна износа уменьшилась на 0,5 мм в сравнении с минеральным дизельным топливом (100%ДТ), а при достижении нагрузки в 500 Н – разница

составила 1 мм. Полученные данные позволяют утверждать, что минерально-растительное топливо с содержанием льняного масла 25 % уменьшает величину пятна износа минимум на 6%.

Средняя величина нормальной нагрузки в ходе каждого испытания оставалась приблизительно равной приложенной в начале испытания нормальной нагрузке, создаваемой с помощью навешивания на трибометр грузиков.

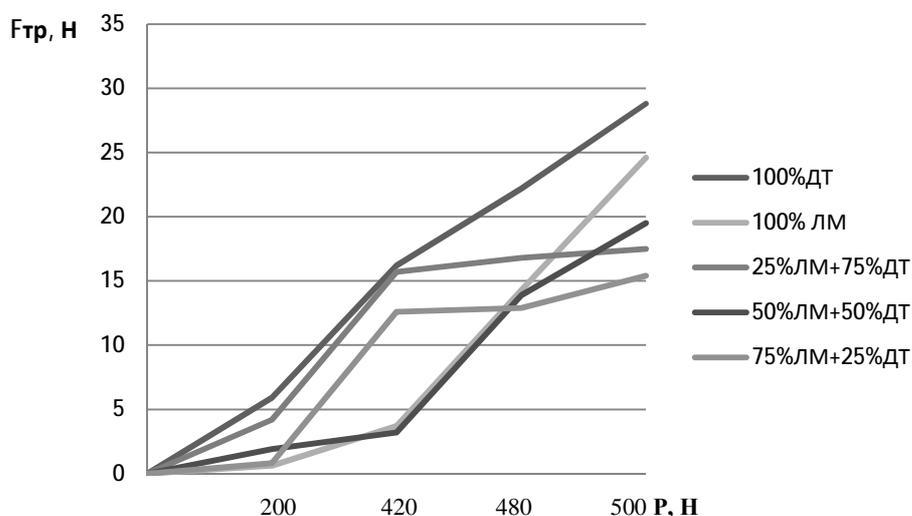


Рис. 2. Зависимость изменения силы трения с увеличением нормальной нагрузки

С увеличением нагрузки температура и сила трения увеличиваются. Так, образцы составов смесей минерально-растительного топлива на основе льняного масла в сравнении с минеральным дизельным топливом показали пониженную температуру. Состав минерально-растительного топлива с 25% содержанием льняного масла при нормальной нагрузке 200 Н показал разницу температур в 5^oС, а при нагрузке в 500 Н – на 14^oС. Увеличение концентрации льняного масла в смеси обратно пропорциональны увеличению силы трения и температуры (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

Изменение конечной температуры в зависимости от концентрации льняного масла в составе смеси

№ п/п	Нагрузка, Н	Конечная температура образца, ^o С				
		100% ДТ	100% ЛМ	25% ЛМ + 75% ДТ	50% ЛМ + 50% ДТ	75% ЛМ + 25% ДТ
1	500	84,13	51,18	70,23	62,91	51,77
2	480	71,74	47,36	53,79	55,15	48,23
3	420	57,59	38,51	43,93	40,99	39,28
4	200	41,15	29,12	36,44	31,64	29,52

Закключение. В ходе проведенных испытаний была определена величина износа в зависимости от процентного содержания льняного масла в минерально-растительном топливе. Выявлен оптимальный состав минерально-растительного топлива на основе льняного масла – 25%ЛМ + 75%ДТ. Результаты испытаний показали, что использование данного состава минерально-растительного топлива в качестве рабочей среды является рациональным и позволит снизить износ деталей и увеличить их ресурс.

Библиографический список

1. Влияние минерально-растительных топлив и смазочных комбинаций на трибологические параметры ресурсоопределяющих сопряжений в сельскохозяйственной технике : отчет о НИР (промежуточ.) / ВНИЦентр ; исполн : Ленивцев Г. А., Володько О. С., Быченин А. П. [и др.]. – М.: ВНИПОАСУ, 2007. – 172 с. – № ГР 01.200511089 – Инв. № 02.20080194102.
2. Ещенкова, Е. А. Хроматографический анализ льняного масла / Е. А. Ещенкова, Г. И. Болдашев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – №1, т. 17. – С. 80-82.
3. Льняное масло [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia /2368.html> (дата обращения: 22.04.2015).
4. Ротанов, Е. Г. Снижение износа плунжерных пар ТНВД применением рационального состава дизельного смесевоего топлива : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Ротанов Евгений Геннадьевич. – Пенза, 2012. – 159 с.
5. Пучков, В. Н. Исследование влияния добавок наноструктурированных материалов на трибологические свойства смазочных масел / В. Н. Пучков, П. П. Заскалько // Трение и смазка в машинах и механизмах. – М. : Машиностроение 2010. – №11. – С. 25-30.

6. Улучшение уровня очистки и трибологических свойств рабочих жидкостей при эксплуатации тракторных гидросистем : отчет о НИР / ВНИЦентр ; исполн : Ленинцев Г. А., Володько О. С., Молофеев М. В. [и др.]. – М. : ВНИПИОАСУ, 2012. – 137 с. – № ГР 01.201062609. – Инв. № 02.201352396.

7. Severa, G. Corecovery of Bio-Oil and Fermentable Sugars from Oil-Bearing Biomass [Электронный ресурс] / G. Severa, G. Kumar, M. J. Cooney // Hindawi Publishing Corporation International Journal of Chemical Engineering. – 2013. – URL: <http://www.hnei.hawaii.edu/sites/www.hnei.hawaii.edu/files/IJChE%20Co-recovery%20paper.pdf> (дата обращения: 2.05.2015).

УДК 539.219.3:53.09

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УПРУГИХ ВОЛН НА ПРОЦЕСС МАССОПЕРЕНОСА В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ

Миронова Татьяна Фёдоровна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика, математика и информационные технологии», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: tmiroнова51@mail.ru

Миронова Татьяна Васильевна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика, математика и информационные технологии», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: mirt_777@mail.ru

Ключевые слова: массоперенос, металлы, радиоактивные, изотопы, упругие, волны.

Цель исследований – улучшить механические свойства и качество поверхности изделий из металлов на основе меди, титана, железа и его сплавов. Образцы в виде цилиндров диаметром 10 мм и высотой 10 мм, изготовленные из чистого металла, подвергались многократной обработке упругими волнами при давлении до 10^9 Па с частотой до 60 импульсов в минуту в нейтральном газе и насыщающей газовой среде. Температура обработки изменялась в интервале 973–1273 К. В экспериментах применялся метод автордиографии и послыйный радиометрический анализ на установке «Бета-1» с изотопами ^{63}Ni , ^{14}C . Установлено, что скорость диффузии никеля в железе, меди и титане увеличилась в 2 раза, причем концентрационный профиль в титане имел немонотонный характер, а глубина диффузионной зоны превысила таковую в меди и железе. При цементации железа и его сплавов с хромом и титаном в результате обработки произошло ускорение процесса насыщения углеродом в 1,5-2 раза при температуре 1273 К и в 10 раз при температуре 973 К. При этом изменился характер фазообразования, после импульсной обработки поверхностный слой железа глубиной до 40 мкм содержал до 65% аустенита. Установлено, что при импульсном сжатии газовой среды возникает максимум концентрации углерода, соответственно и максимум микротвердости, положение которого определяется параметрами обработки и составом сплава. Понижение температуры диффузионного отжига привело к увеличению эффективности применения импульсной обработки.

