



ISSN 2078-7138

АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 4
август
2018

*Интенсификация магнитно-абразивной обработки
изменением угла наклона частиц
ферроабразивного порошка при
ориентированном резании*

*Кинематический метод гашения крутильных
колебаний в приводах рабочих
органов машин*

*Моделирование зависимости фактической
урожайности зерновых от сроков
посева и уборки*

*Повышение эффективности технического
обслуживания тракторов*



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Агромеханический факультет

Уважаемые коллеги!

*Приглашаем Вас принять участие в работе
Международной научно-практической конференции
«**Техническое обеспечение инновационных
технологий в сельском хозяйстве**»,
которая состоится в Белорусском
государственном аграрном техническом
университете*

21 - 23 ноября 2018 г.

Основные направления работы конференции:

- *Инновационная сельскохозяйственная техника:
исследование, проектирование, испытание*
- *Мобильная энергетика в сельском хозяйстве*
- *Техническое обеспечение инновационных технологий
производства продукции растениеводства*
- *Инновационные технологии в животноводстве*
- *Инновационные технологии подготовки специалистов
АПК*

***г. Минск, пр-т Независимости, 99, корпус 2
Контактные телефоны: (+ 375 17) 267-11-35, 267-44-13, 267-06-72
E-mail: kaf.tia@bsaty.by
www.bsaty.by***

АГРОПАНОРАМА 4 (128) август 2018

Издается с апреля 1997 г.

Научно-технический журнал
для работников
агропромышленного комплекса.
Зарегистрирован в Министерстве
информации Республики Беларусь
21 апреля 2010 года.
Регистрационный номер 1324

Учредитель
Белорусский государственный
аграрный технический университет

Главный редактор
Иван Николаевич Шилю

Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

И.М. Богдевич	П.П. Казакевич
Г.И. Гануш	Н.В. Казаровец
Л.С. Герасимович	А.Н. Каргашевич
С.В. Гарник	Л.Я. Степук
В.Н. Дашков	В.Н. Тимошенко
Е.П. Забелло	А.П. Шпак

Е.В. Сенчуров – ответственный секретарь
Н.И. Цындрина – редактор

Компьютерная верстка
В.Г. Леван

Адрес редакции:

Минск, пр-т Независимости, 99/1, к. 220
Тел. (017) 267-47-71 Факс (017) 267-41-16

Прием статей и работа с авторами:

Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608
Тел. (017) 385-91-02, 267-22-14
Факс (017) 267-25-71
E-mail: AgroP@batu.edu.by

БГАТУ, 2018.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 23.08.2018 г. Зак. № 623 от 21.08.2018 г.

Дата выхода в свет 30.08.2018 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск, пр-т Независимости, 99/2

ЛП № 02330/316 от 30.01.2015 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

Стоимость подписки на журнал на 2-е п/г 2018 г.:

для индивидуальных подписчиков - 17,61 руб.;

ведомственная - 19,29 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 5,34 руб.

При перепечатке или использовании
публикаций согласование с редакцией
и ссылка на журнал обязательны.

Ответственность за достоверность
рекламных материалов несет рекламодатель.

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

Л.М. Акулович, А.А. Тиунчик, О.Н. Ворошуха
Интенсификация магнитно-абразивной обработки изменением
угла наклона частиц ферроабразивного порошка при
ориентированном резании.....2

Н.Л. Ракова, А.С. Воробей
Кинематический метод гашения крутильных колебаний в
приводах рабочих органов машин.....10

А.В. Кулина, Ю.Т. Антонишин, В.С. Ивашко
Биокинетика водородного изнашивания и разрушения деталей
узлов трения машин и механизмов.....13

Технологии производства продукции растениеводства и животноводства. Зоотехния

А.В. Китун, Е.А. Хвоенок
Организация энергосберегающих мероприятий при раздаче
кормов крупному рогатому скоту.....18

А.Н. Леонов, Цинчжэнь Ли
Моделирование зависимости фактической урожайности
зерновых от сроков посева и уборки.....21

Энергетика. Транспорт

Н.Г. Королевич, Г.И. Янукович
Методика определения ущерба сельскохозяйственных потребителей
от использования некачественной электроэнергии.....31

