



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

АГРОПАНОРАМА

№ 2/2008

В номере:

*О потенциальности векторного
поля деформатора*

*Математическое моделирование
и особенности термического
процесса при обработке корма
электрическим током*

*Датчик положения дифракционного
типа для технологий точного
машиностроения*



НАУЧНО—ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

А Г Р О П А Н О Р А М А

Приказом председателя ВАК от 4 июля 2005 г. № 101 журнал «Агропанорама» включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным и техническим наукам (сельскохозяйственное машиностроение, транспорт, геоэкология, энергетика).

Журнал «Агропанорама» выходит 1 раз в два месяца, распространяется по подписке и продается в розницу в киоске Белорусского государственного аграрного технического университета. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков – 74884, предприятий и организаций – 748843.

Стоимость подписки на второе полугодие: для индивидуальных подписчиков – 17700 руб., для организаций и учреждений – 35400 руб.

Белорусский аграрный технический университет и редакция научно-технического издания для работников агропромышленного комплекса «Агропанорама» приглашает к сотрудничеству представителей академической, вузовской, отраслевой науки и производства. Надеемся видеть ваших докторантов, аспирантов, соискателей и магистрантов среди подписчиков и авторов статей «Агропанорамы». Мы предоставим Вам возможность высказать свою точку зрения на самые важные процессы развития научно-технического прогресса, поделиться опытом эффективного использования творческих достижений. Рассмотрим предложения по выпуску специальных номеров журнала.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

При предъявлении копии годовой (полугодовой) подписной квитанции на наш журнал, статьи рассматриваются в режиме наибольшего благоприятствования.

Телефоны редакции: 267-22-14; 267-61-21.

АГРОПАНОРАМА 2` (66) 2008

Издается с апреля 1997 г.

Научно-технический журнал
для работников
агропромышленного комплекса.
Зарегистрирован Госкомитетом
республики Беларусь по печати.
Регистрационный номер № 381.

Учредитель
Учреждение образования
«Белорусский государственный
аграрный технический университет»

Редколлегия:

Казаровец Н.В. – гл. редактор;
Прицепов М.А. – зам. гл. редактора;
Цындрина Н.И. – редактор.

Члены редколлегии:

Богдевич И.М.
Гануш Г.И.
Герасимович Л.С.
Дашков В.Н.
Забелло Е.П.
Казакевич П.П.
Короткевич А.В.
Русан В.И.
Шило И.Н.
Шпак А.П.

Менеджер
Куделко Л.Л.
Компьютерная верстка
Леван К.В.

Адрес редакции:

Минск, пр-т Независимости, д.99/1, к.220
Тел. (017) 2-67-30-12, 2-67-22-14
Факс (017) 2-67-32-61
E-mail: pva.nich@batu.edu.by

БГАТУ, 2006, Издание университетское.
Формат издания 60 x 84 1/8.
Подписано в печать с готового оригинала-
макета 21.04.2008 г.
Печать офсетная. Тираж 500 экз.
Зак. № 396 от 21.04.2008 г.
Статьи рецензируются. Отпечатано в ИПЦ
БГАТУ по адресу: г. Минск,
пр-т. Независимости, 99, к.2
Выходит один раз в два месяца.
Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

При перепечатке или использовании
публикаций согласование с редакцией
и ссылка на журнал обязательны.
Ответственность за достоверность
рекламных материалов несет
рекламодатель.

ЧИТАЙТЕ В НОМЕРЕ

И.Н.ШИЛО, А.В. КУЗЬМИЦКИЙ, Г.Ф. БЕТЕНЯ,
Д.А.КУЗЬМИЦКИЙ,
О потенциальности векторного поля деформатора.....3

А.Н. ОРДА, А.Б. СЕЛЕШИ, С. В. АЛЕШКЕВИЧ
Исследование процесса слеодообразования под действием
различных типов ходовых систем.....7

В.Г. АНДРУШ
Обоснование режимов обкатки двигателя после ремонта13

Г.А. РАДИШЕВСКИЙ, В.Н. ЕДНАЧ
Выбор оптимальных параметров рабочих органов для
сортирования картофеля.....17

В. С. КОРКО
Математическое моделирование и особенности термического
процесса при обработке корма электрическим током.....21

Е.В. ГАЛУШКО, В.Н. ИЛЬИН
Датчик положения дифракционного типа для технологий
точного машиностроения.....24

В.В. ГУРИН, Е.В. ЛАВЦЕВИЧ, П.А. РАВИНСКИЙ
Быстродействующая температурная защита асинхронного
электродвигателя.....28

А.Н. КАРТАШЕВИЧ, В.А. БЕЛОУСОВ
Методика расчета сажевого электрофилтра-дожигателя.....32

В.Я. ТИМОШЕНКО, Д.И. КРИВАЛЬЦЕВИЧ,
Д.А. ЖДАНКО
Очистка рабочих жидкостей гидравлических систем
сельскохозяйственной техники.....35

Н.Е. ШЕВЧИК, А.А. СОЛДАТЕНКО, А.Н. ШЕВЧИК
Влияние импульсных источников тока на электрическую сеть.....38

А.А. ГОНЧАРКО
О доукомплектовании парка зерноуборочных комбайнов.....41

Н.А. ВОРОБЬЁВ
Теоретические исследования производительности
вальцовой плющилки.....45

ПАМЯТИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОРА ЛЬВА МИХАЙЛОВИЧА КОЖУРО



31 марта 2008 г. ушел из жизни профессор Белорусского государственного аграрного технического университета, доктор технических наук, лауреат премии Национальной академии наук Беларуси Кожуро Лев Михайлович.

Он родился 1 июля 1934 года в г. Минске. В 1959 году закончил Белорусский лесотехнический институт, а в 1967 году – Белорусский политехнический институт. Работал конструктором, ведущим конструктором СКБ “Мелиормаш” (1959-1970 г.г.). С 1970 года по 1978 год – аспирант, старший инженер Физико-технического института АН БССР, с 1978 года – начальник сектора, а с 1980 по 1983 год – начальник отделения научно-исследовательского и информационного центра систем управления. С 1983 года Лев Михайлович работал в БГАТУ

доцентом кафедры “Технология сельскохозяйственного машиностроения”, заместителем декана по воспитательной работе факультета ОTRСХМ. С 1995 года – профессор кафедры “Технология металлов”.

Кандидат технических наук (1978 г.), доцент (1985 г.), доктор технических наук (1996 г.), профессор (1999 г.).

Лев Михайлович являлся высококвалифицированным специалистом в области технологии машиностроения, механической и физико-технической обработки. Он принимал активное участие в подготовке специалистов высшей научной квалификации. Под его руководством подготовлен один доктор и шесть кандидатов технических наук. Лев Михайлович Кожуро являлся членом Советов по защите диссертаций Белорусского национального технического и Белорусско-Российского университетов, членом редакционной коллегии журнала “Сучасне машинобудовання” (Украина). Награжден знаком «Изобретатель СССР» (1981 г.), золотой медалью ВДНХ СССР (1982 г.), дипломами первой степени Министерства сельского хозяйства и продовольствия (1994 г., 1998 г.) и Министерства образования (1994 г., 1998 г.) и рядом других наград.

За время работы Кожуро Лев Михайлович опубликовал более 500 научных работ, в том числе 15 монографий, 27 учебных пособий и учебников, 3 справочника, 4 брошюры, получил 40 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Светлая память о прекрасном педагоге, ученом и человеке Льве Михайловиче Кожуро навсегда останется в сердцах всех, кто его знал и у него учился.

Казаровец Н.В., Шило И.Н., Прищепов М.А., Миклуш В.П., Кузьмицкий А.В., Миранович А.В., Томкунас Ю.И., Капцевич В.М., Ивашко В.С., Мисун Л.В., Копань Л.И., Основин В.Н., Ярошевич О.В., Акулович Л.М., Ефремов В.Д., Андрушевич А.А., Калиновский В.Р., Романова Т.К., Сергеев Л.Е., Титов Ю.И., Федорович Э.Н., Кривальцевич Д.И., Гальго С.И., Ситникова А.А.

О ПОТЕНЦИАЛЬНОСТИ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ ДЕФОРМАТОРА

И.Н.Шило, докт. техн. наук, профессор, А.В. Кузьмицкий, докт. техн. наук, доцент,
Г.Ф. Бетенья, канд.техн. наук, доцент (УО БГАТУ); Д.А.Кузьмицкий, аспирант (БГУ)

Аннотация

На основе анализа напряжений, возникающих в почвенном массиве под действием деформатора, определены условия и механизм образования почвенного ядра. Определен вид функции напряжений, получены уравнения производной по направлению и градиента, сделан вывод о потенциальности векторного поля точечного деформатора.

Введение

Снижение затрат, вызванных затуплением изношенных лемешных лезвий и плужных долот, – одна из главных проблем отечественного сельскохозяйственного машиностроения. Результаты исследований рабочего процесса плуга показывают, что на долю лемеха приходится примерно 40 % общих затрат энергии на вспашку и 50...60% сопротивлений рабочей поверхности корпуса плуга. Установлено также, что если на лемехе появилась фаска шириной 3...4 мм, то тяговое сопротивление увеличивается на 25 %, а расход топлива – на 6...8 %.

Одним из путей решения данной проблемы является дальнейшее совершенствование технологических приёмов, обеспечивающих высокую работоспособность изделий, работающих в абразивной среде. Так, например, в Белорусском государственном аграрном техническом университете (БГАТУ) разработана технология диффузионного намораживания почворезущих профилей, повышающая коэффициент относительной абразивной износостойкости с 1,8 до 4,25 по сравнению с базовыми изделиями. Данная технология позволяет достичь твердости закаленного слоя до 60...65 HRC и уже сегодня обеспечить сельскохозяйственные предприятия Республики Беларусь вполне конкурентоспособными почвообрабатывающими рабочими органами.

Однако, говоря о достигнутых практических результатах, надо понимать и принимать во внимание то, что поиск новых перспективных направлений по решению обозначенной проблемы возможен только на основе глубоких теоретических исследований механики взаимодействия долота (лемеха) с почвой, выявления и моделирования скрытых физических процессов передачи механической энергии от деформатора почвенной среде.

Основная часть

Задача статики о количественной оценке напряжений в случае приложения к почвенному массиву сосредоточенной нагрузки была впервые поставлена и решена Ж. Буссинеском [1].

В частности, им получено уравнение, устанавливающее зависимость радиальных напряжений σ_R от величины приложенной силы F , расстояния R до точки приложения нагрузки и угла β отклонения от направления действия силы:

$$\sigma_R = \frac{3}{2} \cdot \frac{F}{\pi \cdot R^2} \cos \beta. \quad (1)$$

Из уравнения (1) следует, что радиальные напряжения обратно пропорциональны квадрату расстояния до точки приложения нагружающей силы F и прямо пропорциональны косинусу угла отклонения от линии её действия. Эпюра радиальных напряжений в соответствии с уравнением (1) изображена на рисунке 1. Как видно из рисунка, она имеет серповидную форму, изменяясь от нуля на оси Y до максимального (амплитудного) значения на оси X .

Богатый научно-теоретический и практический материал по данному направлению содержится в трудах В.П. Горячкина [2], В.А. Желиговского [3], М.Е. Мацепуро, А.Т. Вагина, Ю.В. Чигарева [4] и ряда других учёных.

Впишем в полуокружность R (рис. 1) окружность радиуса $R/2$ и выберем два произвольных направле-

ния l_1 и l_2 под углом к оси X , β_1 и β_2 соответственно [5]. Лучи l_1 и l_2 пересекут полуокружность R в точках M и N , а вписанную окружность в точках M_1 и N_1 . Через полученные точки M_1 и N_1 проведем полуокружности из центра O радиусами R_1 и R_2 .

Определим радиальные напряжения на полученной схеме в направлении l_1 . Согласно формуле Буссинеска радиальное напряжение σ_{RM} в точке M будет равно: $\sigma_{RM} = 3F \cos \beta_1 / (2\pi R^2)$, а в точке M_1 –

$$\sigma_{RM_1} = 3F \cos \beta_1 / (2\pi R_1^2).$$

Радиусы R_1 и R связаны простым соотношением из $\triangle OM_1A$: $R_1 / R = \cos \beta_1$, или $R_1 = R \cos \beta_1$, тогда

$$\sigma_{RM_1} = 3F / (2\pi R^2 \cos \beta_1), \quad (2)$$

а проекция σ_{M1} этого напряжения на нормаль к вписанной окружности вследствие равенства соответствующих углов (рис. 1)

$$\sigma_{M1} = 3F / (2\pi R^2) = \sigma_{RA}, \quad (3)$$

где σ_{RA} – радиальное напряжение в точке A (при $\cos\beta=1$).

В направлении l_2 аналогично рассмотренному выше: $\sigma_{RN1} = 3F \cos\beta_2 / (2\pi R_2^2)$, а так как $R_2 = R \cos\beta_2$, то

$$\sigma_{RN1} = 3F / (2\pi R^2 \cos\beta_2), \quad (4)$$

а интересующая нас проекция этого напряжения на нормаль к вписанной окружности:

$$\sigma_{N1} = 3F / (2\pi R^2) = \sigma_{RA}. \quad (5)$$

Как видим, по любому направлению l нормальные составляющие радиального напряжения к вписанной окружности равны между собой и равны радиальному напряжению на оси X в точке A , т.е. эпюра нормальных напряжений σ для вписанной окружности принимает форму кольца (рис. 1).

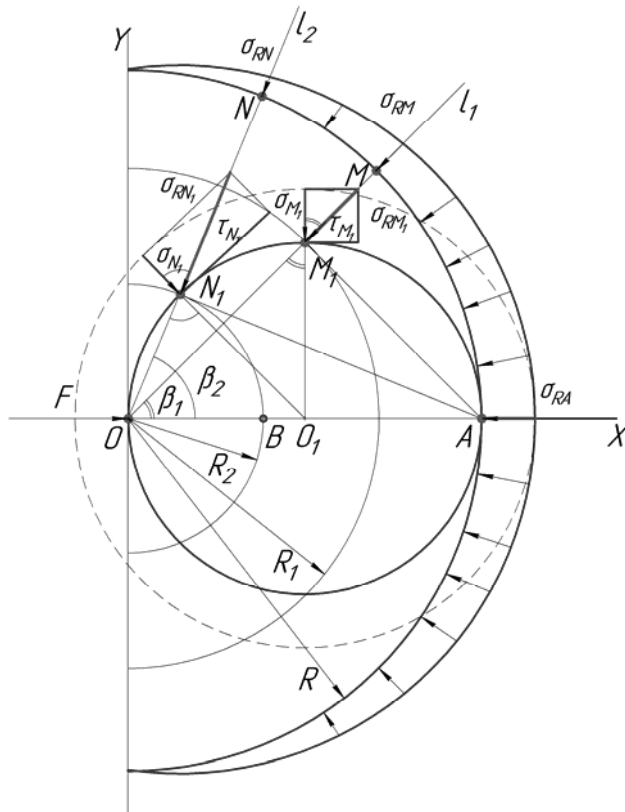


Рисунок 1. Схема к анализу поля напряжений точечного деформатора.

Таким образом, в почвенном массиве перед точкой приложения силы F образуется окружность (в пространстве – сферическая область диаметром

$D=R$), сжимаемая равными нормальными напряжениями, величина которых прямо пропорциональна силе F и обратно пропорциональна квадрату диаметра или площади поверхности сферы D :

$$\sigma = 3F / (2\pi D^2). \quad (6)$$

С увеличением силы F и возрастанием напряжения в точке O диаметр окружности уменьшается. С позиций статики указанная область – самоуравновешенная система, разрушить которую теоретически невозможно: при любом значении силы F сфера будет сжиматься, оставаясь в равновесии.

Определим значения касательных напряжений на окружности D в точке $M1$. Учитывая равенство соответствующих углов $\tau_{M1} = \sigma_{RM1} \cdot \sin\beta_1$ или, подставляя значение σ_{RM1} по выражению (2), получим:

$$\tau_{M1} = 3F \operatorname{tg}\beta_1 / (2\pi R^2). \quad (7)$$

В точке $N1$ касательные напряжения будут:

$$\tau_{N1} = 3F \operatorname{tg}\beta_2 / (2\pi R^2), \quad (8)$$

а в общем виде, с учетом формулы (6), изменение касательных напряжений на окружности D определится выражением:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\beta. \quad (9)$$

Следовательно, касательные напряжения вдоль окружности изменяются от нуля на направлении действия силы (ось X) до бесконечности на направлении, перпендикулярном силе F (ось Y). Отсюда следует, что вблизи точки O , вследствие значительных касательных напряжений, создаются условия для разрушения деформатора любой прочности. Практически, острозаточенный лемех или долото активно затупляются именно в начальный период работы, пока лезвие не затупится настолько, что действие указанных выше касательных напряжений сместится в зону налипающей перед ним почвы, т.е. в саму область D . При этом скорость затупления снижается, и некоторое время параметры рабочего органа сохраняют относительно стабильное значение (период нормальной эксплуатации).

Анализируя напряженную область, отметим ещё одно свойство радиальных по отношению к точке O напряжений: их проекция на ось X есть величина постоянная, равная нормальным напряжениям $\sigma = \sigma_{RA}$. Действительно, с учетом выражений (2), (4),

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_{RM1} \cdot \cos\beta_1 = \sigma_{RN1} \cdot \cos\beta_2 = \\ &= \sigma = 3F / (2\pi D^2). \end{aligned} \quad (10)$$

Окружность D смещена относительно начала координат на величину $2a = D$. Уравнение данной окружности имеет вид:

$$x^2 + y^2 = 2ax. \quad (11)$$

Данное выражение можно рассматривать как функцию двух переменных:

$$f(x, y) = x^2 + y^2 - 2ax. \quad (12)$$

Для функции двух переменных формула производной по направлению имеет вид:

$$\frac{df}{dl} = \frac{\partial f}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial f}{\partial y} \sin \alpha, \quad (13)$$

где α – угол между осью OX и направлением l .

С учетом выражения (11) производная функции по направлению в любой точке с координатой x_0 определится как:

$$\frac{df}{dl} = (2x_0 - 2a) \cos \alpha + 2\sqrt{2ax_0 - x_0^2} \cdot \sin \alpha. \quad (14)$$

Физический смысл производной по направлению заключён в том, что она показывает скорость изменения значений функции напряжений в направлении l , а градиент функции $f(x, y)$ есть вектор, указывающий направление, в котором эта скорость изменения наибольшая.

По определению градиентом функции f называ-

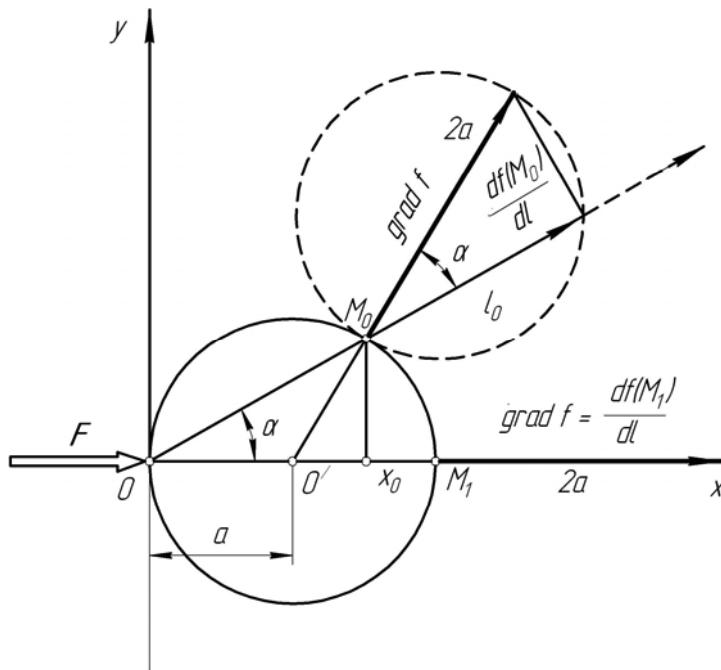


Рисунок 2. Производная по направлению и градиент функции напряжений.

ется вектор, проекции которого на координатные оси равны соответствующим производным функции $f(x, y)$ в рассматриваемой точке:

$$\text{grad} f = \frac{\partial f}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \mathbf{j}, \quad (15)$$

где \mathbf{i}, \mathbf{j} – единичные векторы.

Тогда в точке M_0 проекции градиента на координатные оси будут равны:

$$\text{grad} f(M_0) = \left\{ (2x_0 - 2a); 2\sqrt{2ax_0 - x_0^2} \right\}. \quad (16)$$

Также известно, что производная по направлению $\frac{df}{dl}$ есть скалярное произведение градиента на единичный вектор направления l_0 :

$$\frac{df}{dl} = \text{grad} f \cdot l = |\text{grad} f| \cdot \cos \alpha. \quad (17)$$

Наибольшее значение производная будет иметь в том случае, когда направление l совпадает с направлением градиента, и оно будет равно:

$$|\text{grad} f| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} = \sqrt{4(x_0 - a)^2 + 4(2ax_0 - x_0^2)^2} = 2a. \quad (18)$$

Из курса математики известно [6], что векторное поле \mathbf{A} называется потенциальным, если оно является градиентом некоторого скалярного поля, т.е., если:

$$\mathbf{A} = \text{grad} f, \quad (19)$$

при этом поле f называется потенциальной функцией или скалярным потенциалом поля \mathbf{A} .

С учетом (18) можно говорить, что при взаимодействии точечного деформатора с полупространством образуется векторное поле градиента потенциальной функции f .

С векторным полем \mathbf{A} связываются скалярное поле его дивергенции:

$$\text{div} \mathbf{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}, \quad (20)$$

и векторное поле его ротора:

$$\text{rot} \mathbf{A} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \mathbf{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \mathbf{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \mathbf{k}. \quad (21)$$

Операции (20), (21) более просто записать с помощью оператора Гамильтона ∇ :

$$\nabla = \mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z}, \quad (22)$$

называемого *набла* и представляющего собой знак действия над полем. С учетом оператора Гамильтона формулы (20) и (21) запишутся как:

$$\text{div} \mathbf{A} = \nabla \cdot \mathbf{A}, \quad (23)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{A} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (24)$$

Комбинацию $\operatorname{rot} \operatorname{grad} f$ можно записать в виде: $\nabla \times (\nabla f)$. Но для «обычного» вектора \mathbf{a} и «обычного» скаляра f всегда:

$$\mathbf{a} \times (\operatorname{grad} f) = 0 \quad (25)$$

Значит, если вместо \mathbf{a} в левую часть подставить его разложение по декартовым осям и произвести вычисления по формальным правилам векторной алгебры, то мы получим нуль. Но вычисление комбинации $\nabla \times (\nabla f)$ производится по тем же формальным правилам, что и (25), только вместо a_x, a_y, a_z надо

взять $\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}$. Значит и здесь получится нуль,

т.е. всегда

$$\operatorname{rot} \operatorname{grad} f = 0 \quad (26)$$

Известно, что далеко не всякое поле является потенциальным. Именно из (19) и (26) сразу следует, что

$$\operatorname{rot} \mathbf{A} = 0, \quad (27)$$

т.е. всякое потенциальное поле является безвихревым. С другой стороны, в курсе математики доказано [7], что если поле \mathbf{A} задано в односвязной области (G), то условие (27) равносильно независимости интеграла $\int \mathbf{A} \cdot d\mathbf{r}$ от контура интегрирования, или, что то же, условию

$$\oint_{(L)} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{r} = 0 \quad (28)$$

для любого замкнутого контура (L), расположенного в (G). Таким образом, безвихревое поле, заданное в односвязной области является бесциркуляционным. Там же показано, что из (28) следует, что выражение $\mathbf{A} \cdot d\mathbf{r} = A_x dx + A_y dy + A_z dz$ является полным дифференциалом. Но равенство $\mathbf{A} \cdot d\mathbf{r} = df$ равносильно (19), т.е. всякое бесциркуляционное поле является потенциальным; обратное тоже верно.

Условия (19), (27), (28) равносильны, т.е. условия потенциальности, отсутствие вихря и отсутствия циркуляции векторного поля эквивалентны.

С учетом вышеизложенного можно утверждать, что поле точечного деформатора потенциально.

Выводы

Полученный результат означает, что на каждую материальную частицу деформируемой среды действует потенциальная сила и, таким образом, вся область деформации способна накапливать (аккумулировать) определенное количество потенциальной

энергии. Достигая предельного значения, эта энергия преобразуется в кинетическую, совершая механическую работу (например, кроша и разрушая пласт почвы на отвале плуга и т.п.).

Важным с точки зрения основных принципов механики является то, что в потенциальном поле действует закон сохранения энергии и деформируемая среда может рассматриваться как консервативная система, в которой сумма потенциальной и кинетической энергии остается величиной постоянной [8]. При этом роль деформатора заключается в возбуждении колебательного процесса превращения потенциальной энергии в кинетическую и обратно и постоянном пополнении потерянной части энергии «колебательного контура» вследствие диссипации, трения и пр.

Исследование этого процесса, описание механизма циркуляции механической энергии в подобных системах представляет, по мнению авторов, важнейшую задачу фундаментальной механики на современном этапе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагин, А.Т. К вопросу взаимодействия клина с почвой. Обоснование основных параметров агрегатов для послыйного внесения удобрений в почву: в кн. Вопросы земледельческой механики/ А.Т. Вагин. – Мн.: Госиздат БССР, 1965. – Т. 15. – С.4–142.
2. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3 т./ В.П. Горячкин. – 2-е изд. – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – 455 с.
3. Желиговский, В. А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов/ В.А. Желиговский// Труды Грузинского сельскохозяйственного института.– Тбилиси, 1960. – 145 с.
4. Чигарев, Ю.В. Математические основы механики почв: учеб. пособие / Ю.В. Чигарев, П.Н. Синкевич. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 164 с.
5. Кузьмицкий, А.В., Бетена, Г.Ф. Моделирование процесса взаимодействия деформатора с почвой // Сельскохозяйственные машины для уборки зерновых культур, кормов и корнеплодов. Состояние, тенденции и направления развития: сб. докладов Международной научно-практической конференции. Гомель, 22-23 марта 2007 г. / РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике», 2007. – С. 163-167.
6. Мышкис, А.Д. Лекции по высшей математике/ А.Д. Мышкис.– М: Наука, 1969.– 640 с.
7. Мышкис, А.Д. Математика для вузов: спец. курсы/ А.Д. Мышкис. – М: Наука, 1971.– 632 с.
8. Зоммерфельд, А. Механика/ А. Зоммерфельд, Т.Е.Тамм: пер. с нем. –М.: Гос. издат. иностранной лит., 1947.– С.139.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЛЕДООБРАЗОВАНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ХОДОВЫХ СИСТЕМ

А.Н. Орда, докт. техн. наук, доцент, А.Б. Селеша, канд. техн. наук,
С. В. Алешкевич, аспирант, (УО БГАТУ)

Аннотация

В статье приводится исследование воздействия на почву тракторов со сдвоенными колесами и тандемом колес. На основании проведенного анализа предложены рекомендации по компоновке ходовых систем. Также приведены результаты исследования зависимости глубины следа от высоты слоя почвы.

Введение

Физические свойства почв определяют их плодородие. Поэтому проблема сохранения агрофизических свойств почв на необходимом уровне становится особенно актуальной в связи с уплотняющим воздействием ходовых систем тракторов и сельскохозяйственных машин.

Оптимальные значения плотности основных типов почв в зависимости от выращиваемой сельскохозяйственной культуры следующие: 1100 – 1250 кг/м³ – суглинистые и глинистые, 1250 – 1400 кг/м³ – супесчаные.

В настоящее время при интенсивном использовании машинно-тракторных агрегатов происходит переуплотнение почвы ходовыми системами. Плотность почвы в следах тракторов и сельскохозяйственных машин составляет 1350 – 1600 кг/м³, что значительно превышает оптимальную.

Чрезмерное уплотнение почвы при воздействии на нее ходовых систем машинно-тракторных агрегатов ведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Урожайность зерновых в следах тракторов снижается на 10-15%, а корнеклубнеплодов – на 20-30%. При этом влияние уплотняющего воздействия ходовых систем на снижение урожайности проявляется в последующие несколько лет.

Основная часть

Энергонасыщенность тракторов и производительность МТА на их базе в последнее время значительно выросли. Изменился и уровень воздействия ходовых систем этих тракторов на почву. Если масса гусеничных тракторов при увеличении мощности практически не выросла, то масса колесных тракторов значительно повысилась. Для развития одного и того же тягового усилия колесные тракторы должны иметь большую массу, чем гусеничные. Это объясняется тем, что площадь опорной поверхности колес меньше, чем у гусениц.

Рассмотрим, как различаются весовые характеристики гусеничных и колесных тракторов при развитии одного и того же тягового усилия. Для количественной оценки трансформации веса трактора в тяговое усилие применяется следующая формула [1, ф. (65)]:

$$\varphi_{кр} = \frac{P_{кр}}{G_{тр}}, \quad (1)$$

где $\varphi_{кр}$ – коэффициент использования веса;

$P_{кр}$ – крюковое усилие, Н;

$G_{тр}$ – вес трактора, Н.