Совершенствование промышленного производства, выпуск современных машиностроительных конструкций и сельскохозяйственных машин невозможны без создания и освоения материалов, обладающих самыми разнообразными механическими, физико-химическими и эксплуатационными свойствами. В тоже время, свойства материала определяются его составом, внутренним строением, характером предварительной обработки и, безусловно, состоянием его поверхности. Существенное влияние на механические свойства металлов, такие как твердость и прочность, оказывает содержание цементита в поверхностном слое. Импульсная обработка металлов в условиях сжатия окружающей среды, при которой в образец вводится упругая волна, не вызывающая макроскопической деформации материала, может быть использована для «финишной» обработки изделий.

Цель исследований – улучшить механические свойства и качество поверхности изделий из металлов на основе меди, титана, железа и его сплавов.

Задача исследований – изучить особенности фазообразования и массопереноса в меди, титане, железе и его сплавах при взаимодействии их с никелем и углеродом в условиях упругой деформации.

Материалы и методы исследований. Для экспериментальных исследований была использована специальная установка [1], в которой импульсное воздействие на образец передавалось через газообразную среду. Данная установка позволяла осуществлять многократную импульсную обработку образцов в диапазоне давлений от 10^5 до 10^9 Па с частотой от 1 до 100 импульсов в минуту. Обработка образцов проходила либо в нейтральном газе, либо в насыщающей газовой среде. Температуру эксперимента можно было изменять от 973 до 1273 К. Режимы обработки образцов представлены в таблице 1.

В исследованиях применялся метод снятия слоев и автордиография. На торцевую поверхность подготовленных образцов электролитическим способом наносился слой изотопа ^{63}Ni толщиной 0,3 мкм и активностью 10^3 - 10^4 Бк, причем однородность и толщина покрытия контролировались [2]. Насыщение образцов

углеродом проводилось в твердом карбюризаторе BaCO_3 , содержащем радиоактивный углерод ^{14}C , в течение 2 ч при температуре 1253 К. Для измерения активности образцов при проведении послойного радиометрического анализа использовали установку «Бета-1» [3]. В экспериментах также применялся метод автордиографии. Однако, в случае малых глубин проникновения меченых атомов, стандартное использование указанного метода оказывается малоинформативным, поэтому в отдельных случаях автордиография выполнялась с косых шлифов при угле среза $4^\circ 45'$ [4].

Таблица 1

Режимы обработки образцов

Основа	Изотоп	Температура, К	Среда	Число импульсов в минуту	Длительность импульса, с	Максимальное давление, Па	Время отжига, с
Fe	^{63}Ni	1073	аргон	40	0,1	10^9	$3,6 \cdot 10^3$
Cu	^{63}Ni	1073	аргон	40	0,1	10^9	$3,6 \cdot 10^3$
Ti	^{63}Ni	1193	аммиак	60	0,1	10^9	$1,08 \cdot 10^4$
Fe	^{14}C	1223	аргон	60	0,1	10^9	$3,6 \cdot 10^3$
Fe-1%Cr	^{14}C	1223	аргон	60	0,1	10^9	$3,6 \cdot 10^3$
Fe-1,2%Ti	^{14}C	1223	аргон	60	0,1	10^9	$3,6 \cdot 10^3$
Fe-1,2%Ti	^{14}C	973	аргон	60	0,1	10^9	$7,2 \cdot 10^3$

Результаты исследований. Результаты проведенных исследований в железе и меди (рис. 1, а, б) показали, что импульсная обработка привела, прежде всего, к существенному увеличению глубины проникновения изотопа в основу. Расчет коэффициентов диффузии дал следующие величины: никеля в железе без обработки $D = 6,9 \cdot 10^{-16} \text{ м}^2/\text{с}$, после обработки $D_{\text{и}} = 1,24 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2/\text{с}$; никеля в меди: $D = 8,7 \cdot 10^{-16} \text{ м}^2/\text{с}$ и $D_{\text{и}} = 1,82 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2/\text{с}$. То есть, многократная импульсная обработка привела к увеличению скорости диффузии почти в 2 раза.

При обработке титана (рис. 1, в) по аналогичной схеме было установлено, что протяженность зоны массопереноса также увеличилась, а расчет коэффициентов диффузии дал следующие величины: без обработки $D = 7,3 \cdot 10^{-14} \text{ м}^2/\text{с}$ и после обработки $D_{\text{и}} = 8,7 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2/\text{с}$. Следует заметить, что распределение радиоактивного никеля в основе имело более сложный характер, на глубине порядка 25 мкм появлялся максимум концентрации ^{63}Ni , возможно связанный с тем, что обработка проводилась в среде аммиака. При этом вместе с диффузией никеля титан насыщался азотом, поступающим из окружающей среды. Возможно также, что появление максимума на концентрационной кривой связано с многократностью импульсного нагружения, подобно тому, как это происходит, при многократной импульсной ударной или лазерной обработке.

Насыщение образцов углеродом проводили в стандартном карбюризаторе, содержащем радиоактивный углерод ^{14}C [5]. Фазовый анализ зоны массопереноса Fe-армко показал, что в результате цементации в поверхностном слое без обработки образовалось 35% аустенита, а после импульсного воздействия его количество увеличилось до 65%. Установлено также, что после импульсной обработки поверхностный слой представлял собой сочетание двух фаз, а именно α - и β -железа, тогда как цементит отсутствовал.

Микродюрометрический анализ образцов показал, что их микротвердость после импульсной обработки оказалась выше на всем протяжении зоны массопереноса (рис. 2, а), а на глубине порядка 200 мкм имелся максимум микротвердости. Импульсная обработка привела к повышению концентрации углерода в матрице обрабатываемого металла на 15-20%, а в приповерхностном слое - более чем на 30%. Анализ результатов автордиографии для железа (рис. 2, б) позволил сделать вывод о том, что характер распределения углерода в образцах идентичен изменению микротвердости [6]. Протяженность диффузионной зоны образца после импульсной обработки увеличилась примерно в 1,4 раза. Расчет коэффициентов диффузии дал следующие величины: без обработки $D = 3,4 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ и после обработки $D_{\text{и}} = 7,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$.

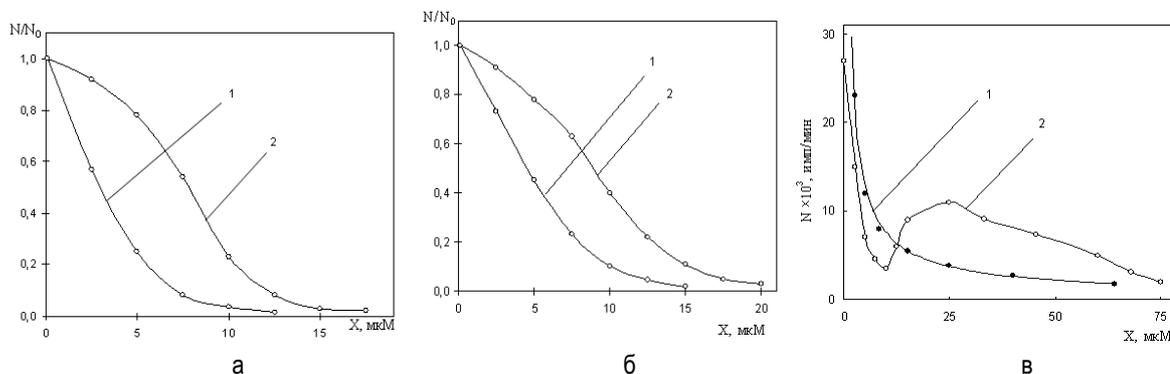


Рис. 1. Распределение ^{63}Ni в железе (а), меди (б) и титане (в) до (1) и после (2) диффузионного отжига

При исследовании процесса цементации сплава Fe-1%Cr установлено, что импульсная обработка образцов привела также к возникновению максимума микротвердости (рис. 3, а), а протяженность диффузионной зоны увеличилась в 1,4 раза (рис. 3, б). Заметно отличались и рассчитанные коэффициенты диффузии: без обработки $D = 4,4 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$, после обработки $D_u = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, причем их отношение составило значение $D_u/D = 2,7$, что практически в 1,5 раза больше, чем для случая Fe-армко.