Технический сервис в АПК. Экономика

**В.Я. Тимошенко, Д.А. Жданко, А.В. Нагорный,
С.Г. Дубень**
Повышение эффективности технического обслуживания
тракторов.....35

С.К. Матальцкая
Финансовый результат как оценочный показатель в системе
сбалансированных показателей.....39

Н.Н. Быков
Состояние и перспективы развития малых форм агробизнеса
в Республике Беларусь.....44

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗМЕНЕНИЕМ УГЛА НАКЛОНА ЧАСТИЦ ФЕРРОАБРАЗИВНОГО ПОРОШКА ПРИ ОРИЕНТИРОВАННОМ РЕЗАНИИ

Л.М. Акулович,

профессор каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

А.А. Тиунчик,

зав. каф. высшей математики БГАТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент

О.Н. Ворошуха,

ассистент каф. технологии металлов БГАТУ

Показано, что для интенсификации съема металла при магнитно-абразивной обработке целесообразно в процессе резания осуществлять ориентацию оси частиц ферроабразивного порошка относительно обрабатываемой поверхности под углом менее 90°. Экспериментально установлено, что с образованием ферроабразивной щетки происходит перераспределение магнитного потока по сечению рабочего зазора. Предложен и исследован метод интенсификации магнитно-абразивной обработки, основанный на управлении градиентом магнитной индукции с помощью дополнительного магнитного поля и формировании ферроабразивной щетки в зоне входа в рабочий зазор, что позволяет управлять углом наклона частиц ферроабразивного порошка и повысить интенсивность съема металла.

Ключевые слова: финишная обработка, рабочий зазор, ферроабразивная щетка, топография магнитного поля, ориентированное резание.

It is shown that for intensification of metal removal during magnetic- abrasive machining, it is reasonable in the cutting process to orient the axis of the ferroabrasive powder particles relative to the surface to be treated at an angle of less than 90°. It has been experimentally established that the magnetic flux is redistributed along the cross-section of the working gap with the formation of a ferroabrasive brush. A method for intensifying magnetic- abrasive machining based on controlling the magnetic induction gradient by means of an additional magnetic field and forming a ferroabrasive brush in the zone of entry into the working gap is proposed and investigated, which makes it possible to control the angle of ferroabrasive powder particles' inclination and to increase the metal removal rate.

Key words: finishing, working clearance, a ferroabrasive brush, topography of the magnetic field, oriented cutting.

Введение

Эксплуатация многих машин и механизмов при реализации производственных процессов в агропромышленном комплексе сопряжена с сезонностью их проведения и неблагоприятными климатическими условиями, что интенсифицирует процессы изнашивания сопряженных поверхностей деталей и преждевременный выход из строя узлов и деталей автотракторной и сельскохозяйственной техники [1]. К ним относятся, прежде всего, оси и шарниры почвообрабатывающих, посевных, кормоуборочных машин, механизмов копирования жаток зерноуборочных комбайнов, навесных и прицепных механизмов. Изношенные поверхности значительной части деталей могут быть восстановлены с применением современных технологий в условиях ремонтных предприятий. Технологические процессы восстановления изношенных поверхностей базируются на использовании но-

вых технологий термического упрочнения, плазменного и лазерного легирования, обеспечивающих формирование наноструктурированных поверхностных слоев высокой твердости, и отделочных методов обработки на финишных операциях. Известно [2, 3], что основные свойства поверхностей деталей формируются в процессе их изготовления или ремонта на отделочных операциях, поэтому их совершенствование является одной из актуальных задач современного машиностроительного производства.