Крюковое усилие равно разности касательной силы тяги P_k и силы сопротивления качения P_f :

$$P_{кр} = P_k - P_f. \quad (2)$$

Касательная сила тяги колеса P_k зависит от веса G_k , приходящегося на колесо, и коэффициента сцепления φ :

$$P_k = G_k \cdot \varphi. \quad (3)$$

Сила сопротивления качения колеса P_f равна:

$$P_f = f \cdot G_k, \quad (4)$$

где f – коэффициент сопротивления качению.

На основании известных в теории трактора зависимостей (1), (4) получено следующее значение коэффициента использования веса [1, ф. (67)]:

$$\varphi_{кр} = \varphi - f. \quad (5)$$

Коэффициент использования веса $\varphi_{кр}$ зависит от типа движителя и агрофона. При обработке множества тяговых испытаний тракторов получены следующие значения коэффициента на стерне (табл.) [1]:

Из зависимости (1) выразим вес трактора:

$$G_{тр} = \frac{P_{кр}}{\varphi_{кр}}. \quad (6)$$

Коэффициент сцепного веса

Тип и колесная формула трактора	Колесный		Гусеничный
	4К2	4К4	
Коэффициент использования веса $\varphi_{кр}$	0,37-0,39	0,4-0,45	0,5-0,6

Исходя из зависимости (6) и таблицы, найдем, что вес колесного трактора формулы 4К4 равен:

$$G_{кол} = \frac{P_{кр}}{0,45} \dots \frac{P_{кр}}{0,4} \quad (7)$$

Вес гусеничного трактора равен:

$$G_{гус} = \frac{P_{кр}}{0,6} \dots \frac{P_{кр}}{0,5} \quad (8)$$

Из зависимостей (7) и (8) видно, что для развития одного и того же крюкового усилия на стерне вес колесного трактора формулы 4К4 должен быть в 1,25-1,33 раза больше веса гусеничного трактора. Для развития одного и того же тягового усилия при использовании тракторов на почве, подготовленной под посев, соотношение весовых характеристик колесного и гусеничного трактора будет еще большим.

Таким образом, колесные тракторы с традиционной компоновкой ходовых систем будут производить на почву чрезмерное давление. Поэтому следует рассмотреть варианты компоновки ходовых систем с тандем-колесами и со сдвоенными шинами.

Рассмотрим, как изменяются глубина следа, уплотнение почвы и сопротивление качению при сдвигании колес и тандем – колесам.

Известна следующая зависимость коэффициента объемного смятия от размеров колес [2, с. 98]:

$$k_2 = k_1 \sqrt{\frac{D_1 \cdot B_1}{D_2 \cdot B_2}}, \quad (9)$$

где k_1 – коэффициент объемного смятия для колес, оборудованных шиной размерами D_1 и B_1 , Н/м³;

k_2 – коэффициент объемного смятия для колес, оборудованных шиной размерами D_2 и B_2 , Н/м³.

По формуле (9) найдем коэффициент объемного смятия для колес со сдвоенными шинами 23,1R26:

$$k_2 = 2500 \sqrt{\frac{1,74 \cdot 0,75}{1,74 \cdot 2 \cdot 0,75}} = 1768 \frac{кН}{м^3}.$$

Определим площадь контакта шины 23,1R26 ведущего колеса с почвой, приведенную к условиям работы на почвенном основании $F_{кп}$ по методике [3]:

$$F_{кп} = F_k \cdot k_D, \quad (10)$$

где F_k – контурная площадь контакта шины, для шины 23,1R26 $F_k = 0,271 \text{ м}^2$;

$k_D = 1,1-1,6$ – коэффициент, зависящий от наружного диаметра шины.

Из зависимости (10) определим $F_{кп}$:

$$F_{кп} = 0,271 \cdot 1,1 = 0,298 \text{ м}^2.$$

При максимально возможной нагрузке на колесо $G_{max} = 46,93$, кН среднее давление на одинарное колесо равно:

$$q_k = \frac{G_{max}}{F_{кп}} \quad (11)$$

$$q_k = \frac{G_{max}}{F_{кп}} = \frac{46,93}{0,298} = 157,5 \text{ кПа}.$$

Максимальное давление колеса на почву q_k равно:

$$q_k = q_k \cdot k_l, \quad (12)$$

где $k_l = 1,5$ – коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины.

$$q_k = 157,5 \cdot 1,5 = 236,2 \text{ кПа}.$$

Глубина следа под одинарным колесом:

$$h_k = \frac{p_0}{k_1} \text{Arth} \left(\frac{\sigma_1}{p_0} \right), \quad (13)$$

где σ_1 – контактное напряжение при первом проходе колеса, Па;

p_0 – предел несущей способности почвы, Па.

$$h_k = \frac{500}{2500} \text{Arth} \left(\frac{236,2}{500} \right) = 0,102 \text{ м}.$$

Глубина следа под сдвоенным колесом равна:

$$h_{сд} = \frac{p_0}{k_2} \text{Arth} \left(\frac{\sigma_1}{2 \cdot p_0} \right) = \frac{500}{1768} \text{Arth} \left(\frac{236,2}{2 \cdot 500} \right) = 0,068 \text{ м}.$$

Глубину следа под тандем-колесами найдем из зависимости [4]:

$$h_N = \frac{P_0}{k} \text{Arth} \left(\frac{\sigma_1}{P_0} \right) (1 + k_u \lg N), \quad (14)$$

где h_N – осадка почвы для N-осного колесного движителя, м;

k_u – коэффициент интенсивности накопления повторных осадок ($k_u = 0,3$);

N – число циклов нагружения.

Подставив значения параметров формулы (14) получим:

$$h_2 = \frac{500}{2500} \text{Arth} \left(\frac{236,2}{2 \cdot 500} \right) \times (1 + 0,3 \cdot \lg 2) = 0,051 \text{ м}.$$

Плотность почвы в следе для одинарных колес найдем по зависимости [4]:

$$\rho = \rho_n \left(1 + k_{пред} - \frac{\kappa_e \cdot \beta}{\kappa} \ln \frac{P_o}{\sigma + \sigma_0} \right), \quad (15)$$

где ρ_n – первоначальная плотность почвы, Па;

κ_e – коэффициент взаимосвязи параметров уплотнения, Н/м²;

β_1 – коэффициент распределения напряжений, м⁻¹;

$k_{пред}$ – коэффициент предельного увеличения плотности;

σ_0 – структурная плотность почвы, Па.

После подстановки значений в выражение (15) получим:

$$\rho = 1200 \left(1 + 0,4 - \frac{100 \cdot 5}{2500} \ln \frac{500}{236,2 + 5} \right) = 1505 \text{ кг/м}^3.$$

Для ходовых систем с повторными проходами колес по следу используем зависимость нарастания плотности почвы [4]:

$$\rho_N = \rho_n \left(1 + k_{пред} - \frac{\kappa_e \cdot \beta}{\kappa} \ln \frac{P_o}{\sigma + \sigma_0} \right) \times (1 + k_u \lg N), \quad (16)$$

где ρ_N – плотность почвы в следе после прохода N-осного движителя, кг/м³.

Допускаем, что нагрузка между колесами распределена равномерно. С учетом этого из зависимости (16) найдем плотность почвы после прохода тандем-колес:

$$\rho_2 = 1200 \left(1 + 0,4 - \frac{100 \cdot 5}{2500} \ln \frac{500}{236,2 / 2 + 5} \right) \times (1 + 0,3 \cdot \lg 2) = 1464 \text{ кг/м}^3.$$

Для сдвоенных колес изменятся коэффициент объемного смятия и коэффициент распределения напряжений. Коэффициент объемного смятия для сдвоенных шин 23,1R26, определенный по формуле (9), равен 1768 кН/м³.

Зависимость коэффициента распределения напряжений от размеров колес имеет вид [2, с. 99]:

$$\beta_2 = \beta_1 \sqrt{\frac{D_1 \cdot B_1}{D_2 \cdot B_2}}, \quad (17)$$

где β_1 – коэффициент распределения напряжений для колес, оборудованных шиной размерами D_1 и B_1 , м⁻¹;

β_2 – коэффициент распределения напряжений для колес, оборудованных шиной размерами D_2 и B_2 , м⁻¹.

По формуле (17) найдем коэффициент распределения напряжений для колес со сдвоенными шинами 23,1R26:

$$\beta_2 = 5 \sqrt{\frac{1,74 \cdot 0,75}{1,74 \cdot 2 \cdot 0,75}} = 3,54 \text{ м}^{-1}.$$

Плотность почвы в следе сдвоенных колес найдем из зависимости (15) с учетом распределения нагрузки на 2 колеса:

$$\rho_{сд} = 1200 \left(1 + 0,4 - \frac{100 \cdot 3,54}{1768} \times \ln \frac{500}{236,2 / 2 + 5} \right) = 1343 \text{ кг/м}^3.$$

Расчеты по зависимостям (9) – (17) показали, что сдваивание шин и тандем-колеса способствуют значительному снижению глубины следа и уплотнения почвы. При этом глубина следа у тандем-колес ($h_2 = 0,051$ м) меньше, чем глубина следа у сдвоенных шин ($h_{сд} = 0,068$ м). Однако плотность почвы в следах сдвоенных колес меньше, чем у тандем-колес ($\rho_{сд} = 1343$ кг/м³, $\rho_2 = 1464$ кг/м³). Для объяснения этого явления рассмотрим, на какую глубину проникает уплотнение почвы сравниваемых вариантов движителей.

Глубина проникновения уплотнения под воздействием колес определяется из зависимости [5]:

$$x_h = \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{\sigma}{\sigma_h} \right), \quad (18)$$

где σ_h – напряжение в нижних слоях почвы, Па.

Для тандем-колес глубина проникновения уплотнения будет равна:

$$x_{h2} = \frac{1}{5} \ln \left(\frac{236,2}{2 \cdot 10} \right) = 0,494 \text{ м}.$$

Для сдвоенных колес глубина проникновения равна:

$$x_{hcd} = \frac{1}{3,54} \ln \left(\frac{236,2}{2 \cdot 10} \right) = 0,697 \text{ м.}$$

При расчетах в обоих случаях принималась величина $\sigma_h = 10$ кПа [5, с. 91].

Таким образом, при сдвигании колес глубина проникновения уплотняющего воздействия ($x_{hcd} = 0,697$ м) значительно превышает глубину проникновения уплотнения тандем-колес ($x_{h2} = 0,494$ м). Это объясняется различным характером распределения напряжений у колес с одинарными и сдвоенными шинами.

Сопротивление качению для одинарных колес найдем по зависимости [6]:

$$P_f = B \frac{p_0^2}{k} \ln \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_1^2}{p_0^2}}}, \quad (19)$$

где B – ширина колеса, м.

$$P_f = 0,75 \frac{500^2}{2500} \ln \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{236,2^2}{500^2}}} = 9,47 \text{ кН.}$$

Коэффициент сопротивления качению:

$$f = \frac{P_f}{G} = \frac{9,47}{46,93} = 0,202.$$

Для одинарных колес получен очень большой коэффициент сопротивления качению.

Найдем сопротивление качению при других вариантах. Сопротивление качению для тандем-колес найдем по следующей зависимости [6]:

$$P_f = B \frac{p_0^2}{k} \ln \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_1^2}{p_0^2}}} (1 + k_u \lg N). \quad (20)$$

Подставив значения параметров в формулу (20) получим:

$$P_f = 0,75 \frac{500^2}{2500} \ln \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(236,2/2)^2}{500^2}}} \times \\ \times (1 + 0,3 \lg 2) = 2,35 \text{ кН.}$$

Коэффициент сопротивления качению:

$$f = \frac{P_f}{G} = \frac{2,35}{46,93} = 0,05.$$

Из зависимости (20) найдем формулу для определения сопротивления качению при сдвигании шин:

$$P_f = 2B \frac{p_0^2}{k_{cd}} \ln \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_1^2}{p_0^2}}}, \quad (21)$$

где k_{cd} – коэффициент объемного смятия почвы для сдвоенных шин, Н/м³.

Из зависимости (9) найдем коэффициент объемного смятия почвы для сдвоенных шин:

$$k_{cd} = k_1 \sqrt{\frac{D \cdot B}{D \cdot 2 \cdot B}} = \sqrt{\frac{1}{2}} k_1. \quad (22)$$

С учетом формулы для определения коэффициента объемного смятия почвы для сдвоенных шин (22) зависимость (21) примет вид:

$$P_{fcd} = 2\sqrt{2} B \frac{p_0^2}{k_1} \ln \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_1^2}{p_0^2}}}. \quad (23)$$

По зависимости (23) найдем сопротивление качению для колеса, оборудованного сдвоенными шинами 23,1R26:

$$P_{fcd} = 2\sqrt{2} \cdot 0,75 \cdot \frac{500^2}{2500} \ln \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(236,2/2)^2}{500^2}}} = \\ = 6,1 \text{ кН.}$$

Коэффициент сопротивления качению:

$$f = \frac{P_f}{G} = \frac{6,1}{46,93} = 0,13.$$

Из приведенного анализа зависимостей (20) – (23) следует, что для почв с одинаковыми по глубине свойствами, у тандем-колес коэффициент сопротивления качению меньше, чем у колес со сдвоенными шинами. При этом у тандем-колес меньшая глубина следа и уплотняющее воздействие проникает на меньшую глубину.

Рассмотрим теперь результаты исследования зависимости глубины следа от высоты слоя почвы.

Так как почвенные условия и ходовые системы разнообразны, то при проведении исследований применялось физическое моделирование и планирование эксперимента, позволяющие получить уравнения регрессии в критериальном виде. Критерии подобия позволяют распространить результаты исследований на ходовые системы различных размеров.

При обосновании критериев подобия процесса деформации и уплотнения почвы использованы разработки В.В. Кацыгина, А.Н. Орды, В.М. Мацепуро и других ученых. Критериями подобия процесса уплотнения почвы были приняты следующие выражения:

$$\frac{k}{p_0} h, \frac{H}{B}, \frac{q}{p_0}, \frac{\rho_n}{\rho}, \frac{\kappa_6 \cdot \beta}{\kappa}, \frac{p_0}{\sigma_0}.$$

Для проведения экспериментальных исследований была сконструирована и изготовлена лабораторная установка (рис. 1).

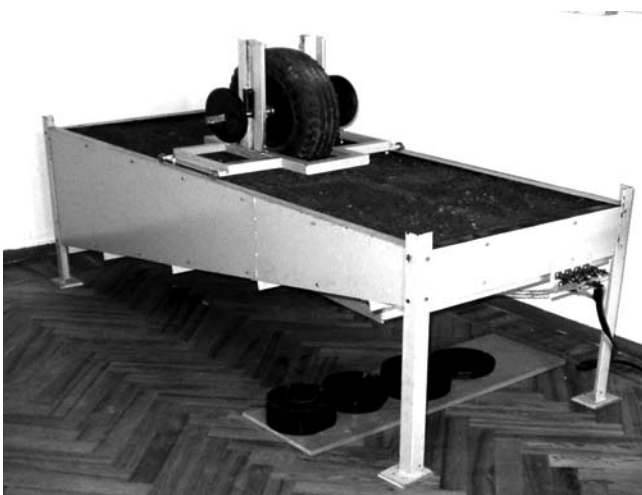


Рисунок 1. Стенд для исследования взаимодействия колес с почвой.

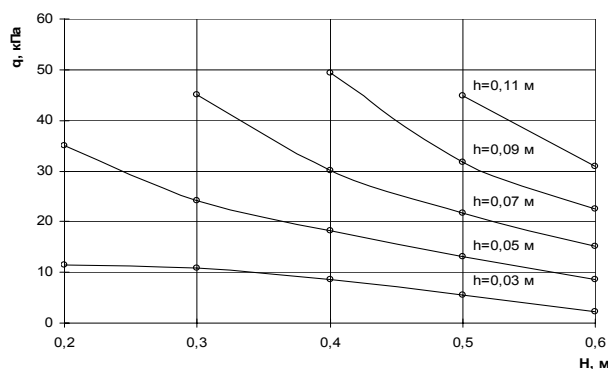


Рисунок 2. Влияние среднего давления и высоты слоя почвы на глубину следа ($P_0=500$ кПа, $\kappa=300$ кН/м³).

Установка представляет собой контейнер призматической формы, заполненный почвой. В верхней

части контейнера в тележке установлено колесо, которое имеет возможность перемещаться по поверхности почвы в горизонтальном направлении. Вертикальное нагружение колеса производится при помощи грузов, которые устанавливаются на ось колеса. Основание контейнера моделирует плотную плужную подошву. Выполнение основания контейнера под наклоном (10°) позволяет в рамках одного опыта зарегистрировать давление на плужную подошву при различной толщине верхнего рыхлого слоя почвы.

На основании теории планирования экстремального эксперимента были проведены исследования процесса слеодообразования. Влажность почвы во время эксперимента равнялась $W=13\%$, первоначальная плотность почвы $\rho = 1020$ кг/м³. Получено нелинейное критериальное уравнение, связывающее глубину следа, давление колеса на почву, коэффициент объемного смятия, предел несущей способности, высоту слоя почвы и ширину шины:

$$\begin{aligned} \frac{k}{p_0} h = & 31,454 + 462 \frac{q}{p_0} - 16,34 \frac{H}{B} + \\ & + 253,8 \frac{q}{p_0} \cdot \frac{H}{B} - 4,94 \cdot 10^3 \left(\frac{q}{p_0} \right)^2 + \\ & + 2,89 \left(\frac{H}{B} \right)^2. \end{aligned} \quad (24)$$

На основании уравнения регрессии построены кривые отклика (рис. 2), позволяющие оценить влияние режимов нагружения и свойств почвы на глубину следа.

Выявлено, что с увеличением высоты слоя почвы растет и глубина следа.

На основании уравнения (24) построены также изолинии, характеризующие зависимость глубины следа от коэффициента объемного смятия почвы, среднего давления и глубины рыхлого слоя (рис. 3, 4).

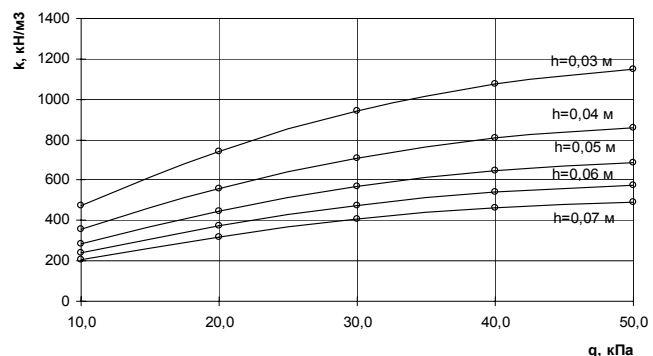


Рисунок 3. Влияние коэффициента объемного смятия и среднего давления на глубину следа ($p_0=500$ кПа, $H=0,3$ м).

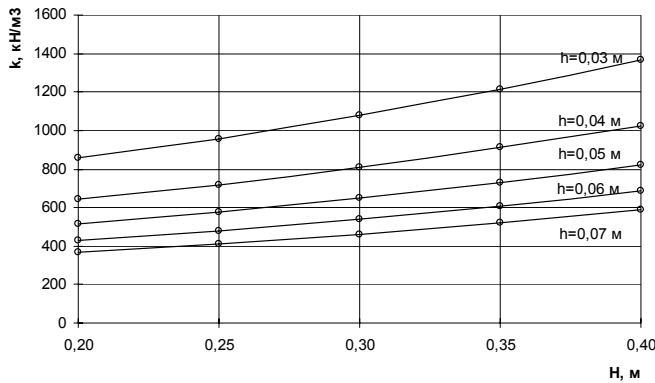


Рисунок 4. Влияние коэффициента объемного смятия и высоты слоя почвы на глубину следа ($p_0=500$ кПа, $q=40$ кПа).

Выводы

1. На почвах с одинаковыми по глубине свойствами уплотняющее воздействие на почву у тандем-колес меньше по сравнению со сдвоенными шинами. Сопротивление качению также меньше у тандем-колес.

2. На почвах, подготовленных под посев, происходит разрушение ядра уплотнения до завершения его формирования. Из-за этого на таких почвах предпочтительнее колеса со сдвоенными шинами. При применении тандем-колес происходит дальнейшее разрушение ядра уплотнения при повторных проходах, из-за чего возрастает глубина следа.

3. На основании теории планирования экстремального эксперимента проведены исследования процесса следообразования. Получено нелинейное критериальное уравнение, связывающее глубину следа, давление колеса на почву, коэффициент объемно-

го смятия, предел несущей способности, высоту слоя почвы и ширину шины.

4. На основании уравнения регрессии построены кривые отклика, позволяющие оценить влияние режимов нагружения и свойств почвы на глубину следа. Выявлено, что с увеличением высоты слоя почвы растет и глубина следа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. – М.: Колос, 2004. – 504 с.

2. Перспективные мобильные энергетические средства для сельскохозяйственного производства / В.В.Кацыгин [и др.]; под общ. ред. В.В. Кацыгина. – Минск: Наука и техника, 1982. – 272 с.

3. Техника сельскохозяйственная мобильная: ГОСТ 26953-86. – Введен. 14.07.86. – М.: Изд-во стандартов, 1986.– 4 с.

4. Орда, А.Н. Уплотнение почвы под действием ходовых систем / А.Н. Орда, А.Б. Селеша // Агропанорама, №1, 2007. – С. 13-16.

5. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Орда. – Минск, 1997. – 269 с.

6. Шило, И.Н. Энергетическая эффективность многоосных движителей машинно-тракторных агрегатов / И.Н. Шило, А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.Б. Селеша // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 29 мая – 2 июня 2006 г. / НАНБ. – Минск, 2006. – С. 79-81.

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным и техническим наукам (сельскохозяйственное машиностроение, транспорт, геоэкология, энергетика). Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на второе полугодие 2008 года: для индивидуальных подписчиков - 17700 руб., ведомственная подписка - 35400 руб.

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСЛЕ РЕМОНТА

В.Г. Андруш, ст. преподаватель (УО БГАТУ)

Аннотация

Рассмотрены существующие режимы обкатки двигателей ЯМЗ моделей 236 и 238 после капитального ремонта.

Существенные различия в режимах обкатки наблюдаются на всех стадиях.

Вариации режимов стендовой обкатки обусловлены технологическими возможностями предприятия. Поэтому качество прирабатываемых поверхностей должно определяться не только продолжительностью обкатки, но и другими показателями, например, мощностью механических потерь, содержанием продуктов износа в масле, температурой масла и т.д.

Чем выше технологические возможности и культура производства на предприятии, тем меньшим будет время приработки сопрягаемых деталей.

Введение

У отремонтированных двигателей по сравнению с новыми большая продолжительность обкатки (в 1...2,8 раза) и примерно в 2 раза больше этапов обкатки, а нагрузки на последних этапах составляют не более 80...90% от номинальной.

Существуют различные методы назначения нагрузочно-скоростных режимов обкатки двигателей: опытным путем, по содержанию железа и других продуктов износа в масле, расчетно-аналитическим способом и др.

До настоящего времени не имеется достаточно простой и обоснованной методики выбора оптимальных режимов приработки, чем и обуславливается многообразие режимов заводской обкатки.

Сложная взаимосвязь и механизмы явлений при приработке ДВС, их главные количественные характеристики до сих пор остаются невыясненными, а, следовательно, не созданы достаточные возможности для направленного изменения процессов с целью последующей оптимизации приработки. Это обуславливает необходимость дальнейшего развития и углубления экспериментально-теоретических исследований данного процесса.

Наиболее совершенна методика теоретически-экспериментального обоснования режима обкатки. В основе этого метода лежит обоснование этапов обкатки по удельным нагрузкам, действующим в основных, трудно прирабатываемых сопряжениях кривошипно-шатунного механизма двигателя, с последующим экспериментальным уточнением продолжительности отдельных этапов обкатки по стабилизации износа деталей, температур трения, прорыва газов и других показателей.

Основная часть

Исходные данные для расчета удельных нагрузок определяются тепловым расчетом рабочего про-

цесса или индицированием двигателя на режимах прокрутки, холостого хода и под нагрузкой.

Логично предположить, что нужно стремиться к максимальному изменению (нарастанию) частоты вращения и нагрузки в ходе приработки, не допуская при этом, чтобы на каждом ее этапе величины критерия заедания превосходили критические значения. В таком случае будет обеспечена минимальная продолжительность и высокое качество, т. е. достигнуто оптимальное решение по режиму приработки двигателей.

В конечном счете, задача сводится к решению целевой функции:

$$P \xrightarrow{\quad} P_{opt} \quad (1)$$

$$P = \varphi(\tau, n, N_{0МП}, N_T, T_M), \quad (2)$$

где P – состояние приработанной поверхности в результате обкатки;

P_{opt} – оптимальное состояние приработанной поверхности;

τ – продолжительность приработки;

N_T – тормозная мощность на стенде;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя;

$N_{0МП}$ – мощность механических потерь в начале обкатки;

T_M – температура масла.

Следовательно, выбор режима обкатки двигателя состоит в установлении рациональных значений независимых переменных $\tau, n, N_{0мп}, N_T, T_M$ в уравнении (2) для реализации целевой функции (1).

Очевидно, что даже при ограничениях численных значений $\tau, n, N_T, N_{0мп}, T_M$ в реальных условиях, количество их сочетаний будет достаточно большим. Кроме того, уравнение (2) не учитывает влияния многочисленных конструктивных и технологических факторов, которые, в свою очередь, подвержены статистическим вариациям. Поэтому и отсутствуют единые, сложившиеся режимы предэксплуатационной техноло-

гической стендовой обкатки при капитальном ремонте двигателей даже для одной модели.

С другой стороны, режим обкатки двигателей на всех ремонтных предприятиях не может быть одинаковым. Условия приработки деталей зависят от технологических возможностей каждого предприятия и уровня культуры производства. Даже на одном предприятии продолжительность приработки может не совпадать для всех отремонтированных двигателей, так как в подготовленных для стендовой обкатки двигателях одинаковые детали не имеют абсолютно одинаковые чистоту поверхности и размеры, а сопряжения – одинаковые зазоры или натяги.

Действительно, анализ режимов стендовой обкатки двигателей ЯМЗ моделей 236 и 238 показал их значительные расхождения друг от друга [1-6, 7, 9].

Общими для всех приведенных режимов являются трехстадийная обкатка, состоящая из холодной приработки, приработки на холостом ходу и под нагрузкой, а также ступенчатое изменение нагрузки и частот вращения коленчатого вала.

Существенные различия в режимах обкатки наблюдаются на всех стадиях. Например, холодная приработка проводится в два и три этапа. При этом минимальная частота вращения коленчатого вала изменяется в диапазоне от 400 до 800, максимальная – от 700 до 1400 мин⁻¹. Продолжительность первого этапа холодной приработки колеблется от 5 до 40, а общее время – от 15 до 90 мин.

Так, по данным [1], горячая под нагрузкой обкатка двигателей ЯМЗ-236, 238 осуществляется за восемь этапов, по данным [7] – за семь, по данным [9] за пять этапов, по данным [2, 4] – за четыре, по данным [3] – за два этапа, а процесс обкатки начинается с частот вращения, равных: 1100, 1500, 1550, 1600, 1700 мин⁻¹ и заканчивается при 1700, 2000, 2100, 2200 мин⁻¹. Начальные нагрузки при горячей обкатке варьируются в пределах 8,1 – 33,2 % (мод.236) и 9,2 – 34 % (мод.238) от номинальной мощности двигателя, а конечные в пределах 21,9 – 83,1 % и 24,9 – 83,3% соответственно.

В широких пределах варьируется общая продолжительность обкатки – от 75 до 215 мин. В значительном диапазоне изменяется и продолжительность горячей обкатки при максимальных нагрузках – от 5 до 25 мин. Однако на этом этапе наблюдается тенденция к снижению времени обкатки до 10, в ряде случаев до 5 и даже 2 минут.

На рисунках 1 и 2 приведены зависимости тормозной мощности N_T и нагрузки P от времени обкатки τ и частоты вращения коленчатого вала n для двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238, построенные по результатам работ [2-5,9]. Анализ кривых 1-11 на рисунках 1 и 2 показывает существенные различия в динамике нагружения двигателя при горячей обкатке.