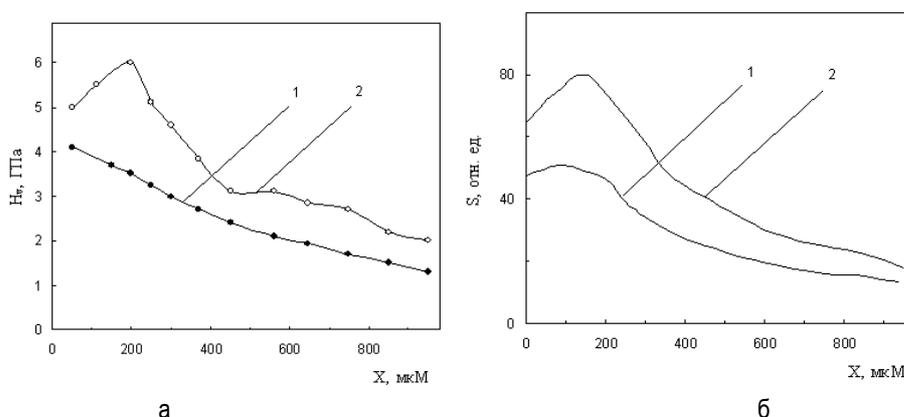


Рис. 2. Изменение микротвердости железа (а) и концентрационные кривые распределения ^{14}C в железе до (1) и после (2) обработки

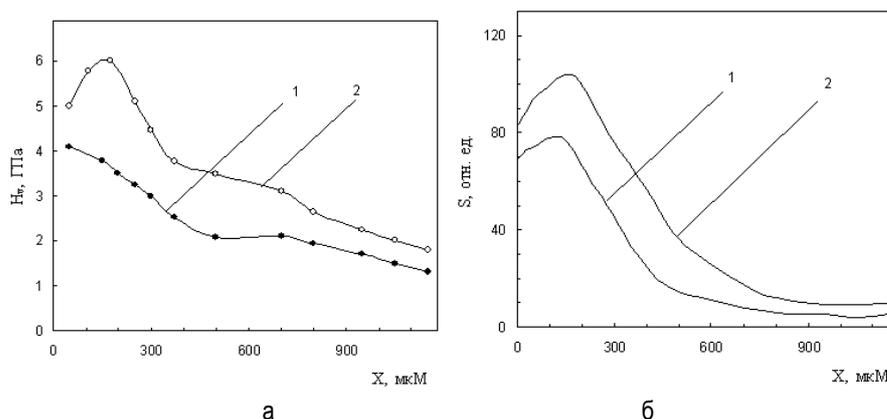


Рис. 3. Изменение микротвердости (а) и концентрационные кривые распределения ^{14}C (б) в сплаве Fe-1%Cr до (1) и после (2) обработки

Насыщение углеродом сплава Fe-1,2%Ti в аналогичных условиях дало весьма схожие результаты: максимум микротвердости и концентрации углерода, увеличение протяженности зоны массопереноса после импульсной обработки в 1,4 раза. Расчет коэффициентов диффузии дал значения: без обработки $D = 3,7 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ после обработки $D_u = 6,9 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$, а их отношение составило $D_u/D = 1,9$. Следовательно, наиболее эффективным оказалось влияние импульсной обработки для сплава Fe-Cr.

Результаты исследования процесса цементации сплавов при температуре 973 К позволили сделать вывод о том, что при понижении температуры отжига на 250 К эффективность импульсной обработки существенно возрастает. Для сплава Fe-1,2%Ti глубина диффузионной зоны увеличилась с 0,5 до 0,15 мм, а расчет коэффициентов диффузии дал значения: без обработки $D = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$, после обработки $D_u = 1,7 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$, а их отношение составило уже $D_u/D = 10,6$.

Следует подчеркнуть, что и в этом случае наблюдался максимум микротвердости в диффузионной зоне [7], однако его абсолютное значение при данной температуре оказалось несколько ниже, чем при температуре $T=1223 \text{ К}$.

Заключение. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) диффузионная подвижность атомов замещения и внедрения в металлах и сплавах в условиях многократного импульсного сжатия газовой среды существенно увеличивается;
- 2) концентрация углерода в насыщаемом слое металла в условиях импульсного сжатия газовой среды значительно повышается, и, как следствие, растет его микротвердость;
- 3) при импульсном сжатии газовой среды возникает максимум концентрации углерода, соответственно и максимум микротвердости, положение которого определяется параметрами обработки и составом сплава;

4) понижение температуры диффузионного отжига приводит к увеличению эффективности применения импульсной обработки для металлов и сплавов, что позволяет значительно сократить энергозатраты в процессе обработки.

Библиографический список

1. Мазанко, В. Ф. Диффузионные процессы в металлах под действием магнитных полей и импульсных деформаций : монография: в 2 т. Т. 2 / В. Ф. Мазанко, А. В. Покоев, В. М. Миронов [и др.]. – М. : Машиностроение, 2006. – 320 с.
2. Бокштейн, Б. С. Диффузия атомов и ионов в твердых телах : монография / Б. С. Бокштейн, Я. Б. Ярославцев. – М. : МИСИС, 2005. – 362 с.
3. Азаренков, Н. А. Моделирование диффузионных процессов и экспериментальное определение параметров диффузии в конструкционных материалах с использованием радиоактивных изотопов / Н. А. Азаренков, В. Е. Семенов, Н. Г. Стервоедов [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2007. – №2. – С. 76-81. – (Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»).
4. Бородавка, А. Е. Компьютеризированный комплекс для исследования процессов диффузии в металлах и сплавах радиоактивным методом / А. Е. Бородавка, А. С. Посухов, В. Е. Семенов [и др.] // Радиофизика и электроника. – 2005. – №4. – С. 162-165.
5. Бобырь, С. В. Анализ процесса графитизации в железоуглеродистых сплавах на основе термодинамики необратимых процессов // Металлофизика и новейшие технологии. – 2013. – Т. 35, Вып. 2. – С. 199-208.
6. Котречко, С. А. Новые подходы к оценке взаимосвязи свойств прочности, пластичности и механической стабильности / С. А. Котречко, Ю. Я. Мешков, А. В. Шиян [и др.] // Металлофизика и новейшие технологии. – 2011. – Т. 33, вып. 9. – С. 1277-1290.
7. Azhaza, V. M. Microstructure and hardness of natural composite materials / V. M. Azhaza, N. A. Azarenkov, V. E. Semenenko, V. V. Podzolkova // Modern Materials Science: Achievements and Problems. – Kiev, 2005. – Vol. 1. – P. 15-17.

УДК 621.436

ВЛИЯНИЕ РЫЖИКОВОГО МАСЛА НА ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА

Болдашев Геннадий Иванович, канд. техн. наук, проф. кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: SSAA_Ingener@mail.ru

Быченин Александр Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: tia_sci_ssaa@mail.ru

Приказчиков Максим Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: SSAA_Ingener@mail.ru

Быченина Марина Александровна, соискатель кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: tia_sci_ssaa@mail.ru

Ключевые слова: топливо, смешевое, пара, свойства, противоизносные.

Цель исследования – повысить противоизносные свойства дизельного топлива введением малых (до 10% по объему) доз рыжикового масла. Представлены теоретические предпосылки повышения противоизносных свойств смешевого топлива за счет использования в качестве присадки растительных масел, содержащих органические поверхностно-активные вещества. Приведены методика и результаты поисковых исследований противоизносных свойств смешевого топлива с присадкой рыжикового масла. Исследования проводились на универсальном трибометре типа ТУ на четырехшариковом узле трения. Концентрация рыжикового масла в топливе менялась от 0 до 10% по объему с шагом в 2%. Нагрузка, частота вращения шпинделя и материал деталей узла трения не изменялись. Исследования показали, что при концентрации рыжикового масла 2% по объему средний диаметр пятна износа снизился на 26,1% (с 1,1255 при использовании дизельного топлива без добавок до 0,8317 мм при добавлении 2% рыжикового масла). При концентрации рыжикового масла 4% средний диаметр пятна износа снизился на 35,94% от первоначального. При дальнейшем увеличении концентрации рыжикового масла (6, 8 и 10% по объему) снижение диаметра пятна износа составило соответственно 36,56; 37,32 и 38,57%. Установлено, что для значительного повышения трибологических свойств дизельного топлива достаточно ввести в его состав 2-4% рыжикового масла по объему. Дальнейшее увеличение концентрации противоизносной присадки значительного эффекта не дает, но использование смешевых топлив с содержанием растительных масел до 50% по объему рационально с точки зрения экономии топлив нефтяного происхождения.