Особую роль в обеспечении эксплуатационных характеристик поверхностей играют процессы формирования ее топографии в процессе финишной обработки. Так, величина и форма микронеровностей на рабочих поверхностях деталей оказывает существенное влияние на износостойкость трущихся поверхностей. Уменьшение микронеровностей обеспечивает более благоприятный микропрофиль, облегчающий трение и снижающий износ сопрягаемых поверхно-

стей. Среди существующих методов финишной обработки деталей машин можно выделить обработку лезвийными инструментами, связанным и свободным абразивом, и методы, основанные на пластическом деформировании поверхностного слоя. Однако в производстве доминирующим отделочным методом является абразивная обработка, которая нередко является единственно возможным методом обеспечения требуемого качества поверхности. Наиболее технологичной является абразивная обработка, основанная на использовании эластичной связки. К одному из перспективных способов финишной обработки эластичным инструментом относится магнитно-абразивная обработка (МАО). Особенностью способа является ориентированное абразивное резание. При обработке в магнитном поле переориентация абразивных частиц порошка осуществляется перпендикулярно наиболее острой кромкой к обрабатываемой поверхности с помощью энергии магнитного поля, которая позволяет изменять давление частиц ферроабразивного порошка (ФАП) на обрабатываемую поверхность заготовки. Для реализации МАО не требуется изготавливать профилирующий абразивный инструмент, а также периодически его править, что в 2...3 раза снижает затраты на инструмент. МАО обеспечивает шероховатость поверхности по параметру $Ra = 0,01...0,4$ мкм, снижение температуры резания, по сравнению с тра-

диционными методами абразивной обработки, что способствует формированию новых показателей качества поверхности и структуры поверхностного слоя.

Цель настоящей работы – интенсификация процесса магнитно-абразивной обработки.

Основная часть

Теоретический расчет сил резания возможен при условии приведения формы частиц ФАП к правильной геометрической форме. На величину сил резания основное влияние оказывает форма частиц ФАП. В работах [4, 5] авторы принимают форму частиц ФАП в виде сферы. Анализ морфологии порошков (рис. 1), полученной с использованием растровой электронной микроскопии, показывает, что частицы ФАП имеют весьма разнообразную форму, приближающуюся к овальной, эллиптической, веретенообразной, пластинчатой. В качестве обобщенной модели частиц указанных форм целесообразно принять трехосный эллипсоид, на поверхности которого расположены микрочастицы абразивной составляющей (рис. 2). При классической схеме МАО передний угол γ режущих элементов ФАП имеет отрицательные значения.

При выборе обобщенной модели формы частицы ФАП были введены следующие допущения:

- 1) частица ФАП представляет собой трехосный

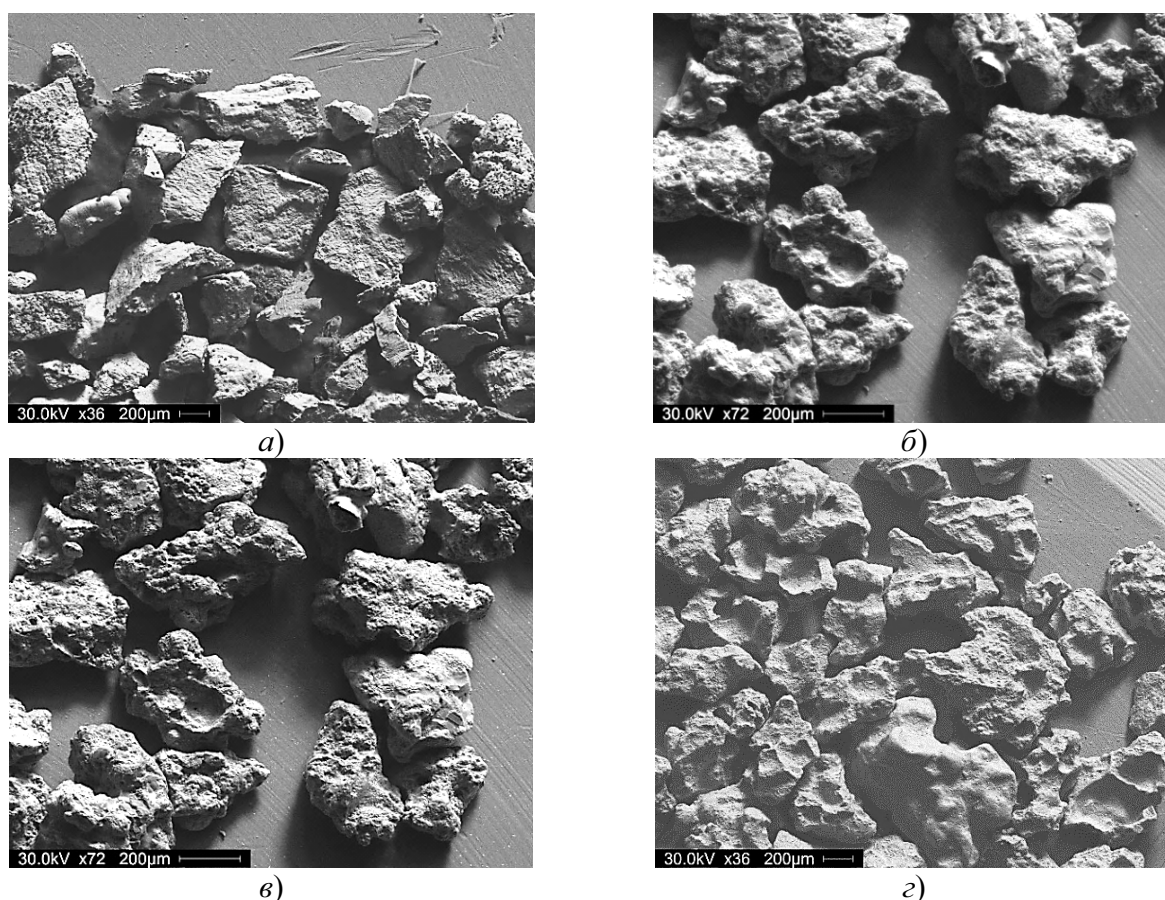


Рис. 1. Фотографии частиц ферроабразивных порошков (растровая электронная микроскопия):
а) Fe-W2B5 $\times 36$; б) FeTiC $\times 72$; в) Fe(Al₂O₃+TiC) $\times 72$; г) Ж15КТ $\times 36$

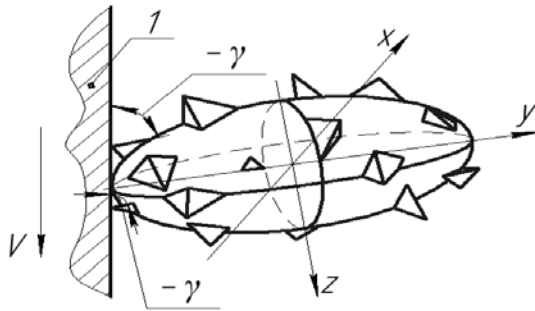


Рис. 2. Модель частицы ФАП в процессе МАО:
1 – обрабатываемая поверхность

эллипсоид и задана уравнением

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1, \quad (1)$$

где a – малая полуось эллипсоида, мм;

b – большая полуось эллипсоида, мм;

c – средняя полуось эллипсоида, мм;

2) зависимость величины полуосей трехосного эллипсоида от размера частиц ФАП задана выражением

$$c = (a + b) / 2. \quad (2)$$

Рассмотрим процесс формирования контура режущего инструмента при МАО из частиц ФАП.

При подаче ФАП в рабочий зазор, его частицы, смещаясь относительно друг друга, выстраиваются в цепочки, замыкая пространство между обрабатываемой поверхностью и полюсным наконечником электромагнита. Каждая из частиц, попадая в магнитное поле рабочего зазора, испытывает действие вращающего момента

$$M = P_m H \sin \varphi, \quad (3)$$

где P_m – магнитный момент частицы;

H – напряженность магнитного поля;

φ – угол между направлением магнитных сило-

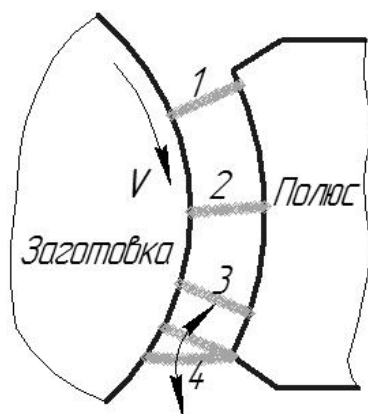
вых линий и наибольшей осью частицы.