Тормозная мощность и удельные давления должны изменяться линейно. Резкий скачкообразный рост нагрузки может вызвать задиры или заедание поверхностей трения в процессе приработки. Поэто-

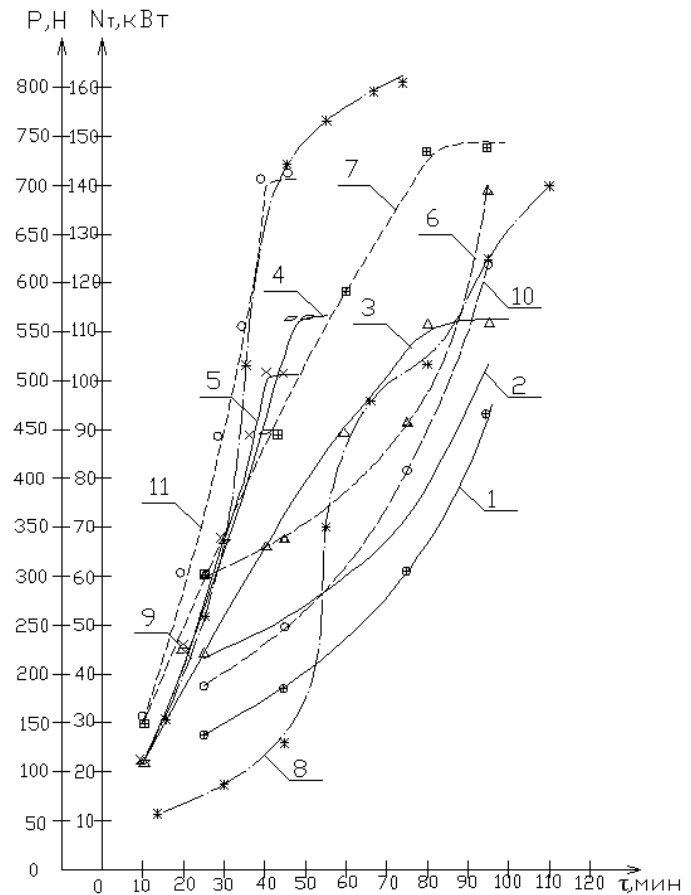


Рисунок 1. Зависимость эффективной тормозной мощности (кривые 1-7, 10, 11) и нагрузки P (кривые 8, 9) от времени обкатки: 1, 2, 3, 4, 5 – двигатель ЯМЗ-236 по данным [2 – 5, 9]; 6, 7, 10, 11 – двигатель ЯМЗ-238 по данным [2, 4, 5, 9]; 8, 9 – двигатель ЯМЗ-238 по данным [1].

му линейный, плавный характер изменения удельных давлений большинством авторов считается обоснованным. Однако характер изменения тормозной нагрузки не всегда соответствует характеру изменения удельных давлений на основные пары трения.

На основании изложенного невозможно однозначно выбрать рациональный режим обкатки и рекомендовать его для реализации. В связи с этим возникает необходимость оценки влияния каждой стадии обкатки на начальный износ и качество приработки несущих поверхностей деталей двигателя.

Первой стадией обкатки двигателя является холодная приработка. При холодной приработке происходит интенсивное изменение микро и макрогеометрии поверхностей трения с большими удельными износами, которые могут достигать от 20 до 70 % за весь обкаточный период [1].

В связи с этим, режимам стадии холодной приработки следует уделять особое внимание. Ускорения и высокое качества приработки на этой стадии можно достичь при ее проведении на малых скоростях

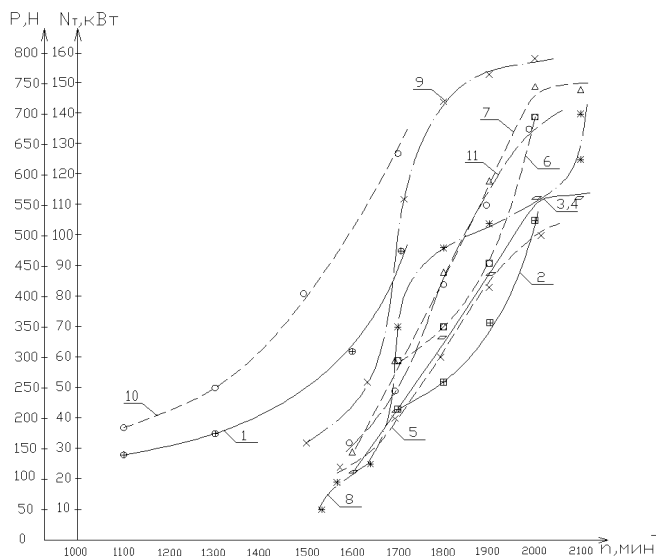


Рисунок 2. Зависимость эффективной тормозной мощности (кривые 1-7, 10, 11) и нагрузки P (кривые 8, 9) от частоты вращения коленчатого вала: 1, 2, 3, 4, 5 — двигатель ЯМЗ-236 по данным [2, 4, 5, 9]; 6, 7, 10, 11 — двигатель ЯМЗ-238 по данным [2, 4, 5, 9]; 8, 9 — двигатель ЯМЗ-238 по данным [1].

скольжения деталей, так как при этом износ резко возрастает по сравнению с износом при высоких скоростях и удельные давления в парах трения на малых и средних оборотах у дизельных двигателей сразу принимают высокие значения, до 13 МПа [2].

Но, с другой стороны, и интенсивное охлаждение прирабатываемых поверхностей затрудняется из-за низкой производительности масляного насоса при оборотах двигателя менее 500 мин⁻¹.

При высоких частотах вращения коленчатого вала на стадии холодной обкатки толщина масляного слоя увеличивается, и качество прирабатываемых поверхностей возрастает. Кроме того, с увеличением скорости скольжения поверхностей трения уменьшается время, но возрастает частота контактирования микровыступов сопрягаемых поверхностей, вследствие чего увеличиваются путь и работа трения в единицу времени. При этом повышение скорости пластического деформирования микровыступов приводит к быстрому заполнению впадин микронеровностей металлом.

В этих случаях износ сопровождается избирательным переносом металла с образованием тонких защитных пленок, приработка узлов трения ускоряется с образованием сравнительно небольших масс продуктов износа [8].

А при уменьшении скорости скольжения, то есть частоты вращения, микровпадины заполняются большей частью не металлом за счет его пластического деформирования, а продуктами износа, окислами, поэтому приработка поверхностей трения ухудшается с образо-

ванием глянцеvitости, заполирования. При увеличении нагрузки приработка такой поверхности начинается заново из-за низкой несущей способности заполированного глянцеvitого слоя и время приработки возрастает.

При холодной обкатке действуют только инерционные силы и характер изменения удельных давлений от них на сопряжения "поршень-цилиндр" и "шейка коленчатого вала-вкладыш" в зависимости от частоты вращения коленчатого вала примерно одинаков [2]. Ограничение максимальных значений частот вращения при холодной обкатке обусловлено максимальным суммарным уровнем удельных давлений в указанных сопряжениях. Как видно из рисунка 3, при $n = 1200$ мин⁻¹ удельные давления начинают падать, а при достижении частоты вращения значения равного 1400 мин⁻¹ и более процесс приработки сопряжения "поршень-цилиндр" замедляется.

Дальнейшее повышение частоты вращения коленчатого вала при холодной обкатке нерационально, так как будут прирабатываться лишь те поверхности трения, которые подвержены воздействию инерционных сил (вал-подшипник).

Следующей стадией стендовой обкатки двигателей является обкатка на холостом ходу. На этой стадии удельные давления в сопряжениях мало чем отличаются от холодной обкатки (рис. 3). Прирост их в связи с воздействием небольших газовых давлений на поршневые кольца является несущественным. В связи с этим нет необходимости проводить обкатку на холостом ходу на тех частотах вращения коленчатого вала, на которых закончена холодная приработка, а целесообразно идти по пути равномерного повышения частоты вращения. Но поскольку при обкатке на холостом ходу при высоких частотах вращения инерционные силы недостаточно компенсируются нагрузками от давления газов, то, как следствие, происходит повышенный износ сопряжения "шатунная шейка — вкладыш", перегрузка и повреждение подшипников коленчатого вала, особенно, если последний не сбалансирован.

Одновременно увеличивается мощность трения в подшипниках и трущиеся поверхности не успевают охлаждаться смазочным маслом. Таким образом, обкатка на холостом ходу при высоких частотах вращения не только нерациональна, но и может привести к отрицательным последствиям.

Обкатка только на холостом ходу не может обеспечить удовлетворительную прирабатываемость поршневых колец и зеркал цилиндров. Из-за относительно низких температур и неполного сгорания топлива, смывания масляной пленки и повышенного трения при незначительных газовых нагрузках на поршневые кольца возникает глянцеvitость зеркал цилиндров.

Глянцеvitость повышает расход масла и приводит к потере мощности. Во избежание этого явления после обкатки двигателя на холостом ходу обязательна обкатка под нагрузкой.

Продолжительность обкатки на холостом ходу ограничивается временем, необходимым для прогрева двигателя, с целью последующей его обкатки под нагрузкой, так как считается установленным [2], что

холодной обкатки достаточно для подготовки поверхностей трения для работы в нагрузочном режиме. Заключительная стадия обкатки – это горячая

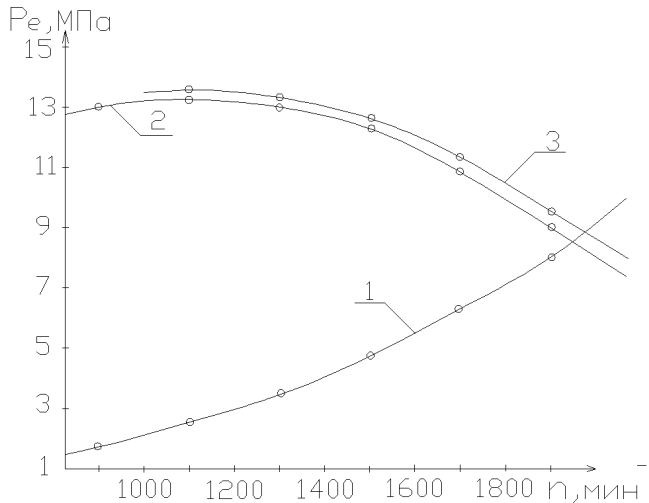


Рисунок 3. Изменение суммарных максимальных удельных давлений, действующих на пару трения "шатунная шейка-подшипник" в зависимости от режима работы двигателя ЯМЗ-238 [2]: 1 – инерционные нагрузки; 2 – режимы холодной обкатки; 3 – режим холостого хода.

обкатка под нагрузкой. Если при работе двигателя на холостом ходу силы давления газов в цилиндре малы и практически не компенсируют инерционные силы, а действие максимальных инерционных сил проявляется на каждом обороте коленчатого вала, то под нагрузкой действие этих сил проявляется через один оборот на такте расширения (рабочего хода). При высоких частотах вращения коленчатого вала инерционные нагрузки в определенной степени уравновешиваются силами давления газов.

Однако при этом алгебраическая сумма инерционных сил и газового давления остается значительной, определяющей приработку пар трения на этой стадии обкатки (рис. 3). Во избежание задиrow несущих поверхностей необходимо обеспечить плавное повышение удельных давлений относительно действующих на предшествующей стадии или этапе обкатки. Для обеспечения требуемой прирабатываемости трущихся пар в процессе обкатки они должны подвергнуться значительным нагрузкам. С этой целью частоту вращения коленчатого вала необходимо повышать до значений, близких к максимальным.

Выводы

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Режим обкатки при капитальном ремонте двигателей ЯМЗ моделей 236 и 238 должен состоять из трех стадий: холодной обкатки, обкатки на холостом ходу и горячей обкатки под нагрузкой.
2. Режимы стендовой обкатки на различных ре-

монтных предприятиях отличаются значениями тормозной мощности N_T (нагрузки P), продолжительности обкатки τ , частоты вращения коленчатого вала n , температуры масла T_M , мощности механических потерь в начале обкатки $N_{0МП}$.

3. Вариации режимов стендовой обкатки обусловлены технологическими возможностями предприятия. Качество прирабатываемых поверхностей должно определяться не только продолжительностью обкатки, но и другими показателями, например, мощностью механических потерь, содержанием продуктов износа в масле, температурой масла и т.д.

Чем выше технологические возможности и культура производства на предприятии, тем меньшим будет время приработки сопрягаемых деталей.

4. Частоту вращения коленчатого вала и тормозную мощность необходимо изменять ступенчато при их постепенном увеличении от минимальных до максимальных значений.

Удельные давления на основные несущие поверхности деталей должны нарастать по линейному закону и определяться на основании динамического расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заренбин, В.Г. Исследование режимов приработки автомобильных двигателей при капитальном ремонте / В.Г. Заренбин, А.Х.Касумов. – М.: Транспорт, 1983. – С. 78.
2. Мухин, Е. М. Обкатка V-образных автомобильных двигателей при капитальном ремонте / Е.М.Мухин, И.И.Столяров. – М.: Транспорт, 1974. – 104 с.
3. Погорельый, И.П. Обкатка и испытание тракторных и автомобильных двигателей / И.П. Погорельый. – М.: Колос, 1973. – С. 208.
4. РК 200-РСФСР-2/1-2018-88. Двигатели ЯМЗ мод.236, 238, 240 и их модификации. Руководство по капитальному ремонту 236.00.000 РК Ч.П. Сборка, регулировка и испытания. – М.:ГОСНИТИ, 1989. – 278 с.
5. Двигатели ЯМЗ-236, ЯМЗ-238, ЯМЗ-238А, ЯМЗ-238В. Обкатка и испытания: инструкция. – Ярославль, 1978. – 164 с.
6. Гаенко, Л.М. Приработка и испытание автомобильных двигателей / Л.М. Гаенко. – М.: Транспорт, 1966. – С. 110.
7. Чернышев, Г.Д. Ремонт двигателей ЯМЗ / Г.Д. Шаронов, В.Д. Аршинов. – М.: Транспорт, 1974. – С. 216.
8. Вохидов, А.С. Методы повышения износостойкости и ресурсосбережение за счет применения эпиламирующих составов / А.С. Вохидов, М.В. Мальков, В.Ю. Долганов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007, №1. – С. 9 – 12.
9. РК РБ 000 17590. 444 – 95. Двигатели ЯМЗ-236, 238, 240 и их модификации. Руководство по капитальному ремонту: инструкции. Введ. 01.06.96. – Минск: БелНИИТТранстехника, 1995. – Ч. 2. – С. 198-203

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ СОРТИРОВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ

Г.А. Радишевский, канд. техн. наук, В.Н. Еднач, ассистент (УО БГАТУ)

Аннотация

В статье рассмотрены причины возникновения повреждения клубней картофеля в процессе разделения их на фракции на калибрующих поверхностях сортировальных машин, а также проанализированы достоинства и недостатки использования различных типов сортировальных поверхностей. Рассмотрены способы устранения и снижения повреждений клубней в процессе калибрования на фракции с учетом факторов, оказывающих влияние на выполнение процесса сортирования.

Представлены конструктивные решения, направленные на уменьшение повреждений, наносимых клубням картофеля в процессе разделения при контакте с элементами калибрующей поверхности.

Введение

Основные недостатки машин для сортирования – высокий уровень нанесения повреждений картофелю, низкая производительность и точность разделения. Поэтому актуальным является вопрос разработки рабочих органов, позволяющих уменьшить повреждения клубней при разделении на фракции и повысить качество закладываемого на хранение картофеля.

Основная часть

Согласно агротехническим требованиям, предъявляемым к картофелеуборочным машинам, количество повреждённых клубней в процессе уборки не должно превышать 5%, а в послеуборочной переработке при сортировании – не более 1% [1]. Основными повреждениями, наносимыми клубням картофеля рабочими органами, являются: потемнение мякоти, вырывы, трещины и сдиры кожуры.

На качество хранения оказывает влияние высокая влажность клубней и воздуха в хранилище, возникающая в результате интенсивного обмена веществ, что является хорошей средой для жизнедеятельности болезнетворных бактерий, поэтому повреждение клубней, закладываемых на хранение, должно быть минимальным. С целью повышения эффективности хранения картофеля – уменьшения зависимости клубней от повреждений при хранении необходимо перед закладкой обеспечить период времени для образования защитного пробкового слоя. При этом следует учесть, что свежубранные клубни наиболее быстро регенерируют повреждённые участки поверхности при соблюдении определённых условий, одним из которых является просушивание их перед закладкой. Однако надо отметить, что в процессе уборки интенсивность силы воздействия на поверхность клубня при сепарации почвы через прутковые элеваторы частично компенсируется почвой, которая работает как смазка и только при её отсутствии идёт

рост повреждений. Значительные повреждения свежубранным клубням наносятся при перегрузках и перевалках, а также при падении клубней с высоты более 20 – 45 сантиметров [2], при этом необходимо учитывать температуру, которая влияет на развитие бактериального фона в помещении, где происходит сортирование (оптимальная температура воздуха должна быть 16 – 20°C).

Большое влияние на сохранность клубней оказывает операция сортирования, так как в ворохе, поступающем от картофелеуборочных комбайнов, содержатся примеси: растительные остатки, камни, почвенные комки, маточные клубни и т. д., что в значительной степени повышает инфекционный фон в хранилище и увеличивает вероятность поражения клубней болезнями, способствует ухудшению вентиляции в массе.

При незначительной засоренности картофеля целесообразно закладывать его на хранение неотсортированным. По данным Т.И. Валуевой [3], заложенный на хранение неотсортированный картофель дает выход здоровых клубней на 3,7 – 8,7% выше, чем у картофеля, заложенного на хранение после сортирования.

Повышение эффективности хранения картофеля следует рассматривать с точки зрения целесообразности включения в сортировочную линию различных устройств (модулей) с учетом назначения клубней, степени их повреждённости, засорённости вороха и других условий.

Исходя из экономической эффективности целесообразности сортирования, закладка на хранение мелких клубней невыгодна. В странах дальнего зарубежья при возделывании продовольственного картофеля, с целью уменьшения затрат, не убирают мелкую фракцию, оставляя её на поле. Некоторые хозяйства для уменьшения издержек мелкую фракцию используют на корм скоту, крупную реализуют осенью, а семенную закладывают на хранение.

Повреждения клубней при сортировании определяются параметрами сортирующих рабочих органов,

в частности, скоростью соударения элементов рабочего органа с клубнями. Поэтому, с целью снижения повреждений картофеля при его прохождении по рабочим органам машин, следует рационально выбирать кинематические и геометрические параметры. Наибольшие повреждения кожуры возникают при значительной разнице относительных скоростей обрабатываемых клубней и элементов рабочей поверхности (при проскальзывании).

Повреждения клубней при динамическом взаимодействии их с рабочими органами исследовал М.И. Ламм [2]. Он установил, что уменьшение контактных повреждений клубней возможно при повышении радиуса кривизны элементов рабочей поверхности. На основании анализа вероятности контакта клубня с элементом рабочего органа в момент ориентации, режимов работы рабочего органа и других факторов М.И. Лемм также установил допустимую ориентировочную скорость соударения, которая не должна превышать $0,8 \dots 1$ м/с.

Вопрос снижения повреждений клубней при послеуборочной обработке является одним из важнейших, однако механические повреждения практически неизбежны, так как выделенный в соответствующую фракцию клубень должен поступить в определённое отверстие. При этом, соприкасаясь с его краями, он получит повреждения. Одновременно повреждения наносятся сортирующими поверхностями при перемещении по ним клубней.

Отечественное машиностроение в разные годы выпускало различные по конструктивному исполнению машины для сортирования картофеля, в основу которых положена роликотная сортировальная поверхность.

Роликотные рабочие органы по направлению движения клубней относительно роликов можно разделить на две группы. Наибольшее распространение получили поперечные, с вращающимися цилиндрическими, фигурными или спиральными роликами, процесс разделения на которых осуществляется за счёт просеивания клубней соответствующего размера сквозь щели между вращающимися роликами.

Производительность сортирующей поверхности, в основном, зависит от скорости движения по ней клубней и частоты вращения роликов. Однако при большой частоте вращения возможен отрыв клубней от поверхности и их проскакивание над калибрующими отверстиями. Это способствует увеличению повреждений клубней. С целью уменьшения повреждений, наносимых клубням при соприкосновении с вращающимися поверхностями роликов как цилиндрических, так и фигурных, их покрывают износостойкой резиной, на поверхности которой могут быть выступы. Следует отметить, что клубень, размеры которого близки к размерам калибрующей щели, западая в ячейку, начинает вращаться в ней вокруг своего центра, пока не деформируется до размеров щели, или его не вытолкнет следующий за ним клубень.

Также одним из важных факторов, влияющих на повреждение, является длина рабочей поверхности и время контакта с ней. При достаточно длинной рабочей поверхности увеличивается точность сортирования, но и одновременно растут повреждения клубней и габариты машины. Недостатком роликотных сортировок является последовательное выделение фракций, где клубням крупной фракции необходимо проходить по всей длине калибрующей поверхности, примераясь к отверстиям, в результате чего они получают значительные повреждения.

Для разделения клубней картофеля на фракции могут использоваться грохотные калибраторы, осуществляющие как параллельный, так и последовательный процесс движения клубней. В настоящее время они получили довольно широкое распространение, благодаря простоте конструкции и высокой точности разделения. Конструктивно наиболее часто их выполняют из металлических проволок, натянутых на рамке. Как правило, проволоки образуют ячейки квадратной либо прямоугольной формы. Одним из основных требований, предъявляемых к грохотным рабочим органам, выполненным в виде сит (решет), является свободный проход сортируемых клубней через ячейки соответствующих размеров, а также достаточная прочность при наибольшем живом сечении. С целью уменьшения повреждений, наносимых клубням в процессе работы грохота, поверхность решета покрывают упругими износостойкими материалами. Существенным недостатком грохотных рабочих органов является повреждение клубней при заклинивании в калибрующей ячейках, что снижает производительность и точность процесса разделения.

Достоинством рабочих органов транспортёрного типа является то, что они имеют возможность самоочистки рабочего полотна от растительных остатков и застрявших клубней. По конструктивному исполнению используются два вида рабочих органов транспортёрного типа. К первому относятся рабочие органы, поверхность которых образуется поступательно движущимися бесконечными элементами: ремнями, тросами и т.д.

Ко второму – разделяющие поверхности, образованные движущимися бесконечными сетчатыми полотнами, изготовленными из соединённых между собой проволок, или с пробивными круглыми отверстиями.

Необходимо отметить, что на машинах этого типа обеспечивается последовательное выделение фракций. Поэтому сетчатые калибраторы, в основном, повреждают клубни, зависшие в ячейках полотна, а также повреждают кожуру клубней, близких по размерам ячейкам полотна, при просеивании.

Транспортёрные рабочие органы, калибрующая поверхность которых образована расходящимися тросами, наиболее бережно относятся к клубням и практически не повреждают кожуру. Однако точность разделения хуже, чем на сетчатой калибрующей поверхности.

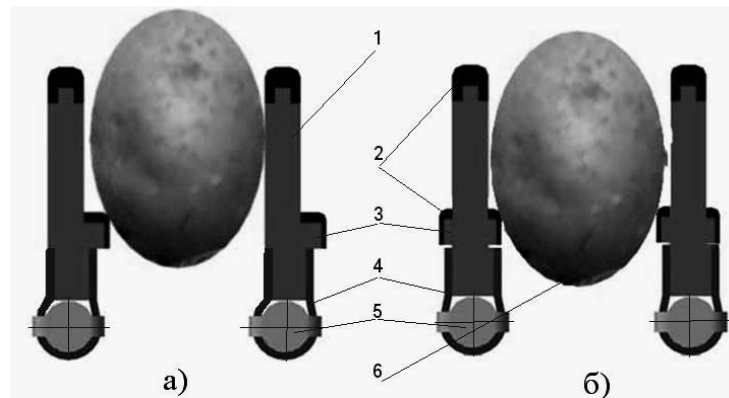
Снизить повреждения с сохранением высокой точности позволяет использование сетчатого бесконечного полотна, изготовленного из капроновых нитей, сплетённых между собой и образующих квадратные или круглые ячейки. Недостатком является то, что со временем происходит растяжение нитей и изменение размеров ячеек.

На кафедре «Сельскохозяйственные машины» БГАТУ разработано устройство для разделения клубней картофеля на фракции, состоящее из планчатого транспортера, где разделение производится параллельным способом и в качестве калибрующего размера используется толщина клубня. Конструкция транспортера позволяет использовать полотно для выделения одновременно трёх фракций с целью снижения повреждения крупной фракции, имеющей наибольший удельный вес во всей массе клубней, выделение её происходит в начале технологического процесса. Выделение мелкой фракции осуществляется путём просеивания её сквозь щели, образованные между планками и выступами транспортера.

Так как повреждения клубней чаще всего происходят при прохождении клубня сквозь минимально допустимые отверстия при соприкосновении с краями калибрующей ячейки, то конструкцией предусмотрено, что клубни средней фракции не просеиваются, а западают в ячейки, образованные между планками и выступами, и остаются в полотне. В момент, когда планки находятся на ведущих шкивах, вершины их расходятся, и клубни освобождаются и выпадают из полотна. С целью уменьшения повреждений клубней, грани калибрующих ячеек и планок покрыты износостойкой резиной.

Для повышения точности разделения клубней на фракции и уменьшения повреждений, наносимых клубням средней фракции при нахождении их в полотне, возможно использование планок с односторонним или двухсторонним выступом (рис.1). Планки полотна с двухсторонним выступом используют принцип разделения, применяемый в большинстве калибрующих поверхностей, в которых ось клубня располагается в центре калибрующей щели. У планок с односторонним выступом ось клубня смещена относительно оси калибрующей щели, и за счет этого клубни, размеры которых превышают размер щели, будут меньше проникать вглубь, что уменьшит вероятность их повреждения.

На основании вышеизложенного, при выделении клубней средней фракции, размер которых составляет (42 мм) и мелкой (36 мм), длина выступа на односторонней планке – 8 мм, на двухсторонней – 4 мм. Использование планок с односторонним выступом при разделении клубней в весенний период повышает точность разделения на фракции по сравнению с



*Рисунок 1. Положение клубня между планками с односторонним и двухсторонним выступом: а – полотно с планками с односторонним выступом; б – с двухсторонним выступом.
1 – планка; 2 – резиновые накладки; 3 – выступы; 4 – ножка планки с фиксирующей скобой; 5 – ось прутка; 6 – клубень картофеля.*

большинством калибрующих рабочих органов, где оси щели и клубня совпадают.

Существенным конструкционным преимуществом планок данного полотна является то, что выступы односторонних и двухсторонних планок расположены выше оси прутка. Это позволяет предотвратить значительные повреждения клубней, размеры которых близки к размерам щели (рис. 2).

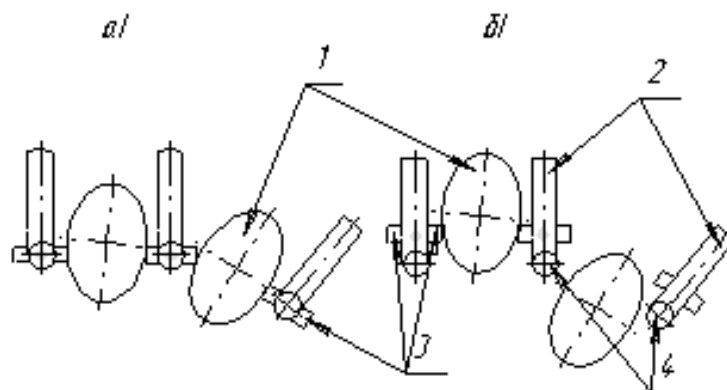


Рисунок 2. Освобождение клубней при огибании роликов калибрующим полотном: а – щель между выступами расположена на уровне прутьев транспортера; б – щель выше прутьев транспортера.

1 – клубень; 2 – планка; 3 – выступ;
4 – прут транспортера.

При огибании транспортером ролика две соседние планки, одновременно находящиеся на поверхности ролика, будут максимально удалены друг от друга своими вершинами (рис. 3) в точках А и А₁ и по мере приближения к поверхности ролика расстояние между планками будет сокращаться и станет минимальным между точками Е и Е₁.

Поэтому, если щель для отделения более мелкой фракции расположить ближе к точкам А и А₁, то размер щели при огибании ролика транспортером будет увеличиваться, и клубни, защемлённые в ней, будут освобождаться.

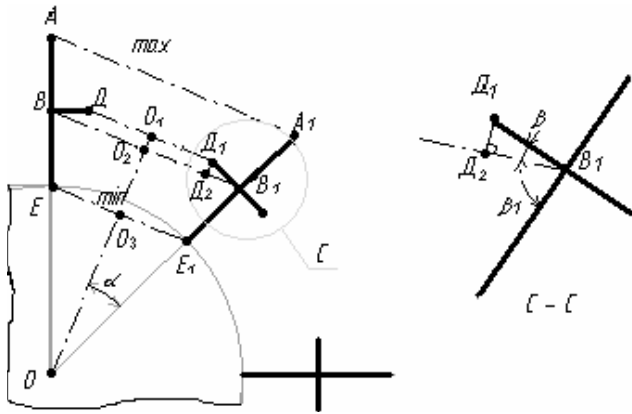


Рисунок 3. Положения планок транспортёра в момент нахождения их на поверхности ролика.