Тракторы, оснащенные дизельными двигателями внутреннего сгорания, являются основой парка энергетических средств в сельском хозяйстве. При этом дизели всех модификаций потребляют дизельное топливо минерального происхождения. Гибридные силовые установки и прочие средства повышения экономичности, например, отключение части цилиндров при низких нагрузках [1], часто ведут к снижению мощностных показателей, что неприемлемо для энергетического средства, призванного обеспечивать эффективную работу сельскохозяйственных машин и агрегатов. В связи с этим наличествует проблема экономии невозобновимых запасов нефти, из которой производится большинство современных жидких топлив. С другой стороны, существует проблема повышения ресурса топливоподающей аппаратуры, которая смазывается топливом. В современных системах ТПА, где давление впрыска достигает 200-206 МПа (в традиционной ТПА непосредственного действия – не более 40 МПа), задача сохранения ресурса прецизионных пар стоит еще острее. Наиболее актуальным и перспективным способом решения данных проблем является частичное или полное замещение минеральных топлив топливами биологического происхождения. Таким изысканиям, особенно использованию растительных масел в качестве компонентов смесевых топлив (с содержанием биокомпонента до 50% по объему) посвящено значительное количество научных работ [2, 3], однако вопрос использования малых количеств растительных масел в качестве противоизносных присадок рассмотрен недостаточно широко.

Цель исследований – повысить противоизносные свойства дизельного топлива введением малых (до 10% по объему) доз рыжикового масла.

Задачи исследований: провести краткий анализ растительных масел, используемых в качестве компонентов смесевых топлив; теоретически обосновать влияние биокомпонента на режим трения в прецизионных парах дизельной топливоподающей аппаратуры; экспериментально оценить влияние рыжикового масла на диаметр пятна износа при испытаниях на универсальном трибометре типа ТУ на примере топлив с концентрацией рыжикового масла до 10% по объему.

Помимо традиционных нефтяных моторных топлив в настоящее время во многих странах идет активное освоение альтернативных энергоносителей. На взгляд авторов, самым рациональным способом их использования является применение в тракторной технике смесевых минерально-растительных топлив, представляющих собой смеси дизельного топлива с растительными маслами в разных пропорциях. В качестве компонентов таких топлив используются рапсовое, сурепное, рыжиковое, горчичное и другие растительные масла. Наиболее распространено использование рапсового масла. Например, автор работы [1] пришел к выводу, что наиболее оптимальным составом смесевых минерально-растительного топлива на основе рапсового масла является смесь 70% ДТ + 30% РМ (в объемных долях). При этом мощностные показатели двигателя снижаются незначительно (5,6-8,5%), расход смесевых топлив по сравнению с минеральным увеличивается на 10%, и обеспечивается снижение дымности на 44%. К похожим выводам пришел автор работы [4]. Исследованию влияния смесевых минерально-растительного топлива на основе рапсового масла на ресурс плунжерных пар ТНВД дизелей посвящены работы [5, 6]. Также достаточно широко представлены исследования использования в качестве компонентов смесевых топлив рыжикового, льняного и горчичного масла [3], однако их влияние на противоизносные свойства смесевых топлив практически не исследованы, в связи с чем возникает необходимость оценки перспективности использования этих масел с точки зрения повышения ресурса дизельной ТПА. Данному вопросу посвящены работы [7, 8], но в них рассматривались либо противоизносные свойства смесевых топлив с содержанием биокомпонента до 50% по объему [7], либо противоизносные свойства масел при различной нагрузке [8], поэтому вопрос влияния небольших доз растительных масел в смесевых топливах на ресурс дизельной ТПА остается актуальным.

В соответствии с целью исследования в процессе эксперимента выявлялось повышение противоизносных свойств смесевых топлив при использовании рыжикового масла в качестве противоизносной присадки. Объект исследования – процесс смазывания прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры при применении рыжикового масла в качестве противоизносной присадки к дизельному топливу. Предмет исследования – взаимосвязь параметров процесса работы топливной аппаратуры при применении топлива с присадкой органического происхождения, условия трения в сопряжениях прецизионных пар, изнашивание их деталей.

Анализ химического состава растительных масел (табл. 1) показывает, что в них содержится значительное количество органических поверхностно-активных веществ (ПАВ). ПАВ способствуют образованию на поверхности трения защитной пленки, значительно снижающей нагрузки на материал детали, что в результате приводит к уменьшению износа.

Процесс трения в сопряжении в присутствии поверхностно-активных веществ характеризуется наличием граничного слоя, состоящего из пространственно-ориентированных молекул [5]. Этот слой может быть как мономолекулярным, так и полимолекулярным. Возникновение данного слоя обусловлено особенностями

строения молекул поверхностно-активных веществ. На рисунке 1 представлены схема строения нормальной жирной кислоты и схема формирования пространственно-ориентированных слоев ПАВ. Схему образования мультимолекулярного граничного слоя можно представить, основываясь на идее формирования мультимолекулярного граничного слоя из димеров – молекул с ярко выраженными полюсами (рис. 1, а, б, в). Образовавшаяся на поверхности твердого тела адсорбционная пленка обладает весьма ценными свойствами – истинной упругостью формы и высочайшей механической прочностью.

Таблица 1

Состав растительных масел

Кислота	Процентное содержание				
	Горчичное	Рыжиковое	Льняное	Соевое	Подсолнечное
Олеиновая	45%	12-20%	13-29%	23-29%	24-40%
Линоленовая	14%	35-39%	44-61%	3-6%	1%
Линолевая	32%	14-22%	15-30%	51-57%	46-62%
Пальмитиновая	-	5-7%	-	2,5-6%	3,5-6,4%
Стеариновая	-	2-2,5%	-	4,5-7,3%	1,6-4,6%

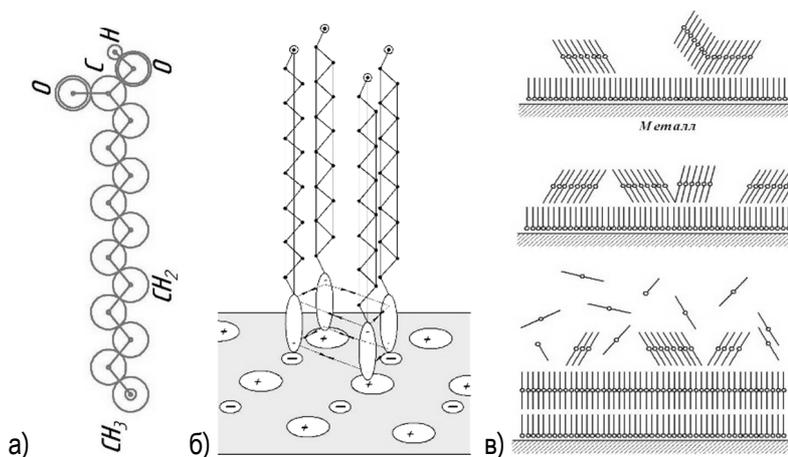


Рис. 1. Схема строения нормальной жирной кислоты (а) и схема формирования насыщенного мономолекулярного (б) и мультимолекулярного (в) слоя из димеров полярных молекул

Сущностью предлагаемого способа повышения противозносных свойств смесового топлива является улучшение режима смазывания сопряжения за счет образования на поверхностях трения демпфирующих пленок органических ПАВ, содержащихся в рыжиковом масле. Выбор рыжикового масла в качестве противозносной присадки обосновывается результатами исследований, приведенных в работах [7, 8]. В связи с этим в учебно-научно-исследовательской лаборатории «Повышение надежности и эффективности механических систем» СГСХА были проведены поисковые исследования смесевых топлив с концентрацией рыжикового масла до 10% по объему (рис. 2), которые подтвердили справедливость этого предположения.