Под действием этого момента частицы уже на входе в рабочий зазор ориентируются наибольшей осью вдоль силовых линий магнитного поля и выстраиваются в цепочки (рис. 3). При вращении заготовки со скоростью V (рис. 3а) цепочка движется вместе с ней, занимая последовательно положения 1; 2; 3, пока не достигнет границы выхода из рабочего зазора. Там цепочка, закрепившись на кромке полюса (рис. 3а, полож. 4), начинает совершать колебательные движения под действием ослабленных сил трения с заготовкой и тангенциальных сил, стремящихся вернуть цепочку в рабочий зазор. Если постепенно увеличивать число цепочек частиц ФАП, они проделывают тот же путь, уплотняясь у выхода из рабочего зазора и мешая друг другу совершать там колебательные движения [6]. Согласно «краевому эффекту», магнитный поток в рабочем зазоре концентрируется на ребрах полюсных наконечников, а в средней части формирующей рабочей поверхности магнитный поток ослабевает. Таким образом, из порции ФАП, поданной сверху в рабочий зазор, под действием сил трения, возникающих между частицами ФАП и обрабатываемой поверхностью, формируется рабочий инструмент в виде ферроабразивной щетки в зонах 2 и 4 (рис. 3б).

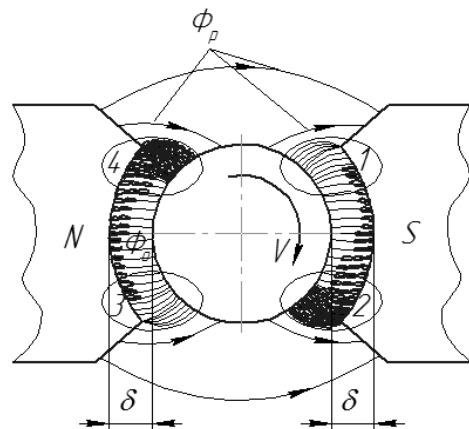
При этом частицы ФАП, контактирующие абразивной составляющей с обрабатываемой поверхностью, разворачиваются средней осью перпендикулярно к обрабатываемой поверхности детали (рис. 2).

В результате все большее уплотнения ферроабразивной щетки, в зонах 2 и 4 наблюдается изменение топографии магнитного поля (рис. 4), частицы ФАП устанавливаются в положение, при котором углы резания являются отрицательными (рис. 2). При отрицательных углах резания по мере затупления режущих кромок частиц ФАП процесс микрорезания ухудшается и переходит в процесс выглаживания, что снижает производительность обработки.

Для уменьшения угла резания частицами ФАП



а)



б)

Рис. 3. Схемы движения единичной цепочки частиц ФАП в воздушном зазоре концентричной формы (а); формирования режущего инструмента при МАО (б): Φ_0 – основной магнитный поток, Φ_r – поток рассеивания, δ – рабочий зазор, 1-4 – зоны формирования режущего инструмента

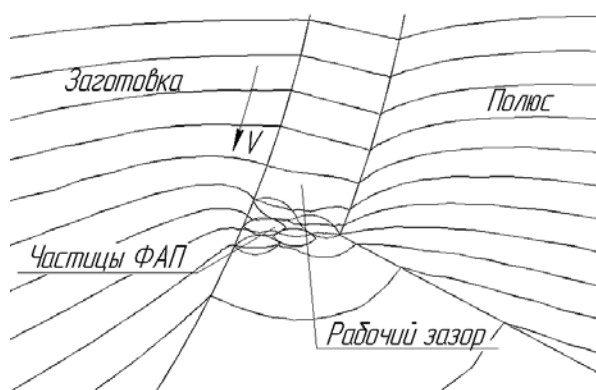


Рис. 4. Топография магнитного поля в рабочем зазоре

путем изменения направления магнитных силовых линий предложены технические решения по асимметричному расположению полюсных наконечников основного магнитного поля относительно обрабатываемой поверхности (рис. 5а), либо в промежутке между полюсными наконечниками основного маг-