Для определения оптимальной высоты расположения выступа на планке необходимо учитывать следующие условия:

Размер щели между выступами при нахождении обеих планок на поверхности ролика C_m' соответствующее отрезку DD_1 (рис. 3) и должен удовлетворять условию освобождения клубней, защемлённых планками и выступами:

$$C_c \geq C_m' > C_m,$$

где C_c – расстояние между вершинами при параллельном расположении планок;

C_m – размер щели между выступами при параллельном расположении планок.

Высота планки от выступа до вершины h_c , соответствующая отрезку AB , должна удовлетворять условию фиксирования клубней средней фракции в ячейках калибрующего полотна:

$$b_c > h_c \geq b_c/2,$$

где b_c – максимальная ширина клубня средней фракции.

С учетом приведенных выше условий высота расположения выступа h , соответствующая отрезку BE , определяется по выражению:

$$h = \frac{C_m'}{2 \cdot \sin \alpha} + L_{выст} \cdot ctg \alpha - R_{рол} - d_{прутка},$$

где $d_{прутка}$ – максимальная ширина клубня средней фракции;

$L_{выст}$ – длина выступа;

$R_{рол}$ – радиус ролика;

α – 1/2 угла, образуемого между осями планок, находящихся на ролике.

$$\alpha = arctg \frac{L_{np}}{2 \sqrt{R_{рол}^2 - \frac{L_{np}^2}{4}}},$$

где L_{np} – расстояние между осями прутков транспортёра.

На основании вышеизложенного, при выделении клубней средней (42 мм) и мелкой (36 мм) фракции оптимальная высота ножки планки – $h = 3,5 \dots 14$ мм.

Выводы

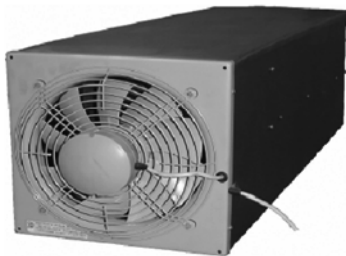
Применение сортировальной поверхности, состоящей из планчатого транспортера, на которой разделение на фракции производится параллельным способом, позволяет выделить крупную фракцию в начале технологического процесса и повысить производительность.

Использование планок с односторонним выступом позволяет снизить вероятность защемления клубней, что способствует уменьшению повреждаемости и повышению точности разделения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины/ В.М. Халанский, И.В. Горбачев. – М.: Колос, 2004. – 624с.
2. Колчин, Н.Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей/ Н.Н. Колчин. – М.: Машиностроение, 1982. – 268с.
3. Горфинкель, И.Ш. Организация производства на сельскохозяйственных предприятиях/ И.Ш. Горфинкель [и др.]. – Мн.: Ураджай, 1997. – 399с.

Установка для очистки и обеззараживания воздуха БСУ-900



Установка предназначена для очистки воздуха от газовых примесей органического и неорганического происхождения в помещениях предприятий АПК, медицинских, общественных и других помещениях, в которых необходимо обеспечивать требования СНИП (аммиак, сероводород, углекислый газ и др.). Фильтр производит непрерывную очистку и обеззараживание помещений в присутствии обслуживающего персонала со степенью очистки по уровню общей загрязненности до 60%, по индексу Колли до 70%, по вирусам до 80%, позволяет экономить до 50% энергии на отопление помещений. Наиболее эффективен при использовании в помещениях для содержания молодняка птицы, свиней и крупного рогатого скота.

Производительность составляет 900 м³/ч.

Автор: Николаенков А.И, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОБРАБОТКЕ КОРМА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

В. С. Корко, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ)

Аннотация

Получены зависимости, описывающие температурное поле в электродной камере, кинетику нагрева дисперсной проводящей среды, рассмотрены особенности термического действия электрического тока при обработке корма.

Введение

Обработку кормовых материалов (зерна, соломы, мелассы и др.) с целью повышения переваримости питательных веществ, улучшения других качеств осуществляют в электродных камерах с использованием переменного или постоянного тока [1,2,3]. Происходящие деструктивные процессы, имеющие физико-химическую природу, изменяют структуру и свойства компонентов корма, обеспечивают улучшение кормового достоинства. В силу особенностей рассматриваемых технологий и явлений, изменчивости в течение времени обработки свойств органических материалов, недостаточной изученности каждого вида воздействий электрического тока представляет интерес получить математические модели термического процесса электротехнологической обработки, используемые для исследования и расчета электрических аппаратов и устройств.

Основная часть

Для анализа особенностей термического проявления электрического тока рассмотрим процесс электрогидротермической обработки фуражного зерна [1]. Приняв, что размеры электродов в рабочей электродной камере бесконечно велики по сравнению с межэлектродным расстоянием, в направлении которого происходит изменение температуры, можно рассматривать систему как одномерное поле между двумя неограниченными пластинами. Считая мощность внутренних источников теплоты постоянной, температурное поле в зерновой массе толщиной $2R$ можно представить уравнением [4]:

$$\theta_{(x,\tau)} = \frac{T_{(x,\tau)} - T_n}{T_c - T_n} = 1 + \frac{1}{2} Po \left(1 - \frac{x^2}{R^2} + \frac{2}{Bi} \right) - \sum_{n=1}^{\infty} \left(1 + \frac{Po}{2} \right) \frac{A_n}{\mu_n^2} \cos \mu_n \frac{x}{R} \exp(-\mu_n Fo), \quad (1)$$

где $T_{(x,\tau)}$ – температура зерновой массы на расстоянии x от центра в момент времени τ , К; T_n – начальная температура зерновой массы, К; T_c – температура окружающей среды, К; Po – критерий Померанцева:

пература окружающей среды, К; Po – критерий Померанцева:

$$Po = \frac{\gamma E^2 R^2}{\lambda (T_c - T_n)}, \quad (2)$$

где γ – удельная проводимость зерновой массы, $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$; E – напряженность электрического поля, $\text{В} \cdot \text{м}^{-1}$; λ – теплопроводность зерновой массы, $\text{Вт} (\text{м}^2 \cdot \text{К})^{-1}$; Bi – критерий Био:

$$Bi = \frac{kR}{\lambda}, \quad (3)$$

где k – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт} (\text{м}^2 \cdot \text{К})^{-1}$; A_n – начальная тепловая амплитуда:

$$A_n = \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n}, \quad (4)$$

где μ_n – корни характеристического уравнения $\text{tg} \mu = \mu (Bi - 1)$, определяемые по таблицам; Fo – критерий Фурье:

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{R^2}, \quad (5)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$:

$$a = \frac{\lambda}{C\rho}. \quad (6)$$

Для зерновой массы критерий $Bi > 1$, тогда корни характеристического уравнения $\mu_n = n\pi$, где $n = 1 \dots \infty$ [4].

Так как при поточной обработке время нахождения зерновой массы в плоскости перпендикулярной электродам в данной точке бесконечно мало, то критерий $Fo \rightarrow 0$. При таких значениях критериев Bi и Fo можно ограничиться первым членом ряда (1), соответствующим корню $\mu_1 = 1, A_1 = 2$. Тогда уравнение (1) примет вид:

$$\theta = \frac{T_x - T_n}{T_c - T_n} = 1 + \frac{1}{2} Po \left(1 - \frac{x^2}{R^2} + \frac{2}{Bi} - \left(1 + \frac{Po}{\pi^2} \right) \cdot \frac{2x}{R} \right) \quad (7)$$

В соответствии с уравнением (7) в плоскости, перпендикулярной электродам, перепад температур между центром и поверхностью (в приэлектродной зоне) обрабатываемой массы близок к нулю, т.е. достигается высокая равномерность температурного поля в камере, что подтверждается результатами экспериментальных исследований [1].

Графики температурного поля в зерновой массе между электродами (рис. 1) при обработке электрическим током и при подводе косвенной теплоты (через стенку при температуре пара 373К) существенно различаются. Приведенные кривые показывают распределение температуры по длине камеры в относительных единицах (L_1 - расстояние от рассматриваемой точки до левого электрода; L - межэлектродное расстояние) в течение времени от начала обработки соответственно: 1,6- 0с; 2- 52с; 3- 112с; 4- 160с; 5- 225с; 7- 27с; 8- 50с; 9- 67с; 10- 78с. Температурное поле в зерновой массе при нагреве косвенной теплотой резко неравномерное, особенно в начальный период. Высокий перепад температур приводит к более интенсивному нагреву массы вблизи источника теплоты и клейстеризации крахмала, снижая теплопроводность материала в этой зоне. Анализируя кривые 1...5 (рис. 1), можно сказать, что при нагреве корма от контактных поверхностей теплообмена имеет место высокая неравномерность температурного поля, осо-

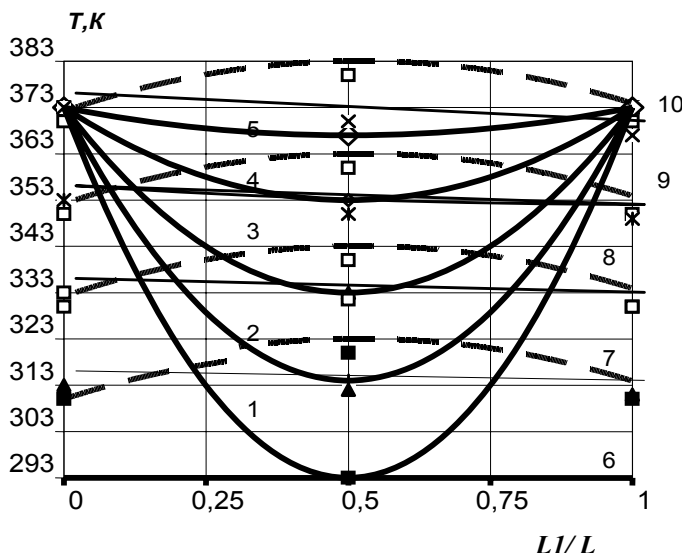


Рисунок 1. Температурное поле в зерновой массе при обработке косвенной теплотой (1...5) и в электрическом поле (6...10).

бенно на начальном этапе. Выравнивание температуры по объему камеры происходит за время, в 3 раза большее, чем при обработке электрическим полем.

Качественно другая картина температурного поля наблюдается в материале при обработке электрическим током. Благодаря объемному вводу энергии вся зерновая масса нагревается одинаково равномерно по всему объему камеры. Неравномерность температурного поля в камере при обработке электрическим током не превышает 5К. При этом отмечается более быстрое повышение температуры у фазного электрода. В этой области наблюдается некоторое пенообразование, здесь раньше развиваются явления, нарушающие нормальное протекание процесса, что, вероятно, связано с влиянием потенциала на приэлектродные и электрохимические процессы. Расхождение между экспериментальными и расчетными данными, полученными по уравнению (7), не превышает 7...8%.

Уравнение теплового баланса в рабочей камере при плоскопараллельной электродной системе имеет вид:

$$mC \frac{d\theta}{d\tau} = \gamma U^2 \frac{h}{K} - kF(\theta - \theta_0), \quad (8)$$

где m, C, θ, γ — соответственно масса (кг), удельная теплоемкость (Дж/кг·К), температура (К) и удельная проводимость (См·м⁻¹) обрабатываемого материала; U - напряжение на электродах, В; $K = l/b$ - геометрический коэффициент электродной системы; b, h - соответственно ширина и высота электродов, м; l - межэлектродное расстояние (м); k - коэффициент теплопередачи от нагреваемого материала (зоны нагрева) к окружающей среде, Вт·(м²·К)⁻¹; F - площадь теплоотдающей поверхности, м²; θ_0 - температура окружающей среды, К.

Относительная сложность решения уравнения (8) заключается в том, что удельная теплоемкость, удельная проводимость и коэффициент теплопередачи зависят от температуры.

Научный интерес представляет получение математических моделей термического процесса при различных соотношениях тепловыделений и теплопотерь, а также с учетом термолабильности свойств обрабатываемого корма. В обобщенном контексте уравнение (8) можно представить следующим образом:

$$mC(\theta) \frac{d\theta}{d\tau} = \gamma(\theta) U^2 \frac{h}{K} - k(\theta) F(\theta - \theta_0), \quad (9)$$

где $C(\theta), \gamma(\theta), k(\theta)$ - соответственно температурные характеристики удельной теплоемкости, проводимости и коэффициента теплопередачи.

В инженерных расчетах обычно прибегают к некоторому упрощению зависимостей. Принимая во

внимание относительно небольшую длительность процесса обработки кормов электрическим током, а также низкую теплопроводность диэлектрического материала, из которого выполнены стенки рабочей камеры, можно полагать расчетные значения коэффициента теплопередачи и удельной теплоемкости постоянными, не зависящими от изменения температуры. Температурную характеристику проводимости кормового материала, подготовленного для обработки электрическим током, точно достаточной для инженерных расчетов, аппроксимируют линейным уравнением:

$$\gamma = \gamma_n (1 + \alpha \theta), \quad (10)$$

где γ_n - удельная проводимость материала при начальной температуре, См·м⁻¹; α - температурный коэффициент проводимости, 1/К.

С учетом указанных выше допущений уравнение (9) представим в виде:

$$\frac{d\theta}{d\tau} - \frac{1}{mC} \left(\frac{\alpha \gamma_n U^2 h}{K} - kF \right) \theta - \frac{kF}{mC} \left(\frac{\gamma_n U^2 h}{kFK} + \theta_0 \right) = 0. \quad (11)$$

Решение полученного дифференциального уравнения зависит от соотношения величины теплотеря и интенсивности изменения тепловыделения за счет температурного коэффициента проводимости обрабатываемого материала. Подробный анализ разнотипных задач рассмотрен в работе [3].

В условиях технологии электрогидротермической обработки зерна в установке периодического действия выполняется соотношение $kF < \frac{\alpha \gamma_n U^2 h}{K}$.

В таком случае общее решение уравнения (11) выражается следующей зависимостью:

$$\theta(\tau) = \theta_n \left\{ \exp \left[\frac{1}{mC} \left(\frac{\alpha \gamma_n U^2 h}{K} - kF \right) \tau \right] \right\} + \theta_y \left\{ 1 - \exp \left[\frac{1}{mC} \left(\frac{\alpha \gamma_n U^2 h}{K} - kF \right) \tau \right] \right\}, \quad (12)$$

где τ - время обработки; θ_y - установившаяся температура корма при $\tau \rightarrow \infty$.

Как следует из уравнения (12), температура обрабатываемого корма изменяется по экспоненте, стремясь к установившемуся значению, которое несложно определить из уравнения (11), приняв скорость нагрева равной нулю:

$$\theta_y = - \left(\frac{\gamma_n U^2 h}{kFK} + \theta_0 \right) / \left(\frac{\alpha \gamma_n U^2 h}{kFK} - 1 \right). \quad (13)$$

Из полученного решения (12) находится выражение для определения времени нагрева материала до

температуры θ в промежутке от начальной θ_n до установившейся θ_y :

$$\tau = (\theta_0 - \theta_n) / \left[\frac{kF}{mC} \left(\frac{\alpha \gamma_n U^2 h}{K} + \theta_0 \right) \right]. \quad (14)$$

Выражение скорости нагрева как важной характеристики термического процесса может быть получено, если продифференцировать решение (12) по времени τ :

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\theta_n - \theta_y}{T} \exp \left(\frac{\tau}{T} \right), \quad (15)$$

где $T = mC / \left(\frac{\alpha \gamma_n U^2 h}{K} - kF \right)$ - постоянная времени нагрева.

На рис. 2 приведена зависимость средней скорости нагрева $d\theta/d\tau$ от напряженности электрического поля в температурном интервале 293...373К. Штриховой линией показана расчетная зависимость по уравнению (15). Расхождение между ними составляет не более 8% в начальной половине диапазона и не превышает 10% при предельном значении напря-

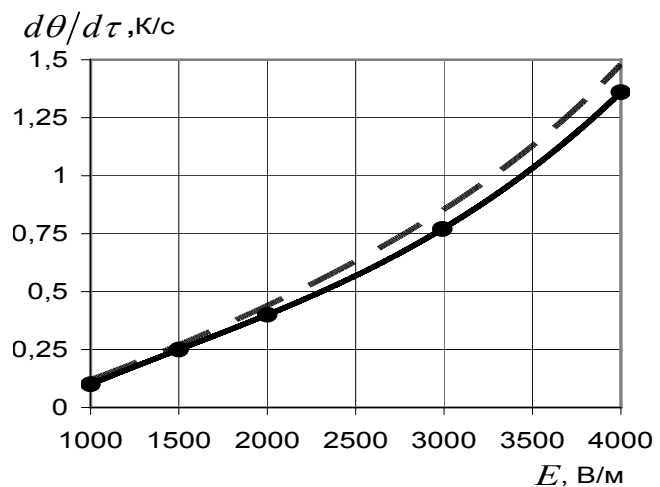


Рисунок 2. Зависимость скорости нагрева зерновой массы от напряженности электрического поля.

женности электрического поля.

Характер работы электрических нагревателей в проточных и непроточных аппаратах практически одинаков (различие состоит лишь в том, что в проточных установках электроды по длине неравномерно загружены по плотности тока), поэтому расчет их можно вести по единой методике с учетом этой особенности.

Выводы

При электродной обработке проводящих кормовых материалов электрический ток, даже если его рассматривать чисто как энергоноситель, создает положительный технологический эффект, выраженный в объемном вводе энергии, высокой интенсивности и равномерности нагрева.

Из-за определенной неоднородности электрических свойств компонентов дисперсной системы, электрический ток оказывает, помимо объемного нагрева, также и избирательное термическое действие, повышая температуру отдельных субстанций материала. Этими факторами, а также электрофизическим и электрохимическим действиями тока, можно объяснить снижение конечной температуры обработки, а также более значительный угнетающий или стимулирующий жизнедеятельность биологических объектов эффект в сопоставимых опытах при электрической обработке по сравнению с косвенным нагревом [1,2].

Полученные математические модели процесса нагрева корма справедливы в пределах принятых допущений, в которых можно считать температурную характеристику проводимости линейной, а удельную теплоемкость и коэффициент теплопередачи не зависящими от температуры. В диапазоне высоких температур более интенсивно происходят деструктивные преобразования органических веществ и изменяются формы связи влаги, что влечет за собой соответствующее изменение электрофизических свойств. При этом процесс может переходить в режим более быст-

рого возрастания или уменьшения скорости нагрева. Эти явления значительно усложняют приэлектродные процессы, обеспечение требуемых режимов обработки и управление.

Значит, термическое действие электрического тока на обрабатываемый материал носит комплексный характер, имеет свои специфические технологические особенности и проявления в дисперсных органических системах, представляет важное научное и практическое значение при обработке кормов и других биологических объектов. Полученные математические модели температурного поля, кинетики электрического нагрева термолабильных кормовых материалов найдут свое применение при анализе термических процессов, расчете и создании электротехнологических установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корко, В.С. Разработка электрогидротермического способа обработки фуражного зерна: дис. ... канд. техн. наук / В.С. Корко. – М.: ВИЭСХ, 1984. – 216 с.
2. Заяц, Е.М. Основы электротехнологических методов обработки влажных кормов / Е.М. Заяц. – Мн.: Ураджай, 1997. – 216 с.
3. Прищепов, М.А. Основы термозависимого резистивного электронагрева в технологических процессах сельскохозяйственного производства / М.А. Прищепов. – Мн.: БелНИИагроэнерго, 1999. – 295 с.
4. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.

УДК 621.315.592:772. В 99

ПОСТУПИЛА РЕДАКЦИЮ 30.01.2008

ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ДИФРАКЦИОННОГО ТИПА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТОЧНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е.В. Галушко, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ); В.Н. Ильин, докт. техн. наук (Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ)

Аннотация

Разработан новый принцип построения измерительных преобразователей, основанный на представлении измерительного диапазона дискретными моделями пространственного распределения интенсивности монохроматического излучения в виде дифракционных экстремумов. Разработана и реализована на ПЭВМ математическая модель, позволяющая моделировать и отображать дифракционные экстремумы с дискретностью 1 мкм.

Введение

При создании новых прецизионных приборов, включающих маломощные лазерные источники излучения и оптические схемы, основанные на принципах интерференции и дифракции света, на первый план выходит развитие методов нормирования аналоговых сигналов и обработки цифровых измерительных данных. Определяющей в этом случае является степень идентифи-

кации геометрических параметров объекта или его положения в измерительной зоне и оптического отклика, или параметров фотоэлектрического импульса.

В современных технологиях по-прежнему актуальна задача, связанная с определением положения технологического объекта в пространстве и величины его перемещения вдоль заданных координат. Из большого числа известных методов измерения [1, 2] наиболее широкое распространение получили опти-

ко-электронные методы, основанные на интерференции света, муаровом эффекте или оптической триангуляции [3, 4]. Первые два связаны с необходимостью размещения на объекте специального оптического элемента, возвращающего излучение на приемную часть, или модулирующего его.

В случае триангуляционного принципа – в измерительное звено входит поверхность объекта, дающая в зависимости от класса чистоты (или степени шероховатости) три вида отражения пучка, – зеркальное (отражение без рассеивания), диффузное отражение по Ламберту и диффузное отражение по Гауссу. По применению триангуляционного принципа существует принципиальное ограничение, связанное с отражающей способностью поверхности объекта, т.е. чем выше класс чистоты поверхности, тем сложнее осуществить этот принцип.

Основная часть

Авторами разработан новый принцип определения положения объекта, основанный на получении от объекта дифракционных энергетических спектров, сформированных в ближней зоне, их считывании и обработке. Возможность построения дифракционных преобразователей перемещения подтверждена проведенным компьютерным моделированием пространственного распределения интенсивности излучения от ограничивающих диафрагм в ближней зоне.

Пространственное распределение интенсивности при дифракции света является стационарным. В любой точке наблюдения P_i (рис.1) и в соответствии с принципом Гюйгенса – Френеля комплексная амплитуда вектора напряжённости электрического поля $\vec{E}(P)$ гармонической электромагнитной волны может быть вычислена по формуле [5]:

$$\vec{E}(P) = \int_S [(\exp(ikR))/R] \tilde{K} \vec{E}(S) dS, \quad (1)$$

где: $\vec{E}(S)$ – распределение комплексных амплитуд вектора напряжённости электрического поля источника излучения на произвольной замкнутой поверхности S , охватывающей источник; $(\exp(ikR))/R$ – комплексная амплитуда вторичных источников сферических волн на поверхности S ;

$R = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}$ – расстояние от точки P вторичного источника с координатами (x_0, y_0, z_0) , расположенного на поверхности S , до точки наблюдения P_i с координатами (x_i, y_i, z_i) ; $\tilde{K}(S, P)$ – медленно меняющаяся функция в зависимости от положения точек P и P_i , учитывающая на-

правленность вторичных излучателей. Эту функцию приближённо можно считать равной единице, за исключением случая, когда точка наблюдения P_i расположена внутри S , тогда она полагается равной нулю.

Положение экрана, находящегося в поперечном сечении пространственного распределения дифрак-

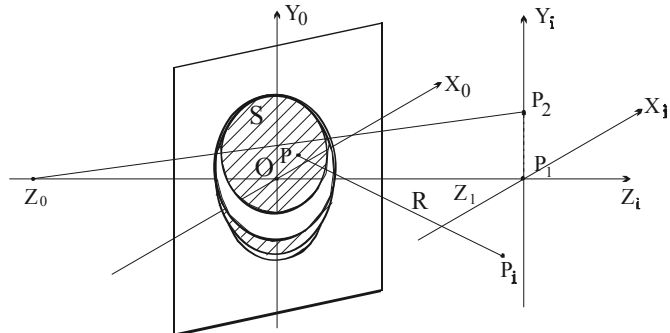


Рисунок 1. К расчету амплитуд дифракционного распределения при открытии различного числа зон Френеля.

ционной картины, можно определить методом корреляции изображения дифракционной картины на экране и проекцией пространственного распределения дифракционного поля в том же сечении, полученном в результате решения (1).

Анализ дифракции Френеля в общем случае или применительно к прохождению света через сколь угодно сложные неоднородные структуры представляет собой непростую задачу. Ограничимся решением задачи дифракции на круглом отверстии на основе зонной теории Френеля.

Вид дифракционной картины определяется тем, какое число зон Френеля открывает диафрагма, а амплитуда в точке наблюдения P_i , расположенной на оси Z на расстоянии Z_i (рис. 1), равна [6, 7]:

$$A = A_1 / 2 \pm A_2 / 2 \pm \dots \pm A_n / 2. \quad (2)$$

Знак “+” ставится, если n -номер нечетной зоны, и знак “-”, если n -номер четной зоны. Зона Френеля считается открытой, если $r_n < D/2$, где r_n – радиус n -ой зоны, D – диаметр отверстия. Радиус n -ой зоны вычисляется по формуле:

$$r_n = \sqrt{\frac{z_1 z_0}{z_1 + z_0} n \lambda}, \quad (3)$$

где z_0 – определяет положение источника; z_1 – положение экрана; n – номер зоны; λ – длина волны зондирующего излучения.

Если точка наблюдения находится не на оси Z , как показано на рис. 1, то одни зоны частично закрываются, а другие частично открываются. Поэтому их вклад в значение амплитуды в точке наблюдения будет зависеть от площади видимой части зоны. Амплитуда в точке наблюдения P_2 равна:

$$A = k_1 A_1 / 2 \pm k_2 A_2 / 2 \pm \dots \pm k_n A_n / 2, \quad (4)$$

где k_i – весовой коэффициент i -той зоны Френеля, $A_1 = A_2 = \dots = A_n = 1$. Весовые коэффициенты получаем из соотношения:

$$k_i = S'_i / S_i, \quad (5)$$

где $S_i = \pi r_i \lambda Z_1 / (Z_1 + Z_0)$ – площадь i -той зоны Френеля, S'_i – площадь видимой части i -той зоны Френеля. Таким образом, если зона открыта полностью, то её весовой коэффициент равен 1.

Программа для моделирования дифракционных спектров написана на языке C++. Интерфейс пользователя, в соответствии с рис.2, состоит из панелей управления и отображения. Панель управления позволяет

Кнопка «Моделирование» позволяет генерировать дискретные модели для заданных параметров оптической схемы. При выбранном значении «Дельта» кнопка «Старт» запускает автоматический процесс генерации дифракционных спектров. Для сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными используется кнопка «Прочитать».

Результат моделирования визуализируется на панели отображения, где представлен вид дифракции в заданной плоскости поперечного сечения пучка и графическое представление амплитуд в относительных единицах. Координаты по оси X приведены к шагу и номеру пикселей фотодиодной линейки.

Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными по методике, изложенной в [7].

На рис.2 показаны: смоделированная дифракционная картина и спектр распределения амплитуд от отверстия диаметром $D = 0,9$ мм, при освещении монохроматическим излучением с длиной волны $\lambda = 633$ нм на расстоянии $Z = 25,2$ мм по оси поперечного сечения пучка (сплошная линия) и пространственный спектр распределения амплитуд, полученный в ходе эксперимента (пунктирная линия) при тех же условиях.

Для получения экспериментальных данных нами разработана модель преобразователя перемещений, которая позволяет не только генерировать дифракционные изображения, но и, используя программу моделирования, определять величину смещения подвижного объекта вдоль лазерного пучка. При построении модели мы исходили из того, что, если на движущемся объекте сформировать дифрагирующий элемент и освещать его когерентным коллимированным пучком света так, чтобы дифракционный свет возвращался в обратном направлении, то, анализируя дифракционные картины, формируемые в процессе перемещения объекта, можно определить его положение в пространстве и степень линейного перемещения.

Собственно дифрагирующий элемент может включать в себя систему оптических элементов (зеркал, призм), изменяющих направление падающего лазерного пучка на обратное, и пластину толщиной $d < 100\lambda$ с круглым отверстием диаметром $500 \dots 900$ мкм.

Макет, реализующий предложенную модель (рис.3), включает оптико-электронный модуль 1 (ОЭМ) и дифрагирующий элемент 4 (ДЭ), установленный на подвижном объекте 10. В свою очередь ОЭМ включает: источник излучения 2 – лазер; 3 – коллиматор; 5 – воспроизводящий объектив; 6 – ПЗС линейку; 7 – микропроцессор; 8 – разъем. ДЭ включает: входное 9 и вы-

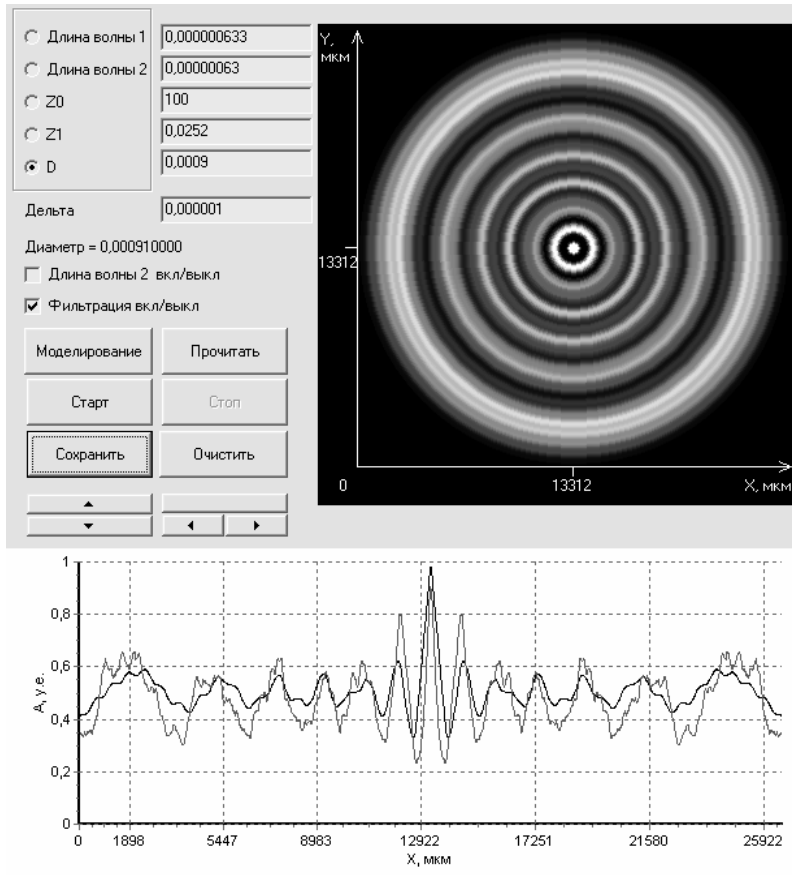


Рисунок 2. Интерфейс пользователя.