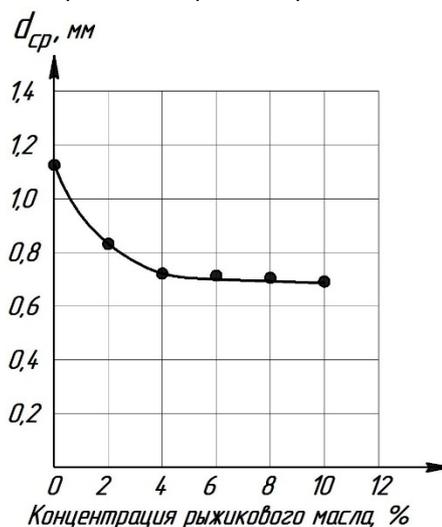


Рис. 2. Результаты испытаний смесового топлива на универсальном трибометре типа ТУ

Исследования проводились на универсальном трибометре типа ТУ по следующей методике: время опыта 600 с; частота вращения приводного вала 1220 мин⁻¹; нагрузка 450 Н с шагом 25 Н; концентрация рыжикового масла от 0 до 10% с шагом 2%. Схема работы – четырехшариковый узел трения. В каждом цикле испытаний использовались одни и те же шарики, которые выдерживались в испытуемой смазочной среде не менее одного часа. Оценивался средний диаметр пятна износа, измеренный на трех неподвижных шариках в двух взаимоперпендикулярных направлениях на каждом. Измерения проводились при помощи электронного микроскопа BW1008-500X.

Из анализа результатов исследований, представленных графиком (рис. 2), можно сделать вывод, что уже при концентрации рыжикового масла 2% по объему происходит резкое снижение диаметра пятна износа (с 1,1255 до 0,8317 мм, или на 26,1%), то есть в контакте образовались мультимолекулярные слои ПАВ, препятствующие внедрению неровностей одной поверхности в другую, что привело к уменьшению механического изнашивания. При концентрации рыжикового масла 4% по объему диаметр пятна износа уменьшился до 0,7210 мм, или на 35,94% от первоначального значения, при смазывании чистым дизельным топливом. Последующее увеличение концентрации не дает столь значительного результата: при 6, 8 и 10% рыжикового масла уменьшение диаметра пятна износа составляет 36,56; 37,32 и 38,57% соответственно. Из этого следует, что дальнейшее увеличение концентрации рыжикового масла в смесевом топливе на его противоизносные свойства влияния практически не оказывает. Однако эти данные требуют уточнения в процессе последующих испытаний на роликовой машине трения и в стендовых испытаниях с использованием ТНВД.

Заключение. Анализ растительных масел, используемых в качестве компонентов смесевых топлив для тракторной техники показал, что наиболее рационально использование рыжикового масла. Приведены теоретические предпосылки повышения противоизносных свойств смесевых топлив, содержащих поверхностно-активные вещества органического происхождения, а также результаты лабораторных исследований, подтверждающие их. Наличие рыжикового масла даже в небольших концентрациях (до 10% по объему) улучшают режим трения прецизионных пар дизельной топливоподающей аппаратуры. Поисковые исследования на универсальном трибометре типа ТУ показали, что для увеличения противоизносных свойств смесевых топлив на основе рыжикового масла достаточно концентрации биокон компонента в 2-4% по объему. Дальнейшее увеличение концентрации рыжикового масла рационально для решения задачи экономии топлив нефтяного происхождения, но на ресурс прецизионных пар дизельной ТПА практически не влияет.

Библиографический список

1. Федосеев, С. Ю. Повышение топливной экономичности тракторно-транспортного агрегата отключением части цилиндров двигателя : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Федосеев Семен Юрьевич. – Челябинск, 2015. – С. 24.
2. Фомин, В. Н. Повышение технико-экономических показателей автотракторных дизелей, работающих на минерально-растительном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Фомин Вадим Николаевич. – Ульяновск, 2011. – С. 18.
3. Голубев, В. А. Эффективность использования тракторного агрегата на горчично-минеральном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03, 05.20.01 / Голубев Владимир Александрович. – Пенза, 2012. – С. 21.
4. Аверьянов, А. С. Улучшение параметров топливоподачи дизеля при работе на смесевом рапсово-минеральном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Аверьянов Александр Сергеевич. – Пенза, 2013. – С. 19.
5. Быченин, А. П. Повышение ресурса плунжерных пар топливного насоса высокого давления тракторных дизелей применением смесевых минерально-растительного топлива : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Быченин Александр Павлович. – Пенза, 2007. – 172 с.
6. Ротанов, Е. Г. Снижение износа плунжерных пар ТНВД применением рационального состава дизельного смесевых топлив : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Ротанов Евгений Геннадьевич. – Пенза, 2012. – С. 19.
7. Быченин, А. П. Влияние смесевых минерально-растительных топлив на ресурс прецизионных пар топливоподающей аппаратуры дизельных двигателей / А. П. Быченин, М. А. Быченина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №3. – С. 54-59.
8. Болдашев, Г. И. Сравнительный анализ противоизносных свойств растительных масел / Г. И. Болдашев, А. П. Быченин, М. А. Быченина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Спец. вып.: Актуальные проблемы трибологии. – Самара, 2015. – Т. 15, №1. – С. 197-200.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Гузачёв Александр Сергеевич, аспирант кафедры «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова».

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60

E-mail: alexandrosoza@mail.ru

Ключевые слова: алгоритм, реализация, система, техническое, обслуживание, ремонт, электрооборудование.

Цель исследований – обоснование применения алгоритмического подхода при модернизации системы ТО и Р электрооборудования в сельскохозяйственном производстве. В статье рассмотрена проблема модернизации системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования (ТО и Р) в сельскохозяйственном производстве. Система ТО и Р электрооборудования включает в себя комплекс взаимосвязанных организационных и технологических мероприятий? необходимых для поддержания и восстановления его работоспособности. Особенности эксплуатации электрооборудования в условиях сельскохозяйственной среды неблагоприятны для его функционирования, что заставляет производителей адаптировать его к существующим условиям. Добиться повышения показателей надежности и производительности электрооборудования одним изменением его конструкции невозможно. Необходимо специально адаптированная к конкретному сельскохозяйственному производству система ТО и Р, для создания которой, необходимо провести мероприятия по модернизации действующей системы. Для проведения модернизации предложено использовать разработанный алгоритм реализации системы ТО и Р, внедрение которого позволяет адаптировать её к потребностям конкретного производства, а процесс использования системы подчинить чёткому контролю. Модернизация системы ТО и Р с использованием алгоритмического подхода позволит оптимизировать трудовые и финансовые ресурсы предприятия, исключить балластные процессы в операциях ТО и Р, придать гибкость в управлении системой. Сущность алгоритмического подхода заключается в дифференцировании процессов ТО и Р на уровни реализации. В рамках алгоритма реализации системы ТО и Р предложено использовать методику позиционирования, которая даёт возможность оценить текущее состояние технической, экономической и трудовой сферы производства, а также выработать локальную политику управления ТО и Р и определить стратегию реализации этой системы. Обоснование алгоритма реализации системы ТО и Р расширяет теоретические и практические положения, в области технического обслуживания и ремонта электрооборудования, применяемые в науке, технике и производстве.

Исследование методик и способов модернизации системы ТО и Р электрооборудования в сельскохозяйственном производстве является актуальной для настоящего времени задачей. Вопрос совершенствования системы ТО и Р и её адаптации к условиям сельскохозяйственного производства неоднократно рассматривался российскими учёными [1-4]. В научных статьях авторы обращают внимание на то, что одной из самых главных проблем при эксплуатации электрооборудования в сельскохозяйственном производстве является низкий уровень качества мероприятий по ТО и Р и их неприспособленность к условиям сельскохозяйственной среды. В отечественной практике последний отраслевой вариант системы планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий был опубликован в 1987 г. [5]. Государственный стандарт (ГОСТ 18322 – 78), устанавливающий применение терминов и определений системы технического обслуживания и ремонта, датирован 1978 г. [6]. Между тем за 30 лет в сельскохозяйственной отрасли обновились технологии производства, изменились конструкция применяемого электрооборудования и производственный процесс. Очевидно, что дальнейшая пролонгация устаревшей системы технического обслуживания и ремонта на современном сельскохозяйственном производстве приведет к значительному снижению общей эффективности использования электрооборудования. Ситуация осложняется тяжёлым экономическим положением многих сельскохозяйственных предприятий, так как бюджет урезается, сокращается состав электротехнической службы (ЭТС). Поэтому использовать регламентированный планово-предупредительный ремонт (ППР) становится все труднее, что приводит к снижению эффективности работ по ТО и Р или вовсе переходу к регрессивной стратегии ремонта «после отказа» [7]. Хотя детальный анализ условий производства позволяет перейти к более экономичному варианту стратегии ТО и Р электрооборудования. Так, например, послеосмотровая стратегия при анализе экономических факторов оправдана, если стоимость средств диагностики для малоответственного электрооборудования в 1,33 раза меньше среднегодовой стоимости ремонта, а для более ответственного – в 4 раза и более [8]. Таким образом, для модернизации системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования необходимо определить такой подход, который позволит учесть особенности конкретного сельскохозяйственного производства и определить методологическую основу для наращивания эффективности.

Цель исследований – обоснование применения алгоритмического подхода при модернизации системы ТО и Р электрооборудования в сельскохозяйственном производстве.

Задачи исследований – определить процессы ТО и Р электрооборудования и последовательность их реализации на предприятии; дифференцировать процессы ТО и Р электрооборудования на 5 уровней реализации системы ТО и Р; обосновать методику позиционирования на уровне разработки системы ТО и Р электрооборудования; обосновать термин «корректировка системы ТО и Р»; построить алгоритм реализации системы ТО и Р электрооборудования.

Материалы и методы исследований. Одна из важнейших проблем модернизации системы ТО и Р электрооборудования – отсутствие системного подхода. Сам процесс реализации системы регламентируется узкими рамками стратегий ТО и Р и часто «заточен» под конкретное производство. Для решения данной задачи необходимо построить общий мультипликативный алгоритм реализации системы ТО и Р, который можно применить в любой отрасли независимо от политики управления и стратегии реализации. Построенный алгоритм включает в себя все стадии реализации системы от её разработки, внедрения и использования до оценки работы и корректировки (рис. 1). В теоретическую основу алгоритма реализации системы ТО и Р лег замкнутый цикл Деминга. Актуальность внедрения данного алгоритма подтверждается мировой практикой в управлении активами (стандарт ISO 55000), отечественными стандартами серии ГОСТ Р 55.0.xx, где организация системы управления активами также строится на цикле Деминга. Важно отметить, что для обеспечения соответствия системы ТО и Р требованиям сельскохозяйственного предприятия необходимо проведение внутреннего аудита процессов в рамках алгоритма реализации системы ТО и Р. Проводить его необходимо основываясь на программу и календарный план аудитов. Проведение внутреннего аудита может охватывать как всю систему в целом, так и её составные части. Исходные данные аудита в последующем могут использоваться как для устранения несоответствий системы и поставленных целей, так и для её улучшения и анализа высшим руководством.



Рис. 1. Алгоритм реализации системы ТО и Р

Результаты исследований. Для эффективного функционирования алгоритма реализации системы ТО и Р необходима его интеграция в информационную систему управления и как следствие разработка программного обеспечения (ПО). Разработка ПО – трудоёмкая и многокомпонентная задача и поэтому, чтобы облегчить её, необходимо воспользоваться существующими решениями в области управления ТО и Р. Примером такого решения может служить отечественный программный продукт TRIM, разработанный НПП «СпецТек». TRIM – это информационная система, предназначенная для управления физическими активами и в том числе мероприятиями по их техническому обслуживанию, ремонту и модернизации. Интеграция алгоритма реализации системы ТО и Р электрооборудования в информационную систему TRIM, и последующее внедрение данного решения на сельскохозяйственном предприятии, позволит автоматизировать и оптимизировать всю систему ТО и Р в комплексе.

Алгоритм реализации системы ТО и Р состоит из 5 уровней. Рассмотрим каждый из них подробнее.

Уровень 1. Разработка системы технического обслуживания и ремонта.

Разработка системы ТО и Р требует привлечения квалифицированных специалистов. Как правило, к данному процессу привлекается либо электротехническая служба предприятия, либо коммерческая компания, специализирующаяся на управлении фондами и процессами их технического обслуживания и ремонта. Российский рынок услуг в данной сфере в отличие от западного только переживает период развития.

Разработка системы ТО и Р электрооборудования – очень сложная и трудоёмкая задача. Неправильно принятое решение на стадии разработки, может привести к значительным потерям при внедрении, и

увеличить ущерб от него с переходом на каждый новый уровень реализации системы ТО и Р. Для решения данной задачи следует воспользоваться методикой позиционирования. Позиционирование широко используется в маркетинговых исследованиях для поиска такой рыночной позиции для компании, которая будет выгодно отличать её от конкурентов [9]. Адаптировав данную методику для разработки системы ТО и Р к сельскохозяйственному производству, можно получить информацию о текущей ситуации в области технического обслуживания и ремонта на предприятии в формате «as-is» (как есть), а также осуществить выработку стратегии ТО и Р электрооборудования. Методика позиционирования включает в себя 3 фазы, в рамках которых и будет проходить разработка системы ТО и Р:

1) *определение текущей позиции:*

а) анализ причин внесения изменений в систему ТО и Р (при внедрении на уже функционирующем предприятии);

б) анализ технического состояния всего объема электрооборудования на предприятии;

в) анализ состояния ЭТС;

г) анализ финансового-экономического положения в секторе технического обслуживания на предприятии;

2) *выбор желаемой позиции:*

а) постановка конкретных целей к системе ТО и Р по принципу S.M.A.R.T (цели должны быть конкретны, измеримы, достижимы, рациональны и определены во времени) с учетом текущей позиции;

б) постановка задач к системе ТО и Р;

3) *разработка стратегии для достижения желаемой позиции:*

а) выработка локальной политики, определяющей конкретные цели, задачи и обязательства в области технического обслуживания и ремонта;

б) определение стратегии ТО и Р электрооборудования;

в) SWOT- анализ стратегии ТО и Р [10];

г) построение стратегии ТО и Р и адаптация её к конкретному производству.

Уровень 2. Внедрение стратегии управления техническим обслуживанием и ремонтом.

Необходимо понимать, что даже самые новые стратегии ТО и Р, разработанные лучшими специалистами, могут оказаться провальными на стадии внедрения. Внедрение стратегии управления ТО и Р разделяет уровни разработки и использования и необходимо для подготовки производства к работе в изменяющихся условиях. Залогом успешного внедрения стратегии ТО и Р является последовательность принимаемых практических решений и совокупный контроль над процессом внедрения. Таким образом, введение локальной политики и стратегии ТО и Р связано с реализацией следующих задач:

- формированием программы подготовки и обучения персонала ЭТС для работы в рамках новой стратегии;
- приобретением и введением в работу при необходимости вспомогательного оборудования и информационных систем для реализации стратегии ТО и Р;
- подготовкой сопроводительной документации для ТО и Р;
- определением графиков проведения диагностики электрооборудования, ППР, ТО в соответствии с текущей стратегией и т. д.
- распределением эксплуатационной ответственности между персоналом ЭТС реализующим ТО и Р.