устанавливать значения следующих параметров: двух длин волн зондирующего излучения; расстояние Z_0 от источника до объекта; расстояние Z_1 от объекта до плоскости считывания, в качестве которой может быть фокальная плоскость объектива; диаметр D диафрагмы, формирующей дифракционные спектры; шаг (интервал) дельта (δ) изменения моделируемого параметра. Кроме этого, путем установки или снятия флажков осуществляется включение (вкл/выкл) второй длины волны и программы фильтрации экспериментальных данных.

ходное 13 окна, прямоугольные призмы 10 и 11, круглую диафрагму 12, подвижный столик – 14.

В данном исполнении источник излучения и воспроизводящий объектив размещены по одну сторону от объекта. В качестве источника излучения может быть использован полупроводниковый лазер мощностью до 5 мВт со встроенным коллиматором. В качестве воспроизводящего может быть применен объектив, передний фокус которого согласован с измерительным диапазоном, а задний с положением и размерами ПЗС линейки или матрицы. Базовая плоскость в данном случае определяет физические границы размещения источника излучения и объектива, а также технологическое расстояние до начала измерительной зоны.

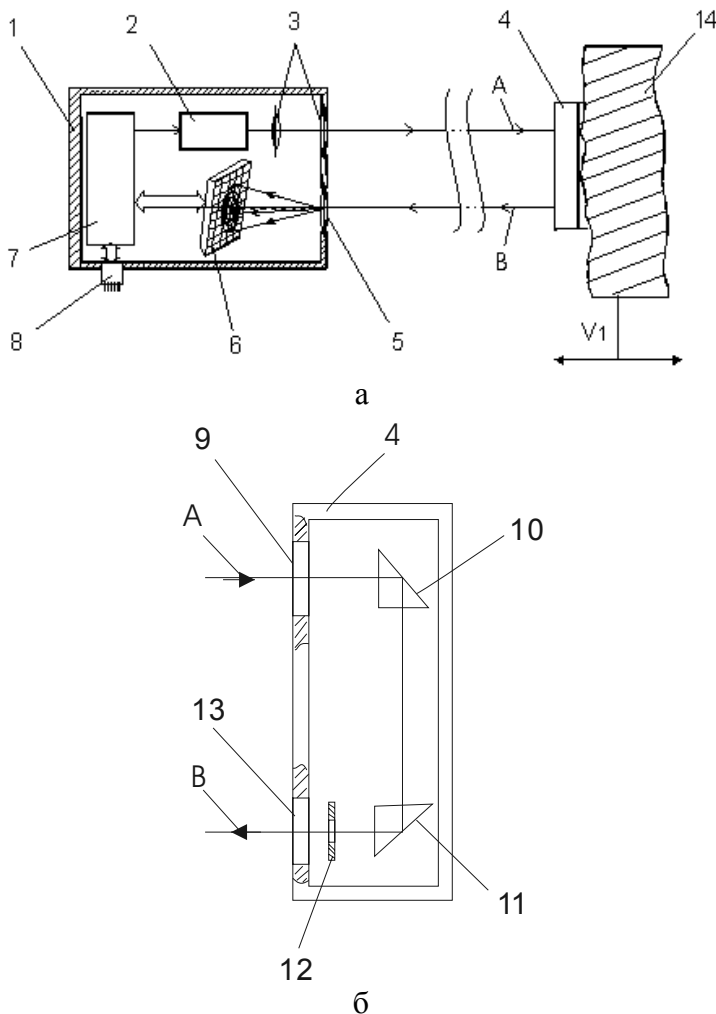


Рисунок 3. Макет устройства для формирования и регистрации дифракции Френеля вдоль распространения измерительного пучка: а - оптическая схема устройства; б - пример исполнения дифрагирующего элемента.

Амплитудные спектры экстремумов получались путем фотоэлектрического среза поперечного сечения зондирующего пучка, прошедшего дифрагирующий элемент. Излучение лазера 2 формируется в па-

раллельный пучок коллиматором 3 и направляется на дифрагирующий элемент 4, в котором лазерный пучок освещает диафрагму 12 с круглым отверстием диаметром, например, 900 мкм. Формирующиеся дифракционные картины ДК посредством объектива 5 передаются на ПЗС линейку 6, которая посредством микропроцессора 7 и стандартного разъема 8 связана с внешним компьютером (не показан).

Оптико-электронный модуль 1 закрепляется стационарно, а дифрагирующий элемент 4 крепится на подвижном столике 14, имеющем микрометрическую подачу вдоль пучка. Семейство дифракционных картин формировалось за счет дискретного перемещения столика 14.

В общем случае объектом может служить, например, подвижная каретка координатной измерительной машины, станины, опоры, т.е. любое устройство, перемещение или положение которого необходимо измерить и на поверхность которого можно закрепить дифрагирующий элемент.

На рис.2 экспериментальный и смоделированный спектры наложены друг на друга. Видно, что степень корреляции достаточно высокая: полностью совпадает количество дифракционных экстремумов в картине, а также их пространственное положение и квазипериодическая последовательность.

Следовательно, процесс определения положения объекта, когда круглая диафрагма (дифрагирующий элемент) жестко связана с ним, заключается в определении расстояния Z_1 от диафрагмы до фокальной плоскости анализирующего объектива.

Выводы

Таким образом, приведенные в статье данные являются результатом дальнейших исследований по применению дифракции монохроматического излучения в ближней зоне 9 (дифракция Френеля) для построения измерительных преобразователей дифракционного типа. Разработана математическая модель, позволяющая получать и отображать дифракционные экстремумы с дискретностью 1мкм. Проведен сравнительный анализ экспериментальных и модельных данных, показавший высокую корреляцию процессов. Ввиду того, что дифракционная картина строго индивидуальна в каждой точке измерительного пространства, существует принципиальная возможность определения положения объекта при его выводе в нужную точку и последующего позиционирования.

Реализация данной модели не требует больших вычислительных затрат, что позволяет применять её в установках контроля параметров дифракционных распределений технических объектов (диаметров отверстий, диафрагм, положения подвижных деталей и др.) в режиме реального времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, В.К. Оптико-электронные средства размерного контроля технологических микрообъектов/ В.К. Александров, Ю. Н. Биенко, В.Н. Ильин. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 240 с.
2. Способ измерения диаметра отверстий: пат. 6564 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 B 11/12/ В.Н. Ильин; заявитель ГНУ «Институт электроники НАН Беларуси». – № а 20011062; заявл. 12.12. 2001; опубл. 30. 09. 2004// Бюл. «Изобретения. Полезные модели», №3, 2004. – С. 172.
3. Ильин, В.Н. Оптико-электронные измерительные преобразователи/ В.Н. Ильин, Е.В. Галушко. – Мн.: ИПП Минэкономики РБ, 1996. – 222 с.
4. Ильин, В.Н. Датчик для измерения линейных перемещений методом оптической триангуляции/ В.Н. Ильин, Д.А. Михаевич, В.Н. Фатыхов// Материалы XIV науч.-техн. конф. «Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления». – М.: МГИЭМ, 2002. – С. 316-317.
5. Ландсберг, Г.С. Оптика/ Г.С. Ландсберг. – М.: Наука, 1976. – 928 с.
6. Нагибина, Н.М. Интерференция и дифракция света/ Н.М. Нагибина. – М.: Энергия, 1974. – 196 с.
7. Ильин, В.Н. Метод измерения ограничивающих диафрагм по дифракции света в ближней зоне/ В.Н. Ильин, С.А. Мальшева, А.А. Ковалева// Оптоэлектронные и информационные технологии: сб. науч. трудов. – Мн.: УП «АРТИ-ФЕКС», 2003. – С. 146-171.

УДК 621.313.33-62.753.8

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.02.2008

**БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАЩИТА
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ****В.В. Гурин, канд. техн. наук, доцент, Е.В. Лавцевич, аспирантка,
П.А. Равинский, аспирант (УО БГАТУ)****Аннотация**

Приведена методика и результаты экспериментального исследования нагревания асинхронного двигателя в различных аварийных режимах. Выявлены особенности использования термоэлектрических датчиков для использования в температурной защите.

Приведены результаты разработки быстродействующей температурной защиты асинхронного электродвигателя с использованием термоэлектрических датчиков.

Введение

Универсальной защитой электродвигателей, эксплуатирующихся в сельском хозяйстве, является температурная защита, реагирующая на все аварийные режимы (кроме увлажнения обмоток). Она основана на контроле теплового состояния по температуре обмоток или других частей электродвигателя. Контроль температуры чаще всего производится с помощью первичных преобразователей температуры (термодатчиков). К ним предъявляются следующие требования:

- малая (до 3 с) величина постоянной времени нагревания;
- малые размеры (до 3 мм);
- диапазон рабочих температур от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$ (кратковременно до $+240^{\circ}\text{C}$);
- малая погрешность измерения;
- срок службы не менее 20 000 ч.

Проведенный нами анализ 10 разных видов известных термодатчиков по указанным выше требованиям показал, что в настоящее время наиболее перспективными для температурных защит являются датчики термоэлектрические, терморезистивные металлические пленочные и инфракрасные термометры.

В настоящее время известны температурные защиты с позисторными термодатчиками. В нашей республике получили распространение устройства встроенной температурной защиты (УВТЗ). Первая серия этих устройств поступила в хозяйства в семидесятые годы прошлого столетия. Эксплуатация УВТЗ выявила их следующие недостатки [1]:

- для подключения УВТЗ необходимы дополнительные монтажные работы, связанные с прокладкой двух проводов от датчиков к устройству защиты;
- запаздывание срабатывания УВТЗ в стопорном аварийном режиме в связи большой постоянной времени нагревания позисторов (20...30 с);
- в проводах подключения термодатчиков наводится паразитная ЭДС, что приводит к ложным срабатываниям защиты [2].

Для устранения этого недостатка разработано устройство защиты, встраиваемое в коробку выводов двигателя (УВТЗ-1В) [3]. В этом случае протягиваются 2 проводника от встроенного устройства до электромагнитного пускателя. Другие недостатки УВТЗ остались не устраненными.

Нами исследованы термоэлектрические датчики для температурной защиты и разработаны устройства защиты, лишенные этих недостатков.

Основная часть

В качестве термодатчиков выбраны термопары открытого типа ТХА-1199, исп. 52, имеющие диаметр термопроводов 0,2 мм, длину 700 мм. Термопровода изолированы кремнеземной теплостойкой нитью К11С6. Термопары производятся НП ООО “Энергоприбор” (г. Минск), имеют низкую стоимость. Чувствительность термопары составляет 40,7 мкВ/°С, постоянная времени нагревания – 0,2 с.

Для определения места установки термопар в обмотке изготовленного электродвигателя, проверки инерционности термодатчика и определения характера изменения температуры в аварийных режимах был использован трехфазный асинхронный электродвигатель АИР71А6УЗ, имеющий следующие параметры: $U_n=380$ В; соединение обмоток статора в “звезду”; $P_n=0,37$ кВт; $I_n=1,4$ А; $n=900$ об/мин.

В электродвигателе с заводским изготовлением обмоток был снят подшипниковый щит и с помощью теплопроводного, термостойкого и неэлектропроводного клея “Радиал” российского производства (рабочая температура до 300°С) на поверхности обмотки закреплены 6 термопар. Места их установки указаны схематично на рис. 1а. Концы термодатчиков выведены через коробку выводов обмотки электродвигателя.

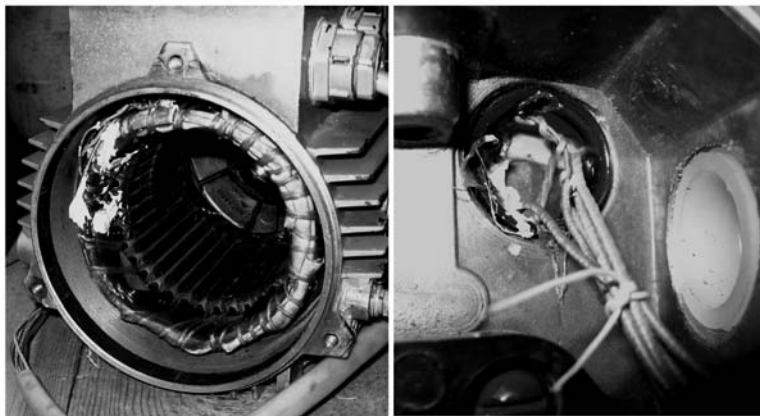
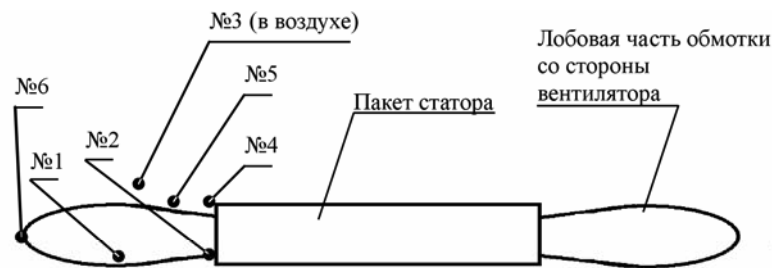


Рисунок 1. Размещение датчиков в обмотках двигателя (а) и внешний вид крепления датчиков в обмотках электродвигателя (б).

Термопары расположены следующим образом:

- № 1 – закреплена с внутренней обдуваемой стороны, по центру лобовых частей обмотки первой фазы;
- № 2 – установлена практически в пазовом отверстии с внутренней стороны обмотки второй фазы;
- № 3 – закреплена в воздухе с внешней тыльной стороны обмотки;

- № 4 – закреплена на торцевой поверхности пакета статора с внешней стороны;
- № 5 – установлена с внешней стороны лобовой части обмотки второй фазы;
- № 6 – размещена на самой вершине изгиба обмотки лобовой части второй фазы.

После установки термодатчиков электродвигатель был собран и закреплен на раме совместно с нагрузочной асинхронной машиной, включенной в режиме динамического торможения, которая позволяла создавать двукратную перегрузку по току. Контроль электрических параметров электродвигателя осуществлялся с помощью измерительного комплекта К506. Для контроля показаний шести термопар использовался измерительный 12-канальный микропроцессорный прибор “Сосна-004”. Этот прибор производит визуальную индикацию измеряемой температуры и номера канала, а также записывает в память все измерения. С помощью специальной программы данные извлекались из памяти прибора и при помощи программы “Excel” строились кривые, изображенные на рис. 2.

На рисунке 2а изображено изменение температуры обмотки в процессе нагрева при холостом ходе электродвигателя. Из рис. 2а видно следующее:

- изменение температуры при токе холостого хода носит экспоненциальный характер;
- термопара № 4 (пакет стали) имеет явно выраженное запаздывание;
- наибольшую температуру имеет термопара №6 на изгибе лобовых частей;
- практически одинаковую температуру имеют термопары № 1, № 2 и № 5;
- температура воздуха больше температуры пакета стали;
- наибольшая температура обмотки в режиме холостого хода достигается через 2400 с. Эта температура составила значительную величину – 69 °С.

Изменение температуры термодатчиков при аварийном неполнофазном режиме на холостом ходе двигателя показано на рис. 2б и 2в. Из этих рисунков следует:

- характер изменения температуры носит экспоненциальный характер;
- наименьшее изменение температуры показывает термопара № 3 (в воздухе);
- при обрыве фазы А наибольшую температуру имеют термопары № 6, № 5, № 2, а при обрыве фазы В – № 5, № 1, № 6.

Результаты опытов с двукратной перегрузкой по току при аварийном неполнофазном режиме изображены на рис. 3а и 3б. Из них следует:

- характер изменения температуры отличается от экспоненты;
- требуется на порядок меньшее время защиты при перегрузке, чем на холостом ходу, для нагрева обмотки до максимальной температуры (80 с против 800 с);

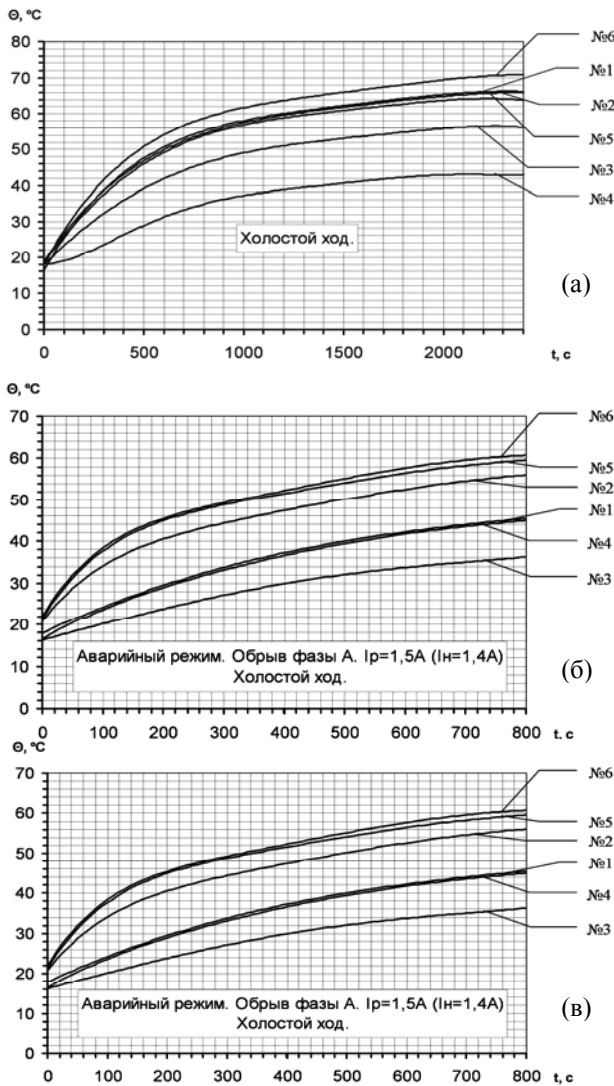


Рисунок 2. Изменение температуры термодатчиков при холостом ходе (а), при обрыве фазы А на холостом ходу (б) и при обрыве фазы В на холостом ходу (в)

– наблюдается значительное расхождение между температурами термодатчиков (примерно в 2 раза), закрепленных на обмотке с током и на обмотке без тока;

– наибольшая температура наблюдается в фазах, обтекаемых током перегрузки (при обрыве фазы А наибольшую температуру имеет датчик № 6, а при обрыве фазы В – датчик № 1);

– наименьшую температуру имеют датчики, установленные в воздухе (№ 3) и на пакете стали (№ 4).

Для опытов стопорного режима была выбрана наиболее нагреваемая термопара №6. Результаты опыта изображены на рис. 3в. Из рисунка 3в следует, что за время примерно до 20 с нагрев происходит по линейной зависимости, далее скорость нагрева незначительно уменьшается. Через 40 с обмотка достигает температуры 100°C. Не наблюдалось заметной инерционности в показаниях термопары.

Для измерения температуры с помощью термопары требуется стабильный чувствительный усилитель и автоматическая компенсация ЭДС холодных спаев. Для удовлетворения этих условий реализована схема на операционном усилителе OP291 фирмы “Analog Device”. Принципиальная электрическая схема усилителя одного канала температурной защиты с термоэлектрическим датчиком изображена на рисунке 4.

Термопара типа ТХА подключалась к клеммам блока. Возле клемм размещался термокомпенсационный диод VD1 типа IN914, включенный в прямом направлении. Совместно с резисторами R8 и R7 он обеспечивает термокомпенсацию холодных спаев. Настройка нуля на выходе схемы производилась резистором R5 при погружении термопары в таящий лед, а коэффициент усиления регулировался резистором R11 таким образом, чтобы при температуре кипящей воды (100°C) на выходе операционного уси-

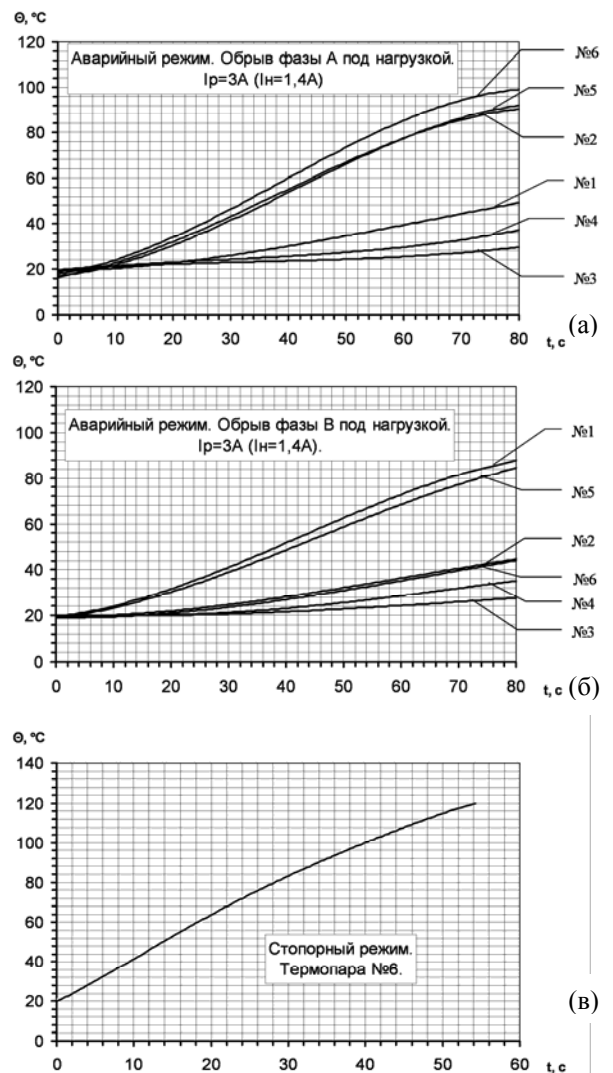


Рисунок 3. Изменение температуры термодатчиков при обрыве фазы А и двукратной перегрузке по току (а), фазы В и двукратной перегрузке по току (б) и обмотки в стопорном режиме (в).

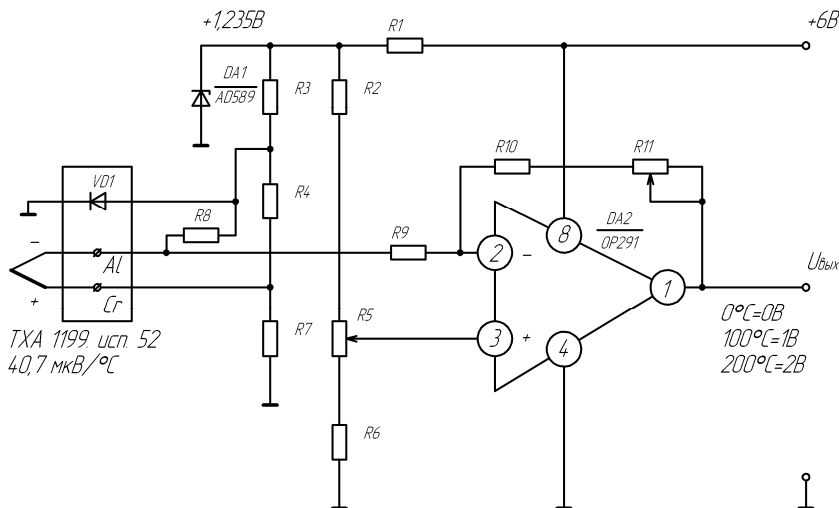


Рисунок 4. Принципиальная электрическая схема усилителя одного канала температурной защиты с термоэлектрическим датчиком.

литера устанавливалось напряжение 1В. Питание мостовой схемы с резисторами R2...R8 осуществляется от интегрального стабилизатора AD589, а операционный усилитель получает питание от стабилизированного источника ±6 В со средней точкой.

После отладки одного канала защиты и проверки его в работе при контроле стопорного режима двигателя была разработана защита с тремя термодатчиками. Принципиальная электрическая схема трехканальной температурной защиты представлена на рис. 5. Блоки А1, А2, А3 построены по одной и той же схеме, соответствующей рис. 4. В устройстве используется одна микросхема OP491, имеющая 4 одинаковых операционных усилителя. Три операционных усилителя используются в блоках А1, А2, А3. Четвертый усилитель DA1.4 используется как компаратор. С выхода трех каналов А1, А2, А3 напряжение, пропорциональное температуре, поступает на логическую схему «ИЛИ», выполненную на диодах VD3, VD4, VD5, а с выхода этой схемы – на делитель R6–R7, с выхода делителя – на неинвертирующий вход компаратора DA1.4. Выход компаратора связан с входом транзисторной оптопары U, в коллекторную цепь которого включено герконовое реле KV.

Блок питания для данной схемы образован из трехфазного двухполупериодного выпрямителя, входы которого через резисторы R1...R3 и конденсаторы C1...C3 подключены к фазам питающей сети, а на входе включены стабилитроны VD1...VD2 и интегрирующие конденсаторы C4 и C5. На выходе каждого из стабилитронов устанавливается напряжение 4,7 В. Полное напряжение схемы 9,4 В. На это напряжение включается интегральный стабилизатор DA2 типа 78L06. На его выходе устанавливается напряжение +6 В. Половина этого напряже-

ния (+3 В) подается на блоки А1...А3 и на компаратор DA1.4. Оптотранзистор U и реле KV включается на полное напряжение схемы 9,4 В. Инвертирующий вход компаратора DA1.4 подключен к делителю напряжения R4–R5.

Температурная защита работает следующим образом. При включении электромагнитного пускателя КМ питание подается на блок питания устройства. На выходе блоков А1...А3 появляется напряжение, пропорциональное температуре в местах установки термодатчиков. На выходе диодного ИЛИ появляется наибольшее из напряжений блоков А1...А3, которое подается на делитель R6–R7. Если напряжение на инвертирующем входе компаратора DA1.4 выше, чем на неинвертирующем входе, то на выходе микросхемы DA1.4 уста-

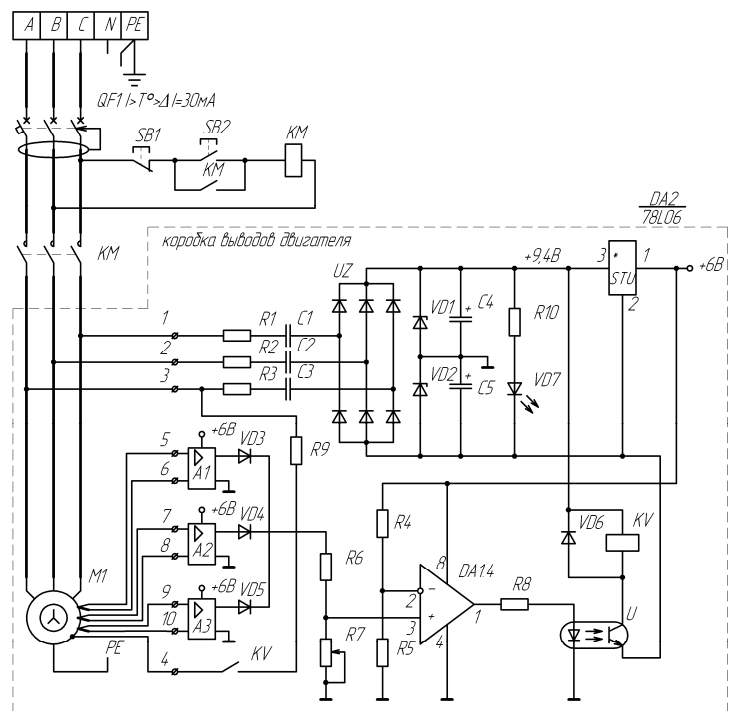


Рисунок 5. Принципиальная электрическая схема быстродействующей температурной защиты асинхронного электродвигателя.

навливается нулевое напряжение, оптотранзистор U закрыт, реле KV отключено.

Если температура датчиков достигает предельного значения, то напряжение на неинвертирующем входе компаратора DA1.4 превысит значение напряжения на инвертирующем входе и на выходе его появится положительное напряжение, в результате чего оптотранзистор U откроется и сработает реле KV. Его контакт KV замкнется и создаст через резистор R9 искус-

ственную утечку тока с фазы на корпус, отчего дифференциальный выключатель QF сработает и отключит электродвигатель от сети.

Разработанное устройство защиты успешно прошло лабораторные испытания в лаборатории автоматической защиты электрооборудования БГАТУ.

Выводы

1. Требуется установка термопар на обмотке каждой фазы.

2. Открытые термопары типа ТХА-1199 исп. 52 могут быть использованы для создания температурной защиты электродвигателя.

3. Теплопроводный термоклей “Радиал” российского производства обеспечивает надежное крепление термопар к поверхности обмотки и изоляцию мета крепления.

4. В изготовленном электродвигателе термопары могут быть закреплены на открытой части обмотки; при ремонте обмотки они могут устанавливаться внутри обмотки.

5. Использовать термопары в воздухе или крепить их на пакете статора не рекомендуется. В связи с этим авторы считают неприемлемым предложение использовать термодатчик, закрепленный в корпусе электродвигателя (на месте рывболта) [4].

6. В разработанной температурной защите не надо прокладывать проводники от коробки выводов

двигателя до коммутационного аппарата. Этим устраняется первый и третий недостатки известных устройств встроенной температурной защиты (УВТЗ), указанные выше. Вторым их недостаток (запаздывание или срабатывание в стопорном режиме) устраняется установкой малоинерционных термопар.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунин, Р.З. Применение встроенной температурной защиты / Р.З. Кунин // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства, №10, 1980. – С. 42–43.

2. Данилов, В.Н. О паразитных ЭДС в проводах подключения термодатчиков к температурной защите электродвигателей / В.Н. Данилов, С.В. Оськин // Повышение надежности работы электроустановок в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. – Челябинск, 1986. – С. 19-24.

3. Данилов, В.Н. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей, используемых в сельскохозяйственном производстве, электронными средствами защиты: автореф. ... дис. докт. тех. наук: 05.20.02 / В.Н. Данилов. – Челябинск, 1991. – 36с.

4. Борисов, Ю.С. Контроль нагрева электродвигателей / Ю.С. Борисов // Техника в сельском хозяйстве, №2, 2006. –С. 23–25.

УДК 621. 436

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.10.2007

МЕТОДИКА РАСЧЕТА САЖЕВОГО ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА-ДОЖИГАТЕЛЯ

А.Н. Карташевич, докт. техн. наук, профессор, В.А. Белоусов, канд. техн. наук, доцент (УО БГСХА)

Аннотация

Основным токсичным составляющим отработавших газов дизельных двигателей являются сажевые частицы. Эффективный способ их улавливания – это установка в системе выпуска электрофильтра-дожигателя. Предлагается устанавливать электрофильтры-дожигатели модульной конструкции с рабочим напряжением, до 17 кВ. Приведенная методика расчета позволяет определять конструктивные параметры зоны осаждения электрофильтра-дожигателя модульной конструкции при степени очистки 97,5 % для любого типа дизельного двигателя.

Введение

Дизельные двигатели внутреннего сгорания по-прежнему в настоящее время остаются основным источником энергии в сельскохозяйственном производстве. При этом основным их недостатком являются существенные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ с отработавшими газами (ОГ). Снижение данного негативного воздействия может быть достигнуто установкой в системе выпуска устройств, уменьшающих дымление двигателя, т.е. снижение содержания сажи в отработавших газах. Установка

электрофильтров в системах снижения дымности обеспечивает некоторые преимущества по отношению к другим методам очистки. При использовании сажевого электрофильтра-дожигателя для конкретной марки дизельного двигателя и условий эксплуатации необходимо определить конструктивные параметры устройства. Требуемая степень очистки ОГ от сажевых частиц также достигается оптимальным подбором конструктивных параметров и режимов электрического питания электрофильтра. Выбранная нами схема двухзонного электрофильтра должна обеспечивать: во-первых, достаточную зарядку частиц в зоне

зарядки за счет потока ионов коронного разряда и, во-вторых, необходимую скорость дрейфа частиц в зоне осаждения, поддерживаемую напряженностью электрического поля.

Основная часть

Выполним расчет электрофилтра-дожигателя для дизеля Д-243 Минского моторного завода. Электрофилтр-дожигатель устанавливается в системе выпуска ОГ вместо штатного глушителя, не увеличивая шумовые характеристики двигателя [1]. Исходными данными для расчета являются параметры ОГ дизеля Д-243, полученные при экспериментальном исследовании:

- объем ОГ – $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$, т.е. 15 % от $Q_{\text{ОГ}(100\%)} = 0,14 \text{ м}^3/\text{с}$;
- температура ОГ $T_{\text{ОГ}} = 573 \text{ К}$;
- давление ОГ $P_{\text{ОГ}} = 105 \text{ кПа}$;
- содержание сажи в ОГ $Z_{\text{max}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3$;
- фракционный состав частиц: менее 1 $\mu\text{км}$ – 8 %; 1 – 5 $\mu\text{км}$ – 79 %; 5 – 30 $\mu\text{км}$ – 13 % [2];
- состав ОГ: N_2 – 76 %; O_2 – 12 %; H_2O – 5 %; CO_2 – 7 %.

Определим геометрические параметры зоны зарядки из условия получения частицами заряда, близкого к максимальному.

Расчет произведем в предположении, что:

- частицы имеют правильную сферическую форму;
- расстояния между частицами велики по сравнению с размерами частиц;
- на процесс зарядки одной частицы не оказывают влияния электрические поля других заряженных частиц;
- средний свободный пробег ионов невелик по сравнению с диаметром частиц;
- концентрация ионов и поверхностная плотность тока коронного разряда имеют минимальное значение у некоронирующего электрода.

Одним из параметров, определяющих степень зарядки частиц, является время их пребывания в зоне зарядки. Зная время заряда частиц, можно определить степень зарядки. Так как в поле коронного разряда частицы сажи согласно их размерам приобретают заряд, в основном, за счет направленного движения ионов, то степень зарядки определим из следующего выражения [3]:

$$c_q = \frac{q(t)}{q_{\text{max}}} = \frac{q_i n_o k t}{4 \varepsilon_0 + q_i n_o k t}, \quad (1)$$

где c_q – коэффициент пропорциональности, определяющий степень заряда частицы от ее максимального значения;

q – заряд частицы, κ ;

n_o – концентрация ионов в межэлектродном промежутке, $\text{ион}/\text{м}^3$;

k – подвижность ионов, $\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$;

t – время зарядки и движения частицы, с ;

ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, $\Phi/\text{м}$;

q_i – заряд иона, κ .

Время зарядки соответственно равно:

$$t = \frac{4 \varepsilon_0 c_q}{q_i n_o k (1 - c_q)}. \quad (2)$$

Если принять концентрацию ионов равной $n_o = i/keE$, (e – заряд электрона, κ ; E_l – напряженность электростатического поля, $\text{В}/\text{м}$) [4], а поверхностную плотность тока $i = I/S_B$, где S_B – площадь поверхности некоронирующего электрода, то соответственно имеем:

$$t = \frac{4 \varepsilon_0 c_q S_B E}{I(1 - c_q)}, \quad (3)$$

где I – ток короны, А .

Если скорость газов у некоронирующего электрода равна скорости ОГ в зоне зарядки частиц, тогда время нахождения частиц в поле коронного разряда, выраженное через расход ОГ, определится из следующего выражения:

$$t = \frac{S_B y_L}{Q_{\text{ОГ}}}. \quad (4)$$

Приравняв выражения (3) и (4) и выражая путь частицы в активной зоне зарядки y_L , имеем:

$$y_L = \frac{4 \varepsilon_0 c_q Q_{\text{ОГ}} E}{I(1 - c_q)}. \quad (5)$$

Формула (5) определяет y_L в общем виде, поэтому для некоторых систем электродов необходимо сделать уточнения. Так, если для "коаксиальных цилиндров" максимальное значение концентрации ионов у коронирующего электрода и минимальное у осадительного, то для практических расчетов можно принять концентрацию ионов на расстоянии $2/3$ радиуса осадительного электрода ($i = 3I/2S_B$), т. е. месте наибольшей концентрации частиц вдоль их траекторий. Тогда формула (5) для системы электродов "коаксиальные цилиндры" примет вид:

$$y'_{L(\text{min})} = \frac{8 \varepsilon_0 c_q Q_{\text{ОГ}} E}{3I(1 - c_q)}. \quad (6)$$

Предположим, что концентрация частиц в ОГ, поступающих к осадительному электроду из зоны зарядки, вследствие некоторых факторов, в частности, турбулентного перемешивания, равномерна по всей площади S_B . Исходя из вышеизложенного следует, что для системы электродов "ряд проводов между коаксиальными цилиндрами" y_L – это расстояние между некоронирующими электродами (рис. 1 а), причем $R_2 = R_{\text{ex}} + y_L$. Для системы электродов "коаксиальные цилиндры" (рис. 1 б) $y_{L(\text{min})}$ определяет степень зарядки частиц, поступающих в первые межэлектродные промежутки осадительных электродов, следовательно, с достаточной степенью точности можно принять $R_2 = R_{\text{ex}} + y_{L(\text{min})}$. По мере удаления от входного патрубка y_L увеличивается, и, следовательно, степень зарядки частиц будет выше. Наиболее заряженными для данной системы электродов будут частицы, поступающие в промежутки наиболее удаленные от входного патрубка и прошедшие по траектории $y_{L(\text{max})}$.

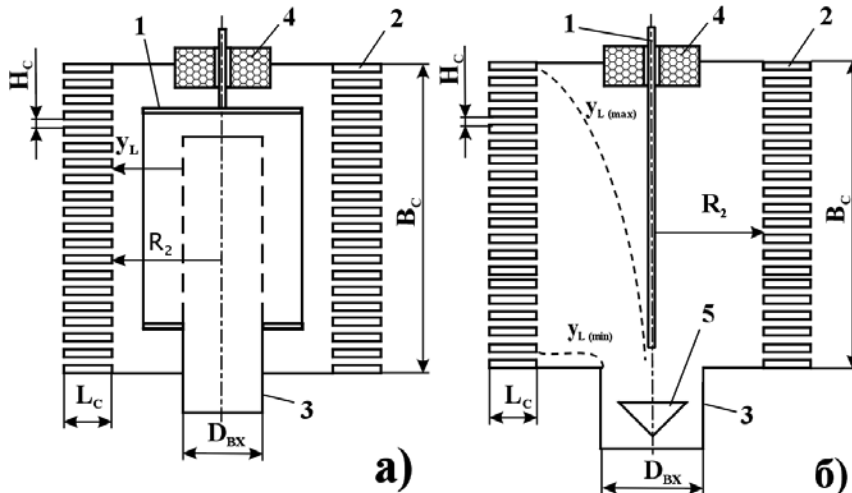


Рисунок 1. Схемы сажевого электрофильтра-дожигателя: 1 – коронирующей электрод; 2 – система осадительных электродов; 3 – входной патрубок; 4 – проходной изолятор; 5 – конический обтекатель.

Система электродов "коаксиальные цилиндры" может быть применена при небольших расходах ОГ, до $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$. Большие расходы ОГ требуют увеличения межэлектродного расстояния, что приводит к повышению рабочего напряжения. Высокие рабочие напряжения (более 17 кВ) применять нерационально, так как это требует достаточно сложной и громоздкой системы защиты проходного изолятора коронирующего электрода.

Межэлектродное расстояние H_c определим исходя из исследования процессов межэлектродного дожига. При этом межэлектродное напряжение и толщина слоя являются определяющими величинами. Напряжение выбирается по условию электрической прочности газового межэлектродного промежутка и пробивной прочности изоляции. Исходя из выбранного межэлектродного расстояния H_c , расхода ОГ $Q_{OG(15\%)}$, степени зарядки частиц c_q , радиуса электрода R_2 , находим общее число электродов n_c :

$$n_c = \frac{Q_{OG}}{2\pi R_2 (H_c - h_{cl}) v_{OG}}, \quad (7)$$

где n_c – количество электродов в матрице, шт.

В формуле (7) h_{cl} имеет место, если толщина слоя соизмерима с межэлектродным расстоянием H_c .

Высоту активной части электрофильтра B_c определим по следующей зависимости:

$$B_c = (H_c + h_3) n_c, \quad (8)$$

где h_3 – толщина электрода (выбирается исходя из условий механико-термической прочности и металлоемкости, $h_3 = 3 \dots 5 \text{ мм}$), м.

Длину осадительной поверхности L_c находим, используя следующее соотношение:

$$L_c = \frac{H_c v_{\max}}{2w_{\min}}, \quad (9)$$

где v_{\max} – максимальная скорость газового потока в межэлектродном промежутке, м/с;

w_{\min} – минимальная скорость дрейфа частиц, м/с.

Минимальная скорость дрейфа в данном случае соответствует нижнему пределу радиуса основной массы частиц, т.е. $a = 1 \text{ мкм}$. Скорость дрейфа определяется с учетом "ударной" и "диффузионной" зарядки частиц [1]. В выражении для напряженности поля

$$E = \frac{U}{H_c}$$

напряжение и расстояние между электродами выбираем исходя из исследования процесса межэлектродного

дожига: $U = 700 \text{ В}$, $H_c = 3 \text{ мм}$. Исходя из вышеизложенного, определенная минимальная скорость дрейфа $w_{\min} = 0,053 \text{ м/с}$ соответствует расстоянию,ходимому частицей вдоль осадительного электрода 28 мм . По условиям компоновки пакета матрицы осадительных электродов принимаем $L_c = 30 \text{ мм}$.

Значения остальных параметров, согласно выражениям (6) и (7), для $Q_{OG} = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}$, $I = 10^{-3} \text{ А/м}$, $c_q = 0,99$ следующие: $y_L = 13 \text{ мм}$, $R_2 = 35 \text{ мм}$, $n_c = 21$.

Основной характеристикой, определяющей эффективность работы электрофильтра, является степень очистки газов. Она определяется содержанием частиц в газе до поступления в электрофильтр и после выхода из него. Теоретически вопрос был рассмотрен Дейчем [5]. Общие методики расчетов степени очистки газов в электрофильтре на основе формулы Дейча были разработаны Левитовым [6]. Расчет степени очистки произведем по следующей зависимости [7]:

$$\eta = \left(1 - e^{-\frac{2wL_c}{vH_c}}\right) 100. \quad (10)$$

Если длина электрического поля L_c , радиус электрофильтра H_c и скорость газового потока v , в основном, зависит от размеров аппарата, то скорость дрейфа w – от свойств частиц, газа и режима электропитания.

Из приведенного следует, что степень очистки газов электрофильтром растет с увеличением скорости дрейфа частиц по направлению к осадительному электроду и с увеличением длины электродов, но уменьшается с ростом межэлектродного расстояния и скорости газа. Так как ОГ содержат частицы различного размера, то расчет степени очистки производим по фракциям. Для этого весь диапазон размеров частиц разбивается на ряд интервалов по размеру частиц, в пределах каждого из которых расчет ведется по среднему размеру. Затем коэффициенты улавливания

для фракций суммируются в соответствии с долей каждой фракции в исходном газе:

$$\eta = \sum_{i=1}^n \eta_i g_i, \quad (11)$$

где g_i – относительная доля фракции.

Тогда, согласно принятому фракционному составу частиц ОГ имеем степень очистки 97,5 %. Затраты мощности на электропитание фильтра составляют не более 20 Вт ($I_p < 350 \mu\text{A}$), при расходе ОГ 15 % от полного расхода.

Выводы

Установка в системе выпуска дизеля Д-243 электрофильтра-дожигателя, рассчитанного согласно приведенной методике расчета, обеспечит эффективную очистку от сажевых частиц ОГ (97,5 %) при 15 % их объеме от полного расхода. Частичный расход ОГ (15 %) принят исходя из максимально-пробивной прочности изоляции коронирующего электрода (16...17 кВ) для параметров ОГ, соответствующих номинальному режиму нагрузки дизельного двигателя. Для очистки полного расхода ОГ предусматривается параллельная установка нескольких секций электрофильтра-дожигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электроразрядные технологии очистки отработавших газов дизельных двигателей от токсичных компонентов: монография / А.Н. Карташевич, Г.М.

Васильев, В.А. Белоусов, А.А. Сушнев. – Горки: БГСХА, 2002. – 282с.

2. Мачульский, Ф. Ф. Дисперсность и структура дизельной сажи / Ф.Ф. Мачульский // Токсичность двигателей внутреннего сгорания и пути её снижения: доклады участников симпозиума, Москва, 6–10 декабря 1966 г. – М: Наука, 1966. – С. 206–219.

3. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / И. П. Верещагин, В. И. Левитов, Г. З. Мирзабекян, М. М. Пашин. – М.: Энергия, 1974. – 480 с.

4. Экспериментальное исследование зарядки частиц размером 0,2...4 мкм ионами воздуха / Л.М. Макальский, Г.З. Мерзабекян [и др.]; под общ. ред. акад. В.И. Попкова // Сильные электрические поля в технологических процессах: Электронно-ионная технология, вып. 2. – М.: Энергия, 1971. – С. 95-108.

5. Алиев, Г. М. Пылеулавливание в производстве огнеупоров / Г.М. Алиев. – М.: Metallургия, 1971. – 224 с.

6. Дымовые электрофильтры / И. П. Верещагин, Г. З. Мирзабекян [и др.]; под общ. ред. В. И. Левитова. – М.: Энергия, 1980. – 448 с.

7. Карташевич, А.Н. Применение электрического поля высокой напряженности для очистки отработавших газов дизелей от сажи / А.Н. Карташевич, В.А. Белоусов // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей: тез. докл. постояннодейств. науч.-техн. семинара стран СНГ, 19–21 апреля 1995 г. / С.-Петербургский гос. аграрн. ун-т. – С.-Петербург, 1995. – С. 41–42.

УДК 629.114.2.01.-585.2

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 18. 06. 2007

ОЧИСТКА РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В.Я. Тимошенко, канд. техн. наук, доцент, Д.И. Кривальцевич, ассистент, Д.А. Жданко, аспирант (УО БГАТУ)

Аннотация.

В статье приведены источники поступления загрязнений в гидравлическую систему сельскохозяйственной техники. Описано влияние содержащихся в рабочей жидкости загрязнений на работоспособность исполнительных органов гидропривода. Для снижения отрицательного воздействия частиц загрязнителя предложено использовать малогабаритную систему очистки, позволяющую проводить профилактическую очистку рабочей жидкости гидравлической системы и, тем самым, повысить срок службы гидроагрегатов.

Введение

Совершенствование уровня технического обслуживания гидравлических систем обеспечивается поддержанием в процессе эксплуатации необходимого уровня чистоты рабочих жидкостей (РЖ) посредством периодической и своевременной их очистки. Безотказность и долговечность гидрооборудования зависят от многочисленных конструктивных, технологических,

производственных и эксплуатационных факторов. По информации зарубежных компаний Vickers, Parker, Bosch, Rexroth, Hydac, Sauer-Danfoss, специализирующихся на изготовлении гидравлического оборудования, до 70...80% всех отказов в гидравлических системах и связанный с этим ремонт гидрооборудования возникает из-за загрязнения или применения рабочих жидкостей, не предназначенных для гидравлического привода. Существует причинно-следственная связь между эксплуа-

тационными свойствами РЖ и параметрами фильтрации, которые, в свою очередь, зависят от режимов работы и условий эксплуатации гидропривода [1].

Также известно, что повышение тонкости фильтрации жидкости в гидравлической системе с 20...25 до 5 мкм увеличивает срок службы аксиально-поршневых насосов, более чем в 10 раз, а гидроаппаратуры – в 5...7 раз. По зарубежным данным, из 100 аварийных ситуаций в гидравлических системах 90 происходит вследствие загрязнения рабочих жидкостей [2, 3]. Так, при выполнении полевых сельскохозяйственных работ пыль проникает в гидробак, главным образом, через сапун. При этом механические частицы, прошедшие вместе с воздухом через фильтрующую набивку сапуна гидробака, остаются в рабочей жидкости. Через сапун в гидробак в зависимости от условий работы поступает до 0,30...0,35 м³/ч воздуха, в 1 м³ которого содержится от 0,06 до 160 г пыли [2]. По другим данным [4], массовая концентрация загрязнений в жидкостях гидросистем тракторов и комбайнов колеблется в пределах 150...1200 мг/л. При одной и той же концентрации в жидкости может быть разное количество частиц механических примесей различных размеров.

Приведенные данные указывают на необходимость не только контроля состояния РЖ гидравлических систем, состояния их фильтров, но и периодической очистки жидкостей.

Основная часть

Техническое обслуживание является основным и наиболее эффективным мероприятием по поддержанию машинно-тракторного парка в работоспособном состоянии. Оно предусматривает своевременную замену масел в смазочных и гидравлических системах при втором или третьем техническом обслуживании тракторов, автомобилей и другой сельскохозяйственной техники. Одним из новых направлений по совершенствованию обслуживания может стать поддержание необходимого уровня их чистоты в течение всего процесса эксплуатации в узлах и механизмах сельскохозяйственной техники при помощи специальных установок.

Недостаточное количество современных технических средств для очистки смазочных материалов и недостаточный технологический уровень большинства предприятий сельскохозяйственного производства не позволяют в настоящее время в полной мере проводить качественное и регулярное техническое обслуживание смазочных и гидравлических систем эксплуатируемой техники.

Для решения вопросов, связанных с предотвращением загрязнений смазочных материалов и, как следствие, преждевременным старением, разработаны и разрабатываются специализированные установки, позволяющие проводить регулярную очистку при заправке машин свежим маслом, осуществлять периодическую циркуляционную очистку масел в емкостях смазочных и гидравлических систем, а также регенерировать отработанные масла с целью их повторного использования. В качестве примеров приведем ряд существующих установок, осуществляющих очистку смазочных материалов (табл.).

Таблица. Установки для очистки смазочных материалов

№ п/п	Наименование установки (разработчики)	Способ очистки масел	Производительность
1	Комплект ОМ-16394-ГОСНИТИ: УГОМ УМЦ-901А (ГОСНИТИ)	Нагрев, грубая очистка масла сетчатым фильтром	10 л/мин
		Центробежная тонкая очистка	15 л/мин
2	СОГ-904А (НИТИ г. Саратов)	Центробежная тонкая очистка	10 л/мин
3	ОМ-5758 (ГОСНИТИ)	Электромагнитная очистка	10 л/мин
4	УОМ-3А (г. Тамбов)	Нагрев, центробежная тонкая очистка	51 л/ч
5	УПЦСС-1 (ВНИПТИМСЭСХ)	Нагрев, центробежная тонкая очистка масла в двигателе по проточно-циркуляционной схеме	0,05–0,1 м ³ /ч
6	ФВМ-10-01 (г. Томск)	Двухступенчатая тонкая очистка контактными фильтрами с обезвоживанием	3 м ³ /ч

Из центробежных установок наиболее качественную очистку обеспечивают установки СОГ-903А, СОГ-933, УМЦ-901А, но их использование для очистки отработавших масел неэффективно из-за малой грязеемкости центрифуг и значительной трудоемкости их мойки.

В настоящее время в Белорусском государственном аграрном техническом университете (БГАТУ) разработана малогабаритная система очистки РЖ гидравлических систем [5], схема и фотография которой представлены на рисунках 1 и 2 соответственно. Предлагаемая разработка позволяет производить профилактическую очистку масел гидравлических приводов мобильной сельскохозяйственной техники. Конструктивной ее особенностью является использование гидробака и гидронасоса сельскохозяйственной машины для перекачки жидкости через фильтрующие устройства.

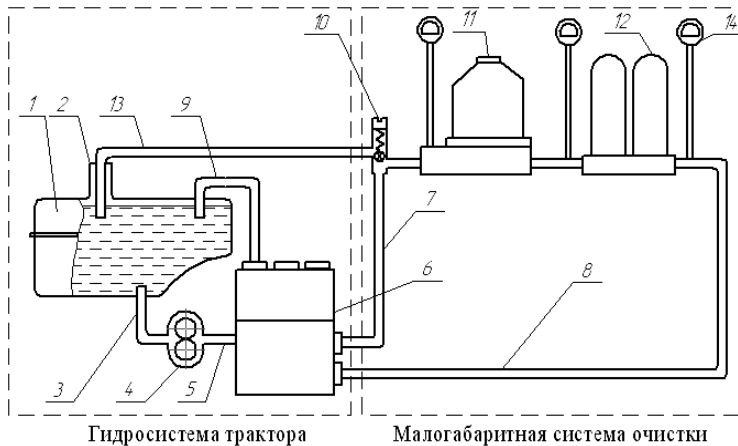


Рисунок 1. Схема системы очистки рабочих жидкостей гидравлических систем: 1 – бак; 2 – заливная горловина; 3 – всасывающий маслопровод; 4 – насос; 5 – маслопровод; 6 – гидрораспределитель; 7 – напорная магистраль; 8 – перепускная магистраль; 9 – сливная магистраль; 10 – предохранительный клапан; 11 – центрифуга; 12 – фильтр; 13 – дополнительная сливная магистраль; 14 – манометры.

Предлагаемая малогабаритная система очистки масла гидравлических приводов работает следующим образом. Масляный шестеренный насос 4 сельскохозяйственной машины закачивает рабочую жидкость из бака 1 по всасывающему маслопроводу 3 и подает ее под давлением по нагнетательному маслопроводу 5 к гидрораспределителю 6 сельскохозяйственной машины, который распределяет и регулирует ее поток с помощью секций. Далее рабочая жидкость движется от одной из секций по напорной магистрали 7 гидрораспределителя 6 к блоку очистки, включающего центрифугу 11 и фильтр 12, где проходит очистку. Пройдя блок очистки, рабочая жидкость по перепускной магистрали 8 возвращается к гидрораспределителю 6, откуда по сливной магистрали 9 поступает обратно в бак 1. Для поддержания необходимого давления в системе очистки масла в напорной магистрали 7 установлен предохранительный клапан 10, отрегулированный на срабатывание при давлении $0,8 \pm 0,02$ МПа, который соеди-

нен дополнительной сливной магистралью 13 с заливной горловиной 2 бака 1. Степень загрязнения центрифуги 11 контролируют по времени вращения ее ротора после выключения гидравлических приводов, а фильтра 12 – по разности показаний манометров 14. При достижении предельных значений центрифугу очищают, а фильтр регенерируют. В системе используются композиционные фильтры на основе спеченных порошковых и волокнистых материалов, сеток и пенополиуретана [6, 7].

Выводы

Предлагаемая схема системы очистки масла гидравлических приводов позволяет улучшить качество рабочей жидкости за счет многократного ее прохождения через блок очистки и повысить надежность работы исполнительных органов гидравлических приводов мобильной сельскохозяйственной техники. Данную установку можно использовать также для профилактической очистки свежих масел, в которых количество загрязнений выше допустимых пределов. Она может использоваться и на предприятиях по ремонту и техническому сервису машинно-тракторного парка, а также непосредственно в хозяйствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бродский, Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г.С. Бродский// Горная промышленность. – М.: НПК «ГЕМОС Лтд.», 2003. – 360 с.
2. Черкун, В.Е. Ремонт тракторных гидравлических систем / В.Е. Черкун. – М.: Колос, 1984. – 253 с.
3. Рыбаков, К.В. Обезвоживание авиационных горюче-смазочных материалов / К.В. Рыбаков, Н.Н. Жулдыбин, В.П. Коваленко. – М.: Транспорт, 1979. – 181 с.
4. Присс, В. И. Диагностирование гидроприводов тракторов и комбайнов/ В.И. Присс, Э.В. Костюченко. – Мн.: Ураджай, 1989.

5. Система очистки масла гидравлических приводов: пат. 3494 Респ. Беларусь, МПК 7 F 16N 39/00/ В.Я. Тимошенко, В.Н. Кецко, В.В. Ярош, В.М. Капцевич, Д.И. Кривальцевич, И.В. Закревский, Н.К. Лисай, Ю.И. Сенько; заявитель УО БГАТУ. – № и 20060654; заявл. 12.10.06; опубл. 30.04.07// Бюлл. «Изобретения. Полезные модели», № 2, 2007. – С. 228.

6. Композиционный фильтр: пат. 2700



Рисунок 2. Малогабаритная система очистки рабочих жидкостей гидравлических систем.

Респ. Беларусь, МПК 7 В 01D 27/00/ В.М. Капчевич, Г.А. Азаров, Д.И. Кривальцевич, И.В. Закревский, С.В. Денисевич, Е.А. Маршина, А.Р. Кусин, И.Н. Черняк; заявитель УО БГАТУ; ГНУ «Институт порошковой металлургии». – № и 20050654; заявл. 26.10.05; опубл. 30.04.06 // Бюлл. «Изобретения. Полезные модели», № 2, 2006.– С. 153.