Уровень 3. Использование системы технического обслуживания и ремонта.

Использование системы ТО и Р – важнейшая часть алгоритма. Именно на этом уровне подтверждается правильность теоритических шагов при разработке и внедрении системы ТО и Р. Использование её включает в себя следующие задачи:

- выполнение локальной политики и стратегии ТО и Р;
- учет произведенных работ и регистрация полученных результатов;
- соблюдение мер безопасности человека, биологических объектов и окружающей среды.

Уровень 4. Оценка системы технического обслуживания и ремонта.

Использование системы ТО и Р – далеко не последний этап её реализации. Постоянный контроль и измерение всех возможных параметров работы системы, а также оценка эффективности применяемых решений позволяют не только обнаружить слабые места в системе ТО и Р электрооборудования, но и определить, достигнуты ли цели, поставленные при выборе локальной политики. Для оценки системы ТО и Р необходимо решить следующие задачи:

- определить показатели качества, отражающие эффективность системы ТО и Р;
- произвести измерения и рассчитать значения показателей качества;
- оценить эффективность системы ТО и Р электрооборудования на основе полученных значений.

Уровень 5. Корректировка системы технического обслуживания и ремонта.

Анализ результатов оценки приводит к пониманию необходимости повышения эффективности системы ТО и Р. Термин «корректировка системы ТО и Р», сформулированный в данном исследовании, подразумевает выполнение комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности системы ТО и Р.

Мероприятия по корректировке системы ТО и Р следует рассматривать как элемент улучшения системы менеджмента качества и проводить их согласно национальному стандарту РФ ГОСТ Р ИСО 901-2008. Системы менеджмента качества. Требования. Важно отметить, что мероприятия по корректировке ничем не регламентированы, так как могут касаться любой части в структуре системы ТО и Р электрооборудования и быть ограничены лишь финансовыми возможностями производства и уровнем научно-технического прогресса. Корректировка системы ТО и Р вследствие возможных изменений в локальной политике и стратегии схожа с процессом разработки системы, поэтому может потребовать применения методики позиционирования. В таком случае позиционирование системы ТО и Р выполняется аналогично предложенному ранее способу, после чего она вновь проходит уровни внедрения, использования, оценки и корректировки.

Заключение. Таким образом, применение алгоритмического подхода при модернизации системы ТО и Р электрооборудования в сельскохозяйственном производстве позволит: оценить трудовые и финансовые затраты на реализацию системы ТО и Р электрооборудования на сельскохозяйственном производстве; выработать локальную политику управления ТО и Р для конкретного сельскохозяйственного производства; повысить надежность производства за счет индивидуального подхода к оценке технического состояния и выработке стратегии ТО и Р каждой единицы электрооборудования; высвободить денежный ресурс за счет исключения балластных процессов и работ по ТО и Р; выработать механизм для постоянного наращивания эффективности системы ТО и Р посредством её корректировки на основе оценки и анализа решений, реализуемых руководством предприятия.

Библиографический список

1. Ерошенко, Г. П. Адаптация эксплуатации электрооборудования к особенностям сельскохозяйственного производства : монография / Г. П. Ерошенко, С. М. Бакиров. – Саратов : ИЦ «Наука», 2012. – 132 с.
2. Сазыкин, В. Г. Перспективы совершенствования системы технического обслуживания и ремонта изношенного электрооборудования / В. Г. Сазыкин, А. Г. Кудряков // Путь науки. – Волгоград, 2015 – С. 18-21.
3. Афоничев, Д. Н. Совершенствование организации технического сервиса в сельском хозяйстве / Д. Н. Афоничев, Е. В. Кондрашова, И. И. Аксенов // Лесотехнический журнал. – Воронеж, 2014. – С. 230-236.
4. Некрасов, А. И. Научно-методическое обеспечение системы эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве / А. И. Некрасов, Н. Н. Сырых, Ю. С. Борисов // Вестник ВИЭСХ. – М., 2015. – С. 18-22.
5. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий / Госагропром СССР. – М. : ВО Агропромиздат, 1987. – 191 с.
6. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2007. – 12 с.
7. Трушкин, В. А. Планово-предупредительный ремонт и техническое обслуживание как основа концепции повышения надежности электрооборудования / В. А. Трушкин, А. С. Гузачёв // Специалисты АПК нового поколения. – Саратов, 2012. – С. 54-56.
8. Ерошенко, Г. П. Анализ послеосмотрового способа технической эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве / Г. П. Ерошенко, В. А. Трушкин, С. М. Бакиров // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2013. – №8. – С. 54-56.
9. Волкова, И. А. Методика разработки стратегии позиционирования // Школа университетской науки: парадигма развития. – Тольятти, 2013. – С. 81-83.
10. Houben, G. A knowledge-based SWOT-analysis system as an instrument for strategic planning in small and medium sized enterprises // Decision Support Systems. – 1999. – №26. – P. 125-135.

Содержание

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Савельев Ю. А., Крючин Н. П., Крючин А. Н. Оценка влияния активатора истечения на производительность дисково-штифтового высевающего аппарата.....	3
Федоров С. Е. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева, Институт механики и энергетики), Чаткин М. Н. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева, Институт механики и энергетики), Костин А. С. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева, Институт механики и энергетики), Колесников Н. В. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева, Институт механики и энергетики) Исследование упругой S-образной стойки комбинированного культиватора.....	7
Коновалов В. В. (ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ), Фомина М. В. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА), Терюшков В. П. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА), Чупшев А. В. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА) Аналитическое обоснование длительности цикла работы смесителя периодического действия.....	10
Курочкин А. А. (ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ), Шабурова Г. В. (ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ), Фролов Д. И. (ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ), Воронина П. К. (ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ) Теоретическое обоснование термовакuumного эффекта в рабочем процессе модернизированного экструдера.....	15
Надежкина Г. П. (ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ), Слюсаренко В. В. (ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ), Акпасов А. П. (ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ) Энергетические показатели дождя ДМ «Фрегат».....	20
Лянденбургский В. В. (ФГБОУ ВПО Пензенский ГУАС), Петрова С. С. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Коновалов В. В. (ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ) Теоретическое обоснование параметров скребково-тросового конвейера кормораздатчика.....	22
Петрова С. С. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Коновалов В. В. (ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ), Волков С. В. (ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ), Воронова И. А. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА) Аналитическое обоснование показателей работы дискового измельчителя корнеплодов.....	27
Милюткин В. А. Оптимизация расположения рабочих органов почвообрабатывающе-удобрительных агрегатов с учетом параметров корневых систем сельскохозяйственных культур.....	32
Крючин Н. П. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Бурака Н. В. (ООО «ЭКОПРОМ») Разработка пневматического высевающего аппарата сеялки для посева амаранта малыми нормами.....	38
Русинов А. В. (ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова) Определение степени воздействия пневматических колесных движителей машинно-тракторных агрегатов при работе на орошаемых полях.....	42
Черкашин Н. А., Жильцов С. Н. Результаты исследований термостойкости конструкционных материалов для изготовления головки блока цилиндров.....	46
Сыркин В. А. Обоснование подачи семян катушечно-штифтовым высевающим аппаратом.....	49
Кузнецов М. А. Оценка точностных параметров регулирования автоматической системы дифференцированно-го внесения удобрений на платформе ИНС.....	52
Нугманов С. С., Гриднева Т. С., Васильев С. И. Совершенствование конструкции почвенного пробоотборника.....	55