7. Композиционный фильтр: пат. 3059 Респ.

Беларусь, МПК 7 В 01D 27/00, 35/06 / В.М. Капчевич, Е.А. Маршина, Д.И. Кривальцевич, И.В. Закревский, Г.А. Азаров, В.К. Корнеева, Н.К. Лисай, В.А. Вольский, Л.С. Богинский, Р.А. Кусин, И.Н. Черняк; заявитель УО БГАТУ; ГНУ «Институт порошковой металлургии». – № и 20060180; заявл. 24.03.06; опубл. 30.10.06 // Бюлл. «Изобретения. Полезные модели», № 5, 2006.– С. 145.

УДК 621.311.6

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 3.01.2008

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

Н.Е. Шевчик, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ); А.А. Солдатенко, А.Н. Шевчик, ведущие инженеры (ГУ «Научно-исследовательский и проектно-технологический институт хлебопродуктов»)

Аннотация

Исследовано влияние импульсных источников тока на электрическую сеть. В сети с импульсными источниками значение тока в нулевом проводе может быть больше, чем ток в фазном проводе.

Введение

В недавнем прошлом значительная часть электрической энергии использовалась потребителями с линейной вольтамперной характеристикой – лампами накаливания, нагревательными элементами и т.д. В последнее время резко возросла доля нелинейных электропотребителей: частотные преобразователи, блоки бесперебойного питания, люминисцентные лампы, сварочные трансформаторы и другие. Особенно широко в наше время используются ПЭВМ. На предприятиях агропромышленного комплекса в настоящее время также широко внедряются автоматизированные системы управления технологическими процессами с нелинейными элементами.

тально сказываются на работе сети. Известно также, что для работы офисного электрооборудования в основном используются импульсные источники питания, которые, кроме нелинейных элементов, имеют пульсирующий характер потребления тока. Мощность импульсного источника питания сравнительно невелика, но в офисных зданиях в дневное время они составляют основную часть нагрузки, поэтому целью исследований являлся анализ воздействия импульсных источников на работу электрической сети. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ работы импульсного источника питания с позиции воздействия его работы на сеть;
- исследовано влияние импульсных источников тока на кривую токов и напряжений сети.

Основная часть

Схема импульсного источника питания приведена на рис. 1. Пульсирующий характер тока объясняется тем, что энергия потребляется источником питания только в момент открытия ключа VT1. При этом сопротивление входного фильтра и диодного моста VD1 – VD4 резко меняются от бесконечности до определенного малого значения, что приводит к появлению коротких импульсов потребляемого тока. Таким образом, потребляемый источником ток представляет собой несинусоидальный периодический сигнал (рис. 2а). Разложение его в ряд Фурье дает сумму сину-

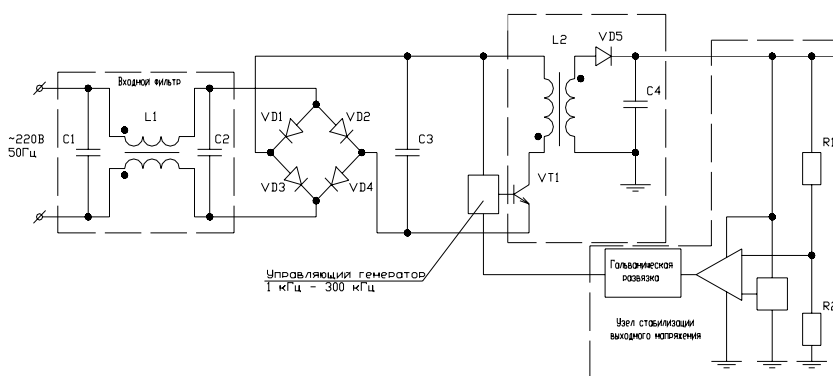
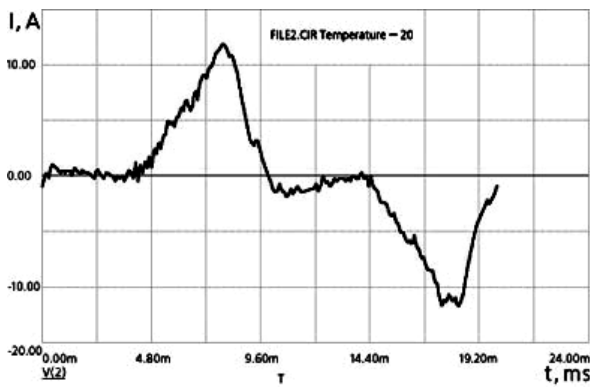


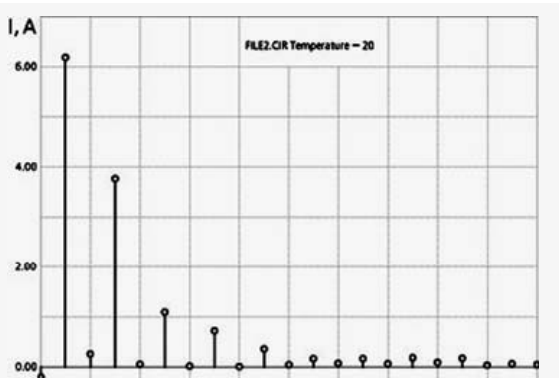
Рисунок 1. Схема импульсного источника питания.

Известно, что потребители с нелинейной вольт-амперной характеристикой генерируют в сеть высшие гармонические составляющие тока, которые отрица-

тельно сказываются на работе сети. Известно также, что для работы офисного электрооборудования в основном используются импульсные источники питания, которые, кроме нелинейных элементов, имеют пульсирующий характер потребления тока. Мощность импульсного источника питания сравнительно невелика, но в офисных зданиях в дневное время они составляют основную часть нагрузки, поэтому целью исследований являлся анализ воздействия импульсных источников на работу электрической сети. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:



а



б

Рисунок 2. Ток, потребляемый импульсным источником питания:
а – осциллограмма; б – гармонический состав.

соидальных сигналов высших гармонических составляющих нечетного порядка (рис. 2б). Следует отметить, что амплитуда третьей гармоники – около 60% амплитуды первой гармоники.

Исследования влияния импульсных источников на токи и напряжения сети проведены в здании по ул. Скрыганова, 6, г. Минска. Здание девятиэтажное с пристройками, приблизительное количество компьютеров – около 600.

Исследования проводились в дневное время, когда нагрузка на освещение была незначительная, на компьютеры приходилось около 75% всей нагрузки.

Измерения токов осуществлялись в распределительном щите. Их осциллограммы приведены на рис. 3. Из их анализа можно сделать следующие выводы:

В фидере, питающем компьютерную нагрузку, имеет место небольшая несимметрия токов;

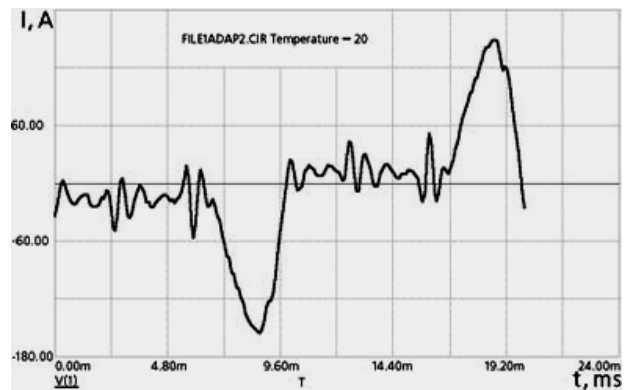
Кривые токов несинусоидальные, близкие к кривой тока импульсного источника питания ПЭВМ.

Осциллограмма тока в нулевом проводе приведена на рис. 4. Действующее значение тока в нулевом проводе в полтора раза больше, чем в фазном.

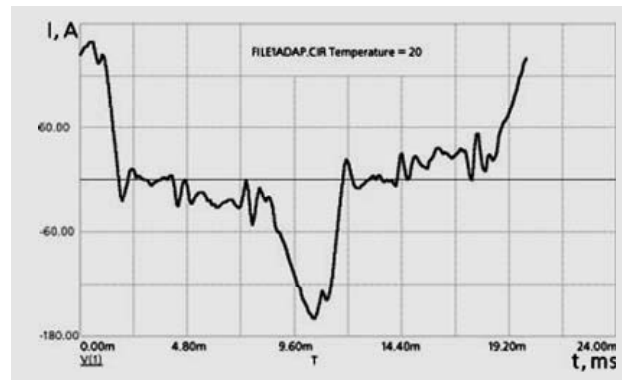
В нулевом проводе геометрически суммируются фазные токи. Если бы они были синусоидальны, расчетное значение нагрузки в нулевом проводе было бы

равно 9,8 А. Но, как указано выше, ток в нулевом проводе больше фазного. Причина такого явления – несинусоидальность токов, а именно, третья и кратные трем гармонические составляющие.

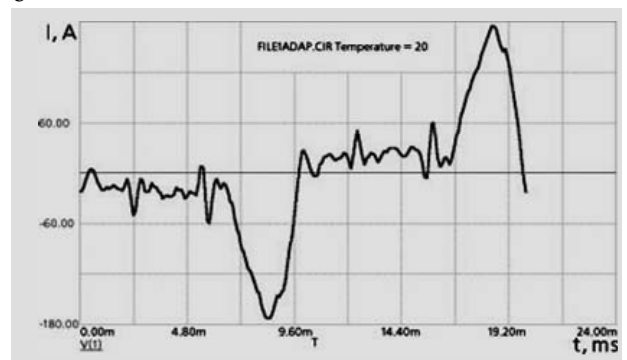
При проектировании систем электроснабжения высшие гармонические составляющие в расчет не принимаются, ток в нулевом проводе суммируется геометрически, и, естественно, считается, что ток в нулевом проводе будет не больше максимального тока в фазных проводах. Кроме того, в процессе эксплуатации неравномерность токов по фазам должна быть не более 10% (п. 6.6, табл. 6. Приложение 1



а



б



в

Рисунок 3. Осциллограммы токов:
а - фаза А ($I_A = 59,7$ А);
б - фаза В ($I_B = 65,0$ А);
в - фаза С ($I_C = 69,5$ А);

ПЭЭП) [4]. Поэтому расчет по условиям нагрева нулевого рабочего, а также заземляющего проводников четырехпроводной системы трехфазного тока не проводится (п. 3.1.10 ПУЭ) [3], потому что ток в этих проводниках при линейных электроприборах существенно меньше токов в фазных проводниках.

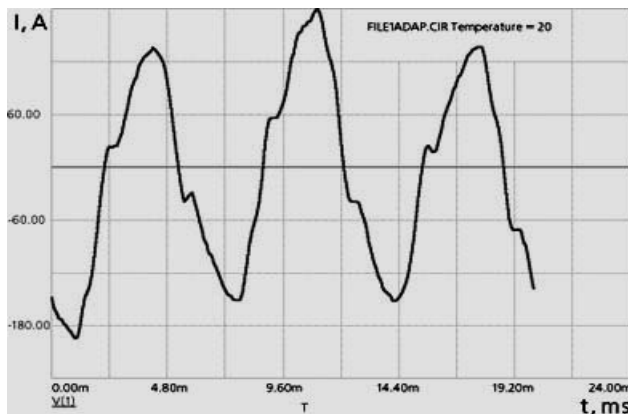


Рисунок 4. Осциллограмма тока в нулевом проводе (действующее значение тока — 105,7 А).

Таким образом, защита, установленная на фазных проводниках, одновременно должна защищать от перегрева и нулевой рабочий проводник, который от перегрузки не защищен (п. 3.1.17 ПУЭ) [3].

Но, как показывает эксперимент, ток в нулевом рабочем проводнике может превышать фазный. При большом удельном весе нелинейной нагрузки это может привести к перегреву и разрушению нулевых рабочих (PEN) проводников линий.

На рисунке 5 приведена осциллограмма напряжения. Из рисунка видно, что форма кривой напряжения искажена. Это является следствием характера тока, потребляемого импульсной нагрузкой. Синусоида напряжения становится «плоской» по форме,

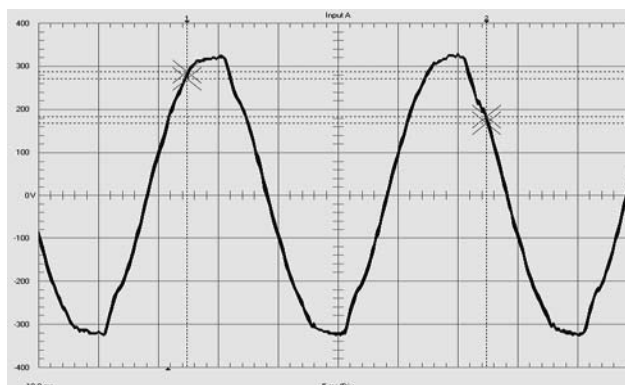


Рисунок 5. Осциллограмма напряжения в электрической сети.

так как в момент импульса тока увеличивается падение напряжения на внутреннем сопротивлении сети: если предположить, что сопротивление сети относительно зажимов каждого отдельного электропотребителя

равно нулю, то проблемы искажения синусоидальности напряжения не существовало бы. Но в реальности сеть для любого электропотребителя представляет собой некое сопротивление. Несинусоидальные токи, протекая по этому сопротивлению, вызывают падение напряжения на нем. В результате на зажимах нелинейного электропотребителя, а также включенных параллельно ему, появляется несинусоидальное напряжение, обычно имеющее форму искаженной («плоской») синусоиды.

Искажение синусоиды тока приводит к снижению уровня выпрямленного импульсным источником питания напряжения. За первый полупериод сглаживающий конденсатор заряжается до амплитудного значения. В течение следующего промежутка времени он разряжается, поддерживая напряжение стабильным на шинах цепей постоянного тока. Если на зажимы импульсного источника питания подано напряжение с идеальной синусоидальной формой, то конденсатор за время разряда поддерживает напряжение на достаточном уровне, так как предварительно был заряжен до необходимого амплитудного значения.

Искажение формы питающего напряжения приводит к снижению значения его амплитуды. Как следствие, снижается напряжение на конденсаторе (рис. 6).

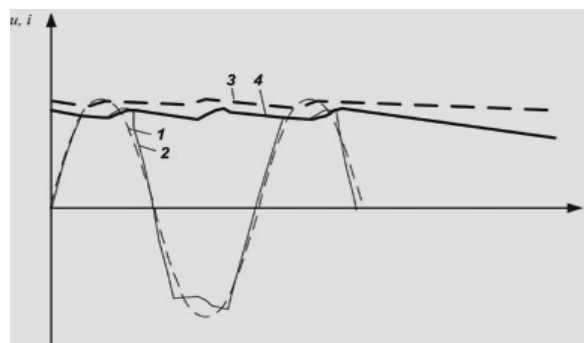


Рисунок 6. Снижение напряжения на сглаживающем конденсаторе импульсного источника питания вследствие воздействия искаженной синусоиды напряжения: 1 – синусоидальное напряжение; 2 – искаженная синусоида напряжения; 3 – напряжение на конденсаторе при синусоидальном напряжении; 4 – напряжение на конденсаторе при искаженной синусоиде напряжения.

Снижение напряжения на конденсаторе, с которого осуществляется питание высокочастотного преобразователя, а далее и цепей постоянного тока, должно было бы привести к снижению уровня выпрямленного напряжения. Но в большинстве импульсных источников питания предусмотрена система стабилизации выходного напряжения, например, методом широтно-импульсного регулирования. Снижение уровня входного напряжения в допустимых пределах не вызовет снижения выходного постоянного напряжения, но вызовет увеличение длительности импульсов тока высокочастотного преобразователя

по отношению к длительности пауз. Это приведет к увеличению тока, потребляемого высокочастотным преобразователем в среднем за период и увеличению скорости разряда конденсатора. Большой ток, потребляемый высокочастотным преобразователем, означает увеличение тепловых потерь в элементах импульсного источника питания. Так, снижение входного напряжения на 10% вызовет увеличение тока на 11%, а тепловых потерь – на 23% [5].

Кроме того, искаженная синусоида влечет снижение устойчивости к кратковременным провалам напряжения. Устойчивостью работы импульсных источников питания при кратковременных провалах напряжения объясняется, например, возможность продолжения нормальной работы компьютеров при мерцании ламп накаливания. В случае провала или даже полного исчезновения напряжения на зажимах импульсного источника питания цепи постоянного тока могут продолжать нормальную работу в течение некоторого очень короткого промежутка времени. Энергия, необходимая для работы в течение этого промежутка времени, – это энергия сглаживающего конденсатора. Несмотря на то, что этот конденсатор обладает весьма большой емкостью, запасаемая им энергия зависит еще и от напряжения, до которого он был первоначально заряжен.

При синусоидальной форме кривой питающего напряжения конденсатор может зарядиться до напряжения большего, чем он может зарядиться при искаженной форме питающего напряжения. Таким образом, запасаемая в конденсаторе энергия, при синусоидальном напряжении будет больше, чем при искаженном. Для поддержания нормальной работы цепей постоянного тока до момента восстановления питающего напряжения, в случае его кратковремен-

ного провала или исчезновения, запасенной в конденсаторе энергии может не хватить. Очевидно, что вероятность такого события повышается при искаженной синусоиде питающего напряжения.

Выводы

Из изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. В сети, где импульсные источники тока составляют значительную часть нагрузки (офисная нагрузка), ток в нулевом проводе может превысить ток в фазном проводе.
2. Генерируемые импульсными источниками высшие гармонические составляющие токов искажают форму кривой напряжения, которая, в свою очередь, снижает устойчивость работы самого импульсного источника, увеличивает его теплотери и отрицательно сказываются на работе других электроприемников.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE STD 399-1997, IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis (IEEE Brown book) (ANSI).
2. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97.
3. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд. – М.: Главгосэнергонадзор России, 1998.
4. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1999.
5. Суднова, В.В. Качество электрической энергии/ В.В. Суднова. – М.: Энергосервис, 2000.

УДК 631.354.2

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 29.01.2008

О ДОУКОМПЛЕКТОВАНИИ ПАРКА ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А.А. Гончарко, ассистент (УО БГАТУ)

Аннотация

В статье рассматривается вопрос доукомплектования парка зерноуборочных комбайнов. Проведен анализ эффективного применения отечественных и импортных комбайнов различной пропускной способности. Даны рекомендации по приоритетности приобретения зерноуборочной техники для хозяйств с различным уровнем обеспеченности техникой и варьированием урожайности зерновых.

Введение

В Республике Беларусь сельское хозяйство является приоритетной отраслью развития страны. Это обусловлено необходимостью обеспечения продовольственной безопасности республики, а также наращивания экспортного потенциала на мировом рынке продовольствия.

Главным условием экономической эффективности современного сельскохозяйственного производ-

ства является снижение материальных, энергетических, трудовых и финансовых затрат, составляющих основу себестоимости продукции.

Особенностью уборки является то, что она в значительной мере определяет эффективность затрат ресурсов на всех предыдущих этапах возделывания культуры. Действительно, потеря одного процента урожая автоматически увеличивает уровень удельных затрат ресурсов.

Состояние комбайнового парка нашей страны вызывает некоторые опасения, хотя за последние несколько лет наметилась тенденция по обновлению парка, но эти поступления недостаточны. В связи с этим, большое значение имеет рациональное использовании имеющейся техники, её более интенсивная эксплуатация, а также продление срока службы зерноуборочных комбайнов.

Основная часть

Анализ работы парка зерноуборочных комбайнов свидетельствует о тенденции к ухудшению технического состояния машин. Если в 1990 году в Республике Беларусь было более 30 тыс. зерноуборочных комбайнов, то на начало 2007 года их количество уменьшилось на 46,3 % и составило 13,9 тыс. штук. В результате сезонная нагрузка на комбайн превысила 150 га. Поступление новой техники снижалось (табл. 1), но, начиная с 2004 года, наблюдается увеличение поступления зерноуборочной техники. И уже в 2005 году поступление комбайнов на 5,5 % превысило выбытие. Изменение численности комбайнов по областям представлено на рис. 1.

Таблица 1. Обеспеченность сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь зерноуборочными комбайнами

	Ед. изм.	Годы									
		1990г.	1995г.	2000г.	2001г.	2002г.	2003г.	2004г.	2005г.	2006г.	2007г.
Наличие на начало года (парк)	тыс.шт.	30,3	22,5	17,1	15,8	13,8	13,3	12,6	12,8	13,3	13,9
Поступление	тыс.шт.	3	0,04	0,68	1,04	0,83	0,87	1	1,9	2,1	1,5
Выбытие	тыс.шт.	3,9	1,5	1,91	1,3	2	1,14	1,7	1,8	1,9	1,9
Сезонная нагрузка на 1 комбайн	га	85	115	141	155	168	165	181	171	166	159
Наличие по отношению к 1990 г.	%	100	74	56	52	45	44	42	42	44	46

В соответствии с Государственной Программой возрождения и развития села на 2005-2010 годы для переоснащения агропромышленного комплекса планируется поставить сельскохозяйственным предприятиям зерноуборочных комбайнов 14,5 тыс. единиц, в том числе пропускной способностью до 8 кг/с – 40-45 процентов, 8 – 10 кг/с – 45-50 и более 10 кг/с – 5-10 процентов [1].

Увеличение доли собственного сельхозмашиностроения позволило в определенной мере решить наиболее острые проблемы механизации сельского хозяйства. В республике производятся комбайны различных классов пропускной способности: "Лида - 1300", КЗС-7, КЗС-10, КЗР-10 "Полесье-Ротор" и

КЗС-10К. Их доля в структуре парка достигает 48 % (рис. 2), тогда как в 2004 году составляла 25%[2].

При формировании парка зерноуборочных комбайнов следует учитывать экономические возможности сельхозтоваропроизводителей, достигнутый и планируемый ими уровень урожайности, которую наряду с механизацией, формируют биологические, агротехнические, организационно-хозяйственные и другие факторы. Рекомендуемый парк зерноуборочных комбайнов для Республики Беларусь должен составлять 18,13 тыс. шт. [3].

Поскольку машины являются основным средством труда в растениеводстве, с некоторым допущением можно полагать, что, при прочих равных условиях, сроки проведения полевых работ пропорциональны обеспеченности техникой для их выполнения. Следовательно, в современных условиях, когда обеспеченность средствами механизации (с учетом их фактического износа) низкая, потери продукции от растягивания сроков уборки достигают 30%. Это допущение подтверждают и имеющиеся в литературе данные [4].

Требования к агросрокам уборочных работ являются одними из самых жестких в сельском хозяйстве. Текущее значение продолжительности проведения уборки в днях (D_{np}) можно выразить в виде зависимости от установленного агросрока (D_p) и обеспеченности техникой для ее выполнения (ε):

$D_{np} = D_p / \varepsilon$, (1)

где D_p – продолжительность агросрока выполнения уборки,

(дней).

Изменение сроков уборки зерновых $D_p = 12$ дней и варьировании обеспеченности комбайнами в диапазоне от 50 до 100% показано на рис.3 [5]. Тогда, валовый сбор продукции имеющейся техникой будет равен [3]:

$$V = UF \left[1 - \frac{K_{II} (D_p - \varepsilon)^2}{2\varepsilon (D_p \varepsilon + D_p - \varepsilon)} \right], \quad (2)$$

где U – урожайность, т/га;

F – площадь уборки, га;

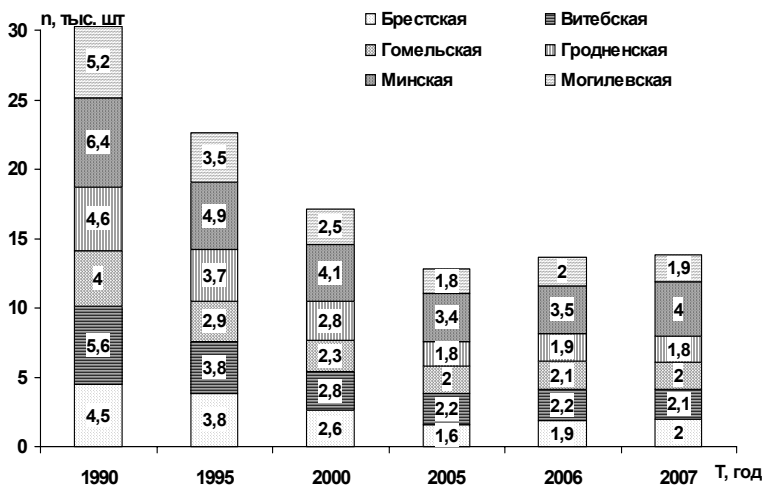


Рисунок 1. Динамика изменения парка зерноуборочных комбайнов по областям.

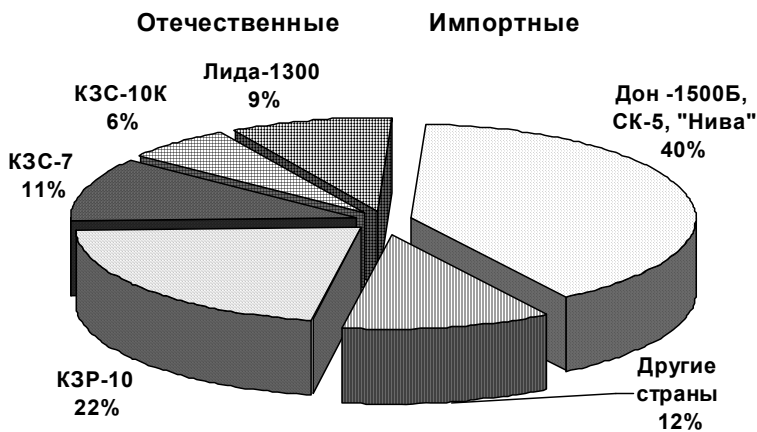


Рисунок 2. Структура парка зерноуборочных комбайнов.

K_{II} – коэффициент учета потерь урожая при растягивании срока работы от оптимального момента на 1 день, доля/день.

В настоящее время перед сельхозтоваропроизводителями стоит вопрос, какой именно сельскохозяйственной технике, отечественной или импортной, отдать предпочтение при техническом перевооружении и модернизации парка зерноуборочных комбайнов.

Приобретение комбайна увеличивает обеспеченность на $\Delta\varepsilon$.

Тогда продолжительность уборки (1) станет:

$$D_{np1} = \frac{D_p}{\varepsilon + \Delta\varepsilon} \quad (3)$$

С целью упрощения обозначим:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon + \Delta\varepsilon \quad (4)$$

Валовый сбор зерна (2) с учетом (3,4) станет:

$$V_1 = UF \left[1 - \frac{K_{II} (D_p - \varepsilon_1)^2}{2\varepsilon_1 (D_p \varepsilon_1 + D_p - \varepsilon_1)} \right] \quad (5)$$

В связи с применением новой техники уменьшаются потери за комбайном. Тогда дополнительный валовый сбор составит $V_{доп}$:

$$V_{доп} = V_1 - V + П_K, \quad (6)$$

где $П_K$ – снижение потерь за комбайнами, т.

Дополнительный валовый сбор (экономия) в денежном выражении D_V будет:

$$D_V = V_{доп} C_P, \quad (7)$$

где C_P – рыночная (закупочная) цена продукции, у.е./т.

По стандартным методикам определяются приведенные эксплуатационные затраты на уборку $S_{ПР}$. Для сравнения различных комбайнов введем коэффициент $K_{ЭФ}$, отношение экономии на единицу убранной площади к приведенным эксплуатационным затратам:

$$K_{ЭФ} = \frac{D_V}{F \cdot S_{ПР}} \quad (8)$$

Алгоритм определения приоритета выбора зерноуборочного комбайна включает

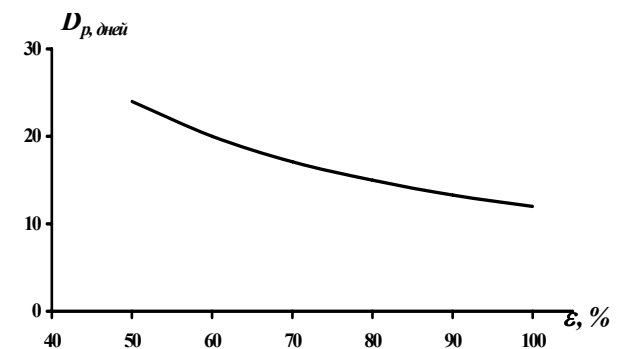


Рисунок 3. Зависимость сроков уборки зерновых от обеспеченности комбайнами.

следующую последовательность действий:

– по формулам (1,3) определяем превышение агросроков выполнения сроков уборки D_{np} имеющейся техникой и при покупке комбайна D_{np1} ;

Таблица 2. Приоритеты выбора зерноуборочного комбайна

Показатели	КЗС-7	Лида-1300	Дон-1500Б	КЗС-10К	Мера 218	КЗС-1218	КЗ-14	Lexion 580
Балансовая стоимость комбайна, у.е.	94020	124644	99420	135348	166840	141126	254930	306510
Потери за комбайном, %	0,6	0,7	1	0,7	0,56	0,9	0,81	0,09
Средневзвешенная производительность за час сменного времени, га/ч:	1,29	1,48	1,43	1,56	1,49	1,85	2,36	2,38
Средневзвешенный удельный расход топлива, кг/га	13,26	17,78	18,47	16,80	16,58	18,08	18,86	18,69
Удельные прямые эксплуатационные затраты, у. е./га, в том числе:								
Удлинение агросроков, дни	6,7	6,2	6,3	5,9	6,1	5,1	3,8	3,8
Уберет за сезон, га	241,5	268,0	262,1	279,1	270,5	316,6	373,7	375,7
Потери за комбайном, т	8,7	11,3	15,7	11,7	9,1	17,1	18,2	2,0
Валовый сбор зерна, т	6449,1	6471,4	6466,6	6480,4	6473,5	6508,6	6545,4	6546,6
Снижение потерь, т	276,7	299,7	289,7	309,5	304,1	336,8	379,4	397,0
Экономия в у.е.	27670,3	29965,3	28966,7	30946,7	30414,3	333680,2	37942,0	39696,5
Коэффициент $K_{эф}$	0,313	0,310	0,322	0,281	0,248	0,327	0,251	0,248

– определяем валовый сбор зерна до, и после приобретения комбайна V , V_1 по формулам (2, 5);

– дополнительный валовый сбор в натуральном и денежном выражении $V_{доп}$, D_V ;

– рассчитав коэффициент $K_{эф}$ (8) для различных комбайнов, принимаем решение о выборе наиболее эффективного для данных условий.

Исходные данные для расчета:

– площадь уборки $F = 1100$ га;

– агротехнический срок уборки $D_p = 12$ дней;

– коэффициент учета потерь урожая $K_n = 0,03$;

– обеспеченность хозяйства техникой ε варьируется от 0,5 до 0,9;

– закупочная стоимость 1 т зерна $C_p = 100$ у.е.

Итоговые показатели расчетов приведены в таблице 2 (при урожайности 6 т/га и обеспеченности техникой 50%) и на рис. 4 и 5.

Выводы

В условиях дефицита технических средств, наряду с затратами на эксплуатацию, следует учитывать и потери продукции, обусловленные несвоевременным выполнением полевых работ, поскольку целью производства, в конечном счете, является не экономия затрат, а получение максимальной прибыли на единицу расходуемых ресурсов.

При низкой обеспеченности техникой и высокой урожайности, приоритет отдается более высокопро-

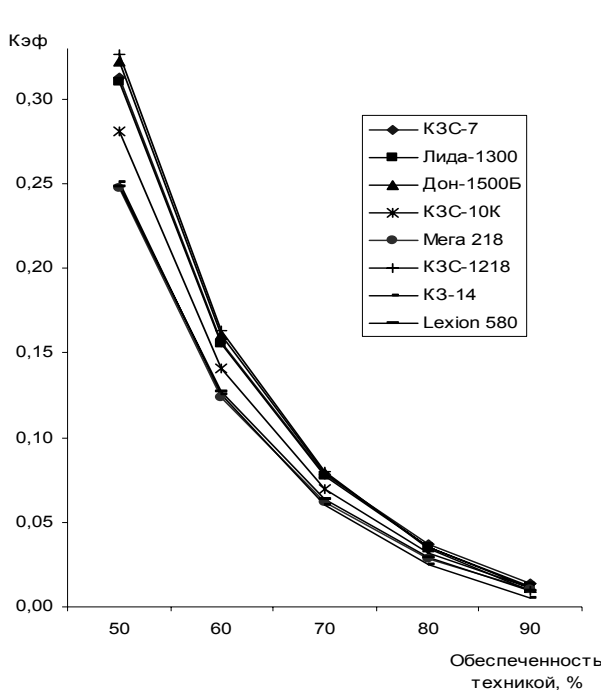


Рисунок 4. Выбор комбайна для хозяйства со средней урожайностью 6 т/га.

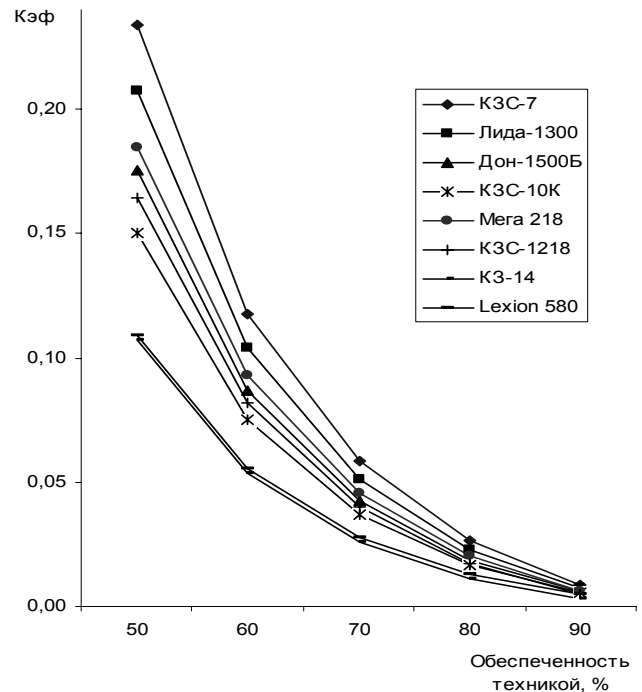


Рисунок 5. Выбор комбайна для хозяйства со средней урожайностью 3 т/га.

изводительной технике (КСЗ-1218), (рис. 4). При низкой обеспеченности и низкой урожайности более эффективны комбайны КЗС-7 и Лида-1300 (рис.5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа возрождения и развития села на 2005-2010 годы. – Минск, 2005. – 86 с.
2. Антонюк, В.Л. К обоснованию парка зерноуборочных комбайнов / В.Л. Антонюк [и др.] // Агропанорама, №6, 2004. – С. 11-14.

3. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И.Н.Шило, В.Н.Дашков. – Мн.: БГАТУ, 2003. – 183 с.
4. Кадыров, М.А. О земледелии, селекции и рациональном хозяйствовании / М.А. Кадыров. – Мн.: «Несси», 2001. – 163 с.
5. Родов, Е.Г. О рациональном продлении сроков службы машин / Е.Г. Родов, А.В. Ленский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб., вып. 41 / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2007. – С. 62-71.

УДК 631.363

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 7.04.2008

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВАЛЬЦОВОЙ ПЛЮЩИЛКИ

Н.А. Воробьёв, ассистент (УО БГАТУ)

Аннотация

В статье приведены результаты теоретических исследований производительности плющилки. По результатам исследований получена зависимость для расчёта производительности плющилки от зазора между вальцами, длины, диаметра и окружной скорости вальцов, скорости подачи зерна и его физико-механических свойств, учитывающая потери на скольжение зерна по поверхности вальцов. Указаны пути снижения потерь, максимальной пропускной способности, на скольжение зерна по поверхности вальцов.

Введение

Ресурсосбережение – снижение материалоемкости единицы продукции, увеличение выхода конечной продукции, сокращение потерь в производственном процессе путем применения достижений новейшей техники и технологии [1]. Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии производства конкурентоспособной продукции выделены одним из приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2006-2010 годы [2].

В настоящее время в хозяйствах республики все большее применение находит технология плющения и консервирования фуражного зерна ранних стадий спелости [3]. Эта ресурсосберегающая технология широко применяется в Финляндии, Чехии, Англии и других европейских странах, а также Московской, Ленинградской и других областях Российской Федерации.

Обзор и анализ современных технических средств, применяемых для плющения зерна [4], анализ условия захвата зерновки вальцами [5] указывают на недостаточную обоснованность параметров и режимов работы вальцов плющилки и обуславливают необходи-

мость проведения дополнительных исследований в этой области.

Основная часть

Анализ научных работ В.А. Одегова [6], Л.Н. Баранова [7], А.М. Андрианова [8], В.С. Ромалийского [9], В.И. Дешко [10] и других исследователей в области плющения зерна вальцами показывает, что при обширных теоретических и экспериментальных ис-

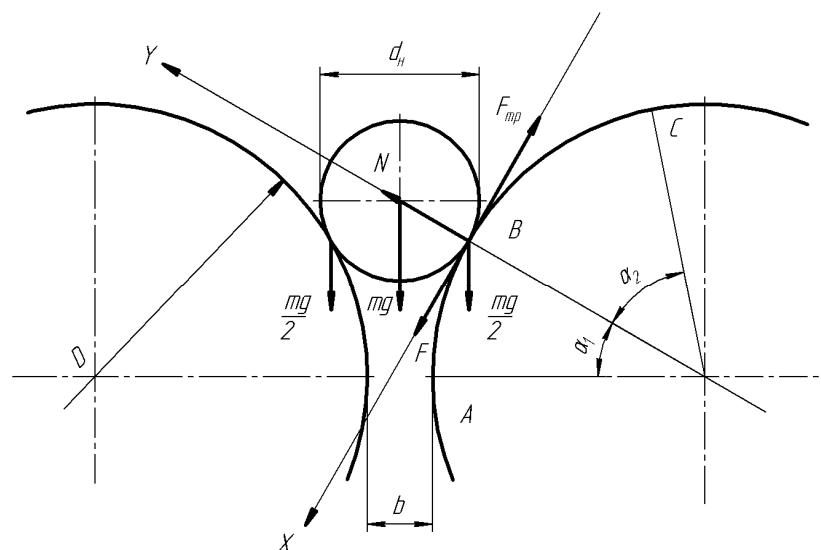


Рисунок 1. Расчётная схема для определения угла скольжения.

следованиях, проведенных авторами, имеющиеся зависимости для определения производительности вальцов плющилки не учитывают скольжение зерна по поверхности вальцов и не могут в полной мере использоваться для выбора параметров и режимов работы вальцов плющилки.

Используя результаты исследований, изложенных в работе [5], предположим, что существует дуга на поверхности вальца, в пределах которой зерновка скользит по поверхности вальца. Тогда весь путь, проходимый зерновкой, будет состоять из длин двух дуг: длины дуги деформации l_{AB} , ограниченной углом деформации α_1 ; длины дуги скольжения l_{BC} , ограниченной углом скольжения α_2 (рис. 1).

Для того чтобы найти угол скольжения, составим расчётную схему. Обозначим все силы, действующие на зерновку.

Ось X направим по касательной к окружности в точке контакта. Ось Y перпендикулярно касательной в точке контакта.

Спроецируем силы на ось X .

$$F - F_{mp} + \frac{mg}{2} \cos \alpha_1 = 0, \quad (1)$$

где m – масса зерновки, кг;
 g – ускорение свободного падения, m^2/c ;

$$F = \frac{m}{2} \cdot a, \quad (2)$$

где a – ускорение, m^2/c ;

$$F_{mp} = f \cdot N, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения;
 N – сила нормального давления, Н.

Спроецируем силы на ось Y .

$$N - \frac{mg}{2 \sin \alpha_1} = 0 \quad (4)$$

$$N = \frac{mg}{2 \sin \alpha_1}. \quad (5)$$

Тогда движение точки по поверхности вальца опишется обыкновенным дифференциальным уравнением:

$$\frac{m}{2} \cdot \frac{dv}{dt} = f \frac{mg}{2 \sin \alpha_1} - \frac{mg}{2} \cos \alpha_1, \quad (6)$$

где v – скорость, м/с;
 t – время, с
или

$$dv = g \left(\frac{f}{\sin \alpha_1} - \cos \alpha_1 \right) dt. \quad (7)$$

Интегрируя уравнение (7) в пределах от начальной скорости зерновки v_0 , при которой она касается поверх-

ности вальца, до окружной скорости вальца v , которую зерновка имеет в момент захвата вальцами, и в пределах времени от $t_{2н}=0$ в момент касания зерновкой поверхности вальца до t_2 , при котором зерновка захватывается вальцами (8), получим уравнение (9):

$$\int_{v_0}^v dv = \int_0^{t_2} g \left(\frac{f}{\sin \alpha_1} - \cos \alpha_1 \right) dt. \quad (8)$$

$$v - v_0 = g \left(\frac{f}{\sin \alpha_1} - \cos \alpha_1 \right) t_2 + C, \quad (9)$$

где C – произвольная постоянная.

Постоянная C может быть найдена из начальных условий:

при $t_2=0$ $v_0=v$.

Тогда из уравнения (9):

$C=0$.

Следовательно, решение имеет вид:

$$v - v_0 = g \left(\frac{f}{\sin \alpha_1} - \cos \alpha_1 \right) t_2. \quad (10)$$

Выразим из уравнения (10) время скольжения зерна по поверхности вальца t_2 :

$$t_2 = \frac{v - v_0}{g \left(\frac{f}{\sin \alpha_1} - \cos \alpha_1 \right)}. \quad (11)$$

Значения синуса и косинуса угла деформации найдём из условия захвата зерновки вальцами:

$$\cos \alpha_1 = \frac{D - d_n + b}{D}, \quad (12)$$

где D – диаметр вальцов, м;
 d_n – средняя толщина зерновки, м;
 b – зазор между вальцами, м.

Используя соотношение (12) выразим $\sin \alpha_1$:

$$\sin \alpha_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{D - d_n + b}{D} \right)^2}. \quad (13)$$

Подставим полученные значения (уравнения (12) и (13)) в зависимость (11):

$$t_2 = \frac{v - v_0}{g \left(\frac{f}{\sqrt{1 - \left(\frac{D - d_n + b}{D} \right)^2}} - \frac{D - d_n + b}{D} \right)}. \quad (14)$$

Уравнение 14 позволяет найти время скольжения поверхности вальца по зерновке. Минимизировать его можно тремя путями:

1. Увеличивать начальную скорость зерновки v_0 до v скорости вальца, тогда множитель $(v - v_0) \rightarrow 0$, и, следовательно, время скольжения будет стремиться к нулю.

2. Увеличивать диаметр вальцов D , – тогда средняя толщина зерновки d_n становится менее значимой, и знаменатель

$$g \left(\frac{f}{\sqrt{1 - \left(\frac{D - d_n + b}{D} \right)^2}} - \frac{D - d_n + b}{D} \right)$$

будет также увеличиваться, а, следовательно, время скольжения будет незначительным, приближаясь к нулю.

3. Увеличивая коэффициент трения f в результате увеличения знаменателя дроби, время скольжения будет уменьшаться.

Добавив к силе тяжести зерновки некоторую дополнительную силу $F_n = ma_1$, получим знаменатель выражения (14) в виде:

$$(a_1 + g) \left(\frac{f}{\sqrt{1 - \left(\frac{D - d_n + b}{D} \right)^2}} - \frac{D - d_n + b}{D} \right)$$

И тогда, увеличивая a_1 , будем уменьшать время скольжения.

Из определения угловой скорости $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$ или

$$d\alpha = \frac{\pi n}{30} dt$$

Интегрируя это уравнение в пределах от θ до α_2 и от θ до t , имеем:

$$\alpha_2 = \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{v - v_0}{g \left(\frac{f}{\sqrt{1 - \left(\frac{D - d_n + b}{D} \right)^2}} - \frac{D - d_n + b}{D} \right)} + C \quad (15)$$

При начальных условиях $t=0$ и $\alpha_2=0$, $C=0$.

Уравнение 15 связывает угол скольжения со скоростями, диаметром вальцов, средней толщиной зерновки, зазором, коэффициентом трения.

Время контакта зерновки с вальцами состоит из времени деформации t_1 и времени скольжения t_2 . Тогда справедливо:

$$v_3 = \frac{l_{AB}}{t_1 + t_2} \quad (16)$$

где v_3 – фактическая скорость зерновки, м/с;

$$l_{AB} = \alpha_1 R \quad (17)$$

где R – радиус вальца, м;

$$t_1 = \frac{30\alpha_1}{\pi n} \quad (18)$$

Учитывая, что скольжение зерна происходит одновременно по поверхности двух вальцов, время скольжения и угол скольжения следует уменьшить в два раза. После подстановки выражений (14), (17), (18) в зависимость (16) и упрощения фактическая скорость зерна:

$$v_3 = \frac{D}{\frac{D}{v} + \frac{\alpha_1 g \left(\frac{f}{\sqrt{1 - \left(\frac{D - d_n + b}{D} \right)^2}} - \frac{D - d_n + b}{D} \right)}{v - v_0}} \quad (19)$$

С учетом (19) формула для определения производительности примет вид:

$$Q = \frac{LbD}{\frac{D}{v} + \frac{\alpha_1 g \left(\frac{f}{\sqrt{1 - \left(\frac{D - d_n + b}{D} \right)^2}} - \frac{D - d_n + b}{D} \right)}{v - v_0}} \quad (20)$$

где L – длина вальцов, м.

Окончательно упростив уравнение (20), получим:

$$Q = \frac{LbD}{\frac{D}{v} + \frac{(v - v_0) \cdot \sin \alpha_1}{\alpha_1 g (f - \sin \alpha_1 \cos \alpha_1)}} \quad (21)$$

Зависимости (20) и (21) позволяют определить объёмную производительность плющилки в $\text{м}^3/\text{с}$ от зазора, длины, диаметра и окружной скорости вальцов, скорости подачи зерна и коэффициента трения зерна по поверхности вальцов. Умножив данные выражения на объёмную массу зерна, получим возможность вычислить производительность в $\text{кг}/\text{с}$.

Тогда, в соответствии с предположениями, изложенными в статье [5], и полученным выражением производительности, коэффициент использования

пропускной способности KQ , равный отношению производительности Q , к максимальной пропускной способности $Q_{max}=Lbv$, после подстановки выражений для Q и Q_{max} и упрощения примет вид:

$$K_Q = \frac{D}{D + \frac{v(v-v_0)}{\alpha_1 g \left(\frac{f}{\sqrt{1 - \left(\frac{D-d_n+b}{D}\right)^2}} - \frac{D-d_n+b}{D} \right)}} \quad (22)$$

Выводы

Установленная аналитическая зависимость для определения производительности плющилки, учитывающая влияние зазора, длины, диаметра и окружной скорости валцов, скорости подачи зерна и его физико-механических свойств, учитывает потери максимальной пропускной способности на скольжение зерна по поверхности валцов, позволяет рассчитать основные параметры и выбрать необходимый режим работы плющилки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Словарь бизнес-терминов [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/business/11515>. – Дата доступа: 30.03.2008.
2. Об утверждении приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2006 - 2010 годы: Указ Президента Респ. Беларусь, 6 июля 2005 г., №315 // Эталон – Беларусь

[Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2006.

3. Нагорский, И.С. Энергосберегающий способ заготовки фуражного зерна / И.С. Нагорский, А.Д. Селезнёв, Н.А. Воробьёв // Агропанорама, №1, 2006. – С. 4–6.

4. Шило, И.Н. Современные технические средства для плющения зерна / И.Н. Шило, Н.А. Воробьёв // Агропанорама, №4, 2007. – С. 4-7.

5. Воробьёв, Н.А. К определению параметров машины для плющения зерна / Н.А. Воробьёв // Инженерный вестник, №1, 2007. – С. 15-17.

6. Одегов, В.А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна: автореф.... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / В.А. Одегов; Зон. науч.-исслед. ин-т сельск. хоз-ва Сев. Вост. им. Н.В. Рудницкого. – Киров, 2005. – 23 с.

7. Баранов, Л.Н. Повышение эффективности производства плющеного зерна путём совершенствования технологий и комплекса технических средств: автореф.... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Л.Н. Баранов; Сев. Западн. научн.-исслед. ин-т механиз. и электр. сельск. хоз-ва. – Санкт-Петербург–Павловск, 2005. – 18 с.

8. Андрианов, А.М. Исследование рабочего процесса валковой зерноплющилки: автореф.... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.М. Андрианов; Воронеж. ин-т сельск. хоз-ва им. К.Д. Глинки. – Воронеж, 1974. – 19 с.

9. Ромалинский, В.С. Исследование процесса плющения влажного консервированного зерна и обоснование основных параметров и режимов работы плющилки: автореф.... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / В.С. Ромалинский; Всесоюз. научно-исслед. ин-т электр. сельск. хоз-ва. – Москва, 1978. – 18 с.

10. Дешко, В.И. Исследование и обоснование режимов плющения зерна после высушки: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.И. Дешко; Укр. научн.-исслед. ин-т мех. и электр. сельск. хоз-ва. – Ленинград–Пушкин, 1978. – 19 с.

Измеритель влажности сырья ИВС-1



Измеритель влажности предназначен для экспресс-измерения влажности сырья (зерна, муки, макаронного теста, готовых макарон, сухарей и т.д.) в лабораторных и перерабатывающих цехах. Прибор обеспечивает измерения влажности от 5 до 40% при изменении основной погрешности от 0,5 до 1,5%. Быстрый контроль влажности сырья, например, при производстве макарон позволяет уменьшить расход муки, снизить риск выхода из строя технологического оборудования, не допустить пересушки макарон и тем самым сократить расход энергии и себестоимость производства.

Автор: Корко В.С., кандидат технических наук, доцент

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Журнал «Агропанорама» помещает достоверные и обобщенные материалы, которые имеют научное и практическое значение, отличаются актуальностью и новизной, способствуют повышению экономической эффективности агропромышленного производства, носят законченный характер.

Приказом Председателя ВАК от 4 июля 2005 г. № 101 журнал «Агропанорама» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным и техническим наукам (сельскохозяйственное машиностроение, транспорт, геоэкология, энергетика).

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять, как правило, не менее 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), что соответствует 8 стр. текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 стр. в случае печати через 1,5 интервала).

Рукопись статьи, передаваемая в издательство, должна удовлетворять основным требованиям современной компьютерной верстки. К набору текста и формул предъявляется ряд требований:

1) рукопись, подготовленная в электронном виде, должна быть набрана в текстовом редакторе Word версии 6.0 или более поздней. Файл сохраняется в формате «doc»;

2) текст следует сформатировать без переносов и выравнивания правого края текста, для набора использовать один из самых распространенных шрифтов типа Times (например, Times New Roman Cyr, Times ET);

3) знаки препинания (.,!?:;...) не отделяются пробелом от слова, за которым следуют, но после них пробел обязателен. Кавычки и скобки не отделяются пробелом от слова или выражения внутри них. Следует различать дефис«-» и длинное тире «—». Длинное тире набирается в редакторе Word комбинацией клавиш: Ctrl+Shift+«-». От соседних участков текста оно отделяется единичными пробелами. Исключение: длинное тире не отделяется пробелами между цифрами или числами: 1991-1996;

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

а) формулы набираются только в редакторе формул Microsoft Equation. Размер шрифта 12. При длине формулы более 8,5 см желательно продолжение перенести на следующую строку;

б) буквы латинского алфавита, обозначающие: переменные, постоянные, коэффициенты, индексы и т.д., набираются курсивом;

в) элементы, обозначаемые буквами греческого и русского алфавитов, набираются шрифтом прямого начертания;

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

е) специальные символы и элементы, обозначаемые буквами греческого алфавита, использованные при наборе формул, вставляются в текст только в редакторе формул Microsoft Equation.

ж) пронумерованные формулы пишутся в отдельной от текста строке, а номер формулы ставится у правого края.

Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки в тексте.

3. Рисунки, графики, диаграммы необходимо выполнять с использованием электронных редакторов и вставлять в файл документа Word. Изображение должно быть четким, толщина линий более 0,5 пт, размер рисунка по ширине: 5,6 см, 11,5 см, 17,5 см и 8,5 см.

4. Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь заголовок и номер (если таблиц несколько). Рекомендуется установить толщину линии не менее 1 пт. В оформлении таблиц и графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

Фотографии должны иметь контрастное изображение и быть отпечатаны на глянцевой бумаге размером не менее 9x12 см. В электронном виде фотографии представляются отдельно в файлах формата «tif» с разрешением 300 dpi.

Научные статьи, публикуемые в изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, должны включать:

- аннотацию;
- фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, ее название;
- введение;
- основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);
- заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;
- список цитированных источников;
- дату поступления статьи в редакцию.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно осветить содержание исследований, проведенных авторами.

В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Дополнительно в структуру статьи могут быть включены:

- индекс УДК;
- перечень принятых обозначений и сокращений.

5. Литература должна быть представлена общим списком в конце статьи. Библиографические записи располагаются в алфавитном порядке на языке оригинала или в порядке цитирования. Ссылки в тексте обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

6. Статьи из научно-исследовательских или высших учебных заведений направляются вместе с сопроводительным письмом, подписанным директором и приложенной экспертной справкой по установленной форме.

7. Статьи принимаются в электронном виде с распечаткой в одном экземпляре. Распечатанный текст статьи должен быть подписан всеми авторами. В конце статьи необходимо указать полное название учреждения, организации, предприятия, колхоза и т. д., ученую степень и ученое звание (если есть), а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный или домашний) каждого автора.

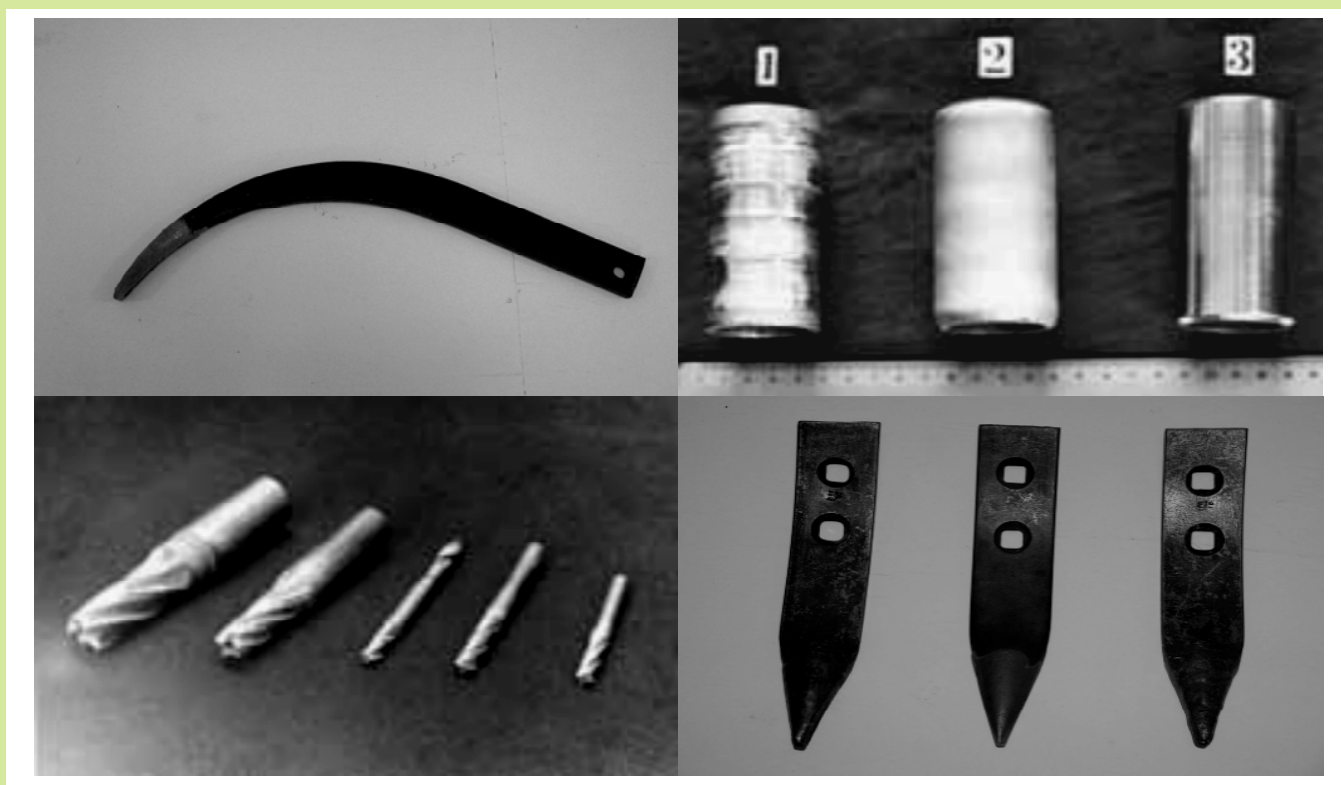
ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

При предъявлении копии годовой (полугодовой) подписной квитанции на наш журнал статьи рассматриваются в режиме наибольшего благоприятствования.

*Авторские материалы для публикации в журнале «Агропанорама» направляются в редакцию по адресу:
220023 Минск, пр. Независимости, 99, корп. 1, к. 333.
УО БГАТУ.*

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

**ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НАПЫЛЕНИЕМ И
НАПЛАВКОЙ**



ДОСТОИНСТВА МЕТОДА:

Термические методы напыления и наплавки покрытий из порошковых, проволочных и инуровых материалов позволяют эффективно восстанавливать и упрочнять детали сельскохозяйственных машин, увеличив ресурс их работы при стоимости в 2 раза ниже новой детали. Технологии и устройства защищены патентами РБ.

**Научный руководитель – д.т.н., профессор Ивашко В.С.
Кафедра “Ремонт тракторов, автомобилей и с/х машин”**