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Володько О. С. Молофеев М. В., Бухвалов А. С., Бажутов Д. Н. Обоснование диагностических критериев работоспособности тракторной гидронавесной системы.....	61
Иншаков А. П. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева), Байков Д. В. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева), Кувшинов А. Н. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарева), Курбаков И. И. Повышение надежности нагружающего устройства типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь» при проведении обкатки и испытаний мощных автотракторных двигателей.....	66
Бирюк В. В. (ФГАУ ВО Самарский ГАУ им. академика С. П. Королева (НИУ)), Серебряков Р. А. Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства), Достовалова С. С. (ФГАУ ВО Самарский ГАУ им. академика С. П. Королева (НИУ)) Вихревой гидравлический теплогенератор с улучшенными характеристиками.....	70
Сафонов В. В. (ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ), Азаров А. С. (ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ), Халов Е. Ю. (ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ) Повышение противозносных свойств трансмиссионных масел и пластичных смазок.....	73
Терентьев В. В. (ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева), Наумова И. К. (ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева), Баусов А. М. (ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева), Телегин И. М. (ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева), Галкин И. М. (ФГБОУ ВПО Ивановская ГСХА им. академика Д. К. Беляева) Повышение противозносных и антифрикционных характеристик пластичных смазок посредством применения плазмообработанного графита.....	77

<i>Иншаков А. П. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва), Байков Д. В. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва), Кувшинов А. Н. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва), Курбаков И. И. (ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва) Особенности построения схем электромеханических энергосберегающих стендов для обкатки и испытаний автотракторных дизелей.....</i>	81
<i>Болдашев Г. И., Еценкова Е. А., Приказчиков М. С. Обоснование выбора оптимального состава минерально-растительного топлива на основе льняного масла по трибологическим показателям.....</i>	85
<i>Миронова Т. Ф., Миронова Т. В. Особенности воздействия упругих волн на процесс массопереноса в металлах и сплавах.....</i>	89
<i>Болдашев Г. И., Быченин А. П., Приказчиков М. С., Быченина М. А. Влияние рыжикового масла на противоизносные свойства смесевоего топлива.....</i>	92
<i>Гузачёв А. С. (ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова) Применение алгоритмического подхода при модернизации системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования в сельскохозяйственном производстве.....</i>	96

Contents

TECHNOLOGIES AND MECHANIZATION MEANS IN AGRICULTURE

Savelyev Yu. A., Kryuchin N. P., Kryuchin A. N. Assessment of the expiration activator influence for productivity of the disk and pin sowing device.....	3
Fedorov S. E. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogarev, Institut of mechanics and power State educational institution of higher education), Chatkin M. N. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogarev, Institute of mechanics and power State educational institution of higher education), Kostin A. S. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogarev, Institute of mechanics and power State educational institution of higher education), Kolesnikov N. V. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogarev, Institute of mechanics and power State educational institution of higher education) research of elastic S-shaped support stand of the combined cultivator.....	7
Kononov V. V. (FSBE HVE Penza STA), Fomina M. V. (FSBEI HVE Penza SAA), Teryushkov V. P. (FSBEI HVE Penza SAA), Chupshev A. V. (FSBEI HVE Penza SAA) Analytical justification sequence of operation batch mixer.....	10
Kurochkin A. A. (FSBEI HVE Penza STA), Shaburova G. V. (FSBEI HVE Penza STA), Frolov D. I. (FSBEI HVE Penza STA), Voronina P. K. (FSBEI HVE Penza STA) Thermovacuum effect theoretical justification of the workflow upgraded extruder.....	15
Nadezhkina G. P. (FSBEI HVE Saratov SAU), Slyusarenko V. V. (FSBEI HVE Saratov SAU), Akpasov A. P. (FSBEI HVE Saratov SAU) Energy performance of DM «Frigate» rainer.....	20
Lyandenbursky V. V. (FSBEI HVE Penza SAA), Petrova S. S. (FSBEI HVE Samara SAA), Kononov V. V. (FSBEI HVE Penza STA) Theoretical substantiation of troso-scraper conveyor feeding machine parameters.....	22
Petrova S. S. (FSBEI HVE Samara SAA), Kononov V. V. (FSBE HVE Penza STA), Volkov S. V. (FSBE HVE Penza STA), Voronova I. A. (FSBEI HVE Penza SAA) Analytical indicators justification root disk grinder.....	27
Milyutkin V. A. Optimization of machines for fertilizer according biological and technological crops parameters.....	32
Kruchin N. P. (FSBEI HVE Samara SAA), Burlaka N. V. (LLC «ECOPROM») Development of pneumatic sowing machine seeder for amaranth low application sowing.....	38
Rusinov A. V. (FSBEI HVE Saratov SAU named after N. I. Vavilov) Determination of impact pneumatic paddle wheels vehicle degree of tractors and machines when working in irrigated fields.....	42
Cherkashin N. A., Zhiltsov S. N. Results of structural heat-resistant materials for the manufacture cylinder head.....	46
Syrkin V. A. Justification seed feed byreel-pin sowing unit.....	49
Kuznetsov M. A. Estimation of automatic regulation system accuracy parameters of differential fertilizer on the ins platform.....	52
Nugmanov S. S., Gridneva T. S., Vasiliev S. I. Improving the design of the soil sampler.....	55

TECHNOLOGIES AND MAINTENANCE SERVICE MEANS IN AGRICULTURE

Volodko O. S., Molofeev M. V., Buhvalov A. S., Bazhutov D. N. Tractor's hydraulic system efficiency diagnostic criteria justification.....	61
Inshakov A. P. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogaryov), Baykov D. V. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogaryov), Kuvshinov A. N. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogaryov), Kurbakov I. I. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogaryov) Eliability increasing of loaded devices such as «DC machines – thyristor converters» during the power autotractor engines testing.....	66
Biryuk V. V. (FSAEI HE Samara SAU named after academician S. P. Korolev (NRU)), Serebryakov R. A. (National Research Institute for Electrification of Agriculture), Dostovalova S. S. (FSAEI HE Samara SAU named after academician S. P. Korolev (NRU)) Vortex hydraulic heat generator with improved characteristics.....	70
Safonov V. V. (FSBEI HVE Saratov SAU by N. I. Vavilov), Azarov A. S. (FSBEI HVE Saratov SAU by N. I. Vavilov), Halov E. Ju. (FSBEI HVE Saratov SAU by N. I. Vavilov) Antiwear properties of gear oils and greases increasing.....	73
Terentyev V. V. (FSBE HVE Ivanovo SAA of academician D. K. Belyaev), Naumova I. K. (FSBE HVE Ivanovo SAA of academician D. K. Belyaev), Bausov A. M. (FSBE HVE Ivanovo SAA of academician D. K. Belyaev), Telegin I. M. (FSBE HVE Ivanovo SAA of academician D. K. Belyaev), Galkin I. M. (FSBE HVE Ivanovo SAA of academician D. K. Belyaev) Non-wear and antifrictional characteristics increasing of plastic greasings by means of graphite processed in plasma application.....	77
Inshakov A. P. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogaryov), Baykov D. V. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogaryov), Kuvshinov A. N. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogaryov), Kurbakov I. I. (FSBEI HVE Mordovia SU of N. P. Ogaryov) Schemes creation features of electromechanical energy saving stands for autotractor diesels tests....	81
Boldashev G. I., Eschenkova E. A., Prikazchikov M. S. Justification of the mineral and vegetable-based fuel linseed oil optimal composition choice.....	85
Mironova T. F., Mironova T. V. Features of elastic wave influence for mass transfer process in metals and alloys.....	89
Boldashev, G. I., Bychenin A.P., Prikazchikov M.S., Bychenina M.A. Camelina oil influence for antiwear properties of mixed fuels.....	92
Guzachev A. S. (FSBEI HVE Saratov SAU by N. I. Vavilov) The algorithmic approach use in the modernization of the technical maintenance system and repair of electrical equipment in agricultural production.....	96