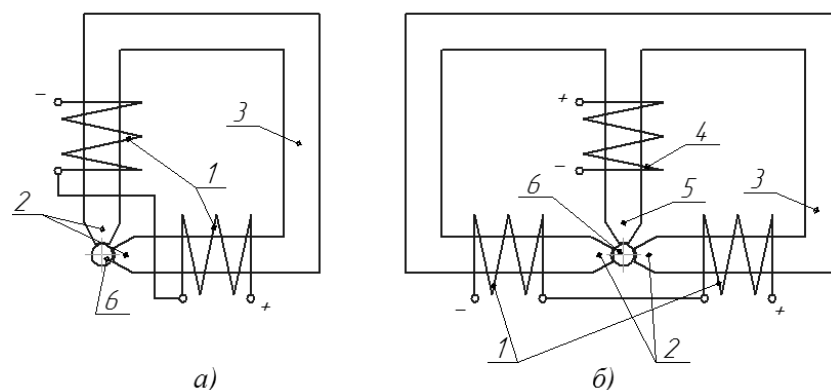


Рис. 5. Схема МАО с асимметрично расположенными полюсными наконечниками (а); схема МАО с дополнительной магнитной системой: 1, 4 – катушки электромагнитов; 2, 5 – полюсные наконечники; 3 – магнитопровод; 6 – заготовка

нитного поля необходимо устанавливать источник дополнительного магнитного поля (рис. 5 б).

Применение асимметрично расположенных полюсных наконечников позволяет при МАО получить две зоны, в одной из которых будет происходить процесс микрорезания, а в другой – выравнивания (рис. 6а).

Схема МАО с источником дополнительного магнитного поля аналогично изменяет топографию магнитного поля в рабочем зазоре (рис. 6б), при которой происходит концентрация магнитных силовых линий в зоне входа в рабочий зазор, создавая условия изменения в ней градиента магнитной индукции. Вместе с тем источник дополнительного магнитного поля можно использовать как источник импульсного магнитного поля для регенерации режущего контура ферроабразивной щетки.

Изменение топографии магнитного поля в рабочем зазоре позволило получить при МАО цилиндри-

ческой поверхности положительные значения (до 5°) переднего угла режущих кромок ФАП (рис. 7).

Экспериментальные исследования по установлению влияния на производительность МАО измененного переднего угла режущих кромок ФАП были проведены на модернизированной установке ЭУ-6, содержащей дополнительную магнитную систему.

Условия проведения эксперимента: магнитная индукция основной магнитной системы $B_{осн} = 0,9 \text{ Тл}$; магнитная индукция дополнительной магнитной системы $B_{доп} = 0,5 \text{ Тл}$; рабочий зазор основной магнитной системы $\delta_{осн} = 1 \text{ мм}$; рабочий зазор дополнительной магнитной системы $\delta_{доп} = 0,5 \text{ мм}$; зернистость ферроабразивного порошка $\text{FeTiC } \Delta = 200\text{--}315 \text{ мкм}$; скорость главного движения $V = 0,9 \text{ м/с}$. Образцами служили поршневые пальцы $\varnothing = 25 \text{ мм}$; материал – сталь 12ХН3А; твердость поверхностного слоя – 58–62 HRC. Выходные показатели: достигаемая шероховатость поверхности деталей, Ra , мкм; массовый съем металла, Q , мг. Измерение шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P. Масса деталей взвешивалась на весах Massa-K BK-600 с точностью до 0,01 г.

В ходе эксперимента было обработано две партии образцов по 4 шт. в каждой. Первая партия обрабатывалась без дополнительной магнитной системы, а вторая с воздействием дополнительной магнитной системы. Все образцы обрабатывались новой порцией порошка. Результаты эксперимента приведены в таблице 1 и 2.

Схема МАО с дополнительной магнитной системой сохраняет начальную производительность порции ФАП на протяжении длительного времени за счет ориентированного резания (табл. 2).

Анализ экспериментальных данных (табл. 1, 2) показывает, что производительность МАО одной порцией порошка снижается на 30...40 % после 30 секунд обработки. Одновременно со снижением производительности наблюдается и ухудшение качества обработки поверхностей (табл. 1).

Таблица 1. Результаты эксперимента

№ образ-ца	Время обработки, т, сек	Ra до МАО, мкм	Ra после МАО, мкм	Массовый съем Q , мг
1	15	1,14	0,51	80
2	30	1,25	0,54	152
3	45	1,03	0,79	163
4	60	1,27	0,96	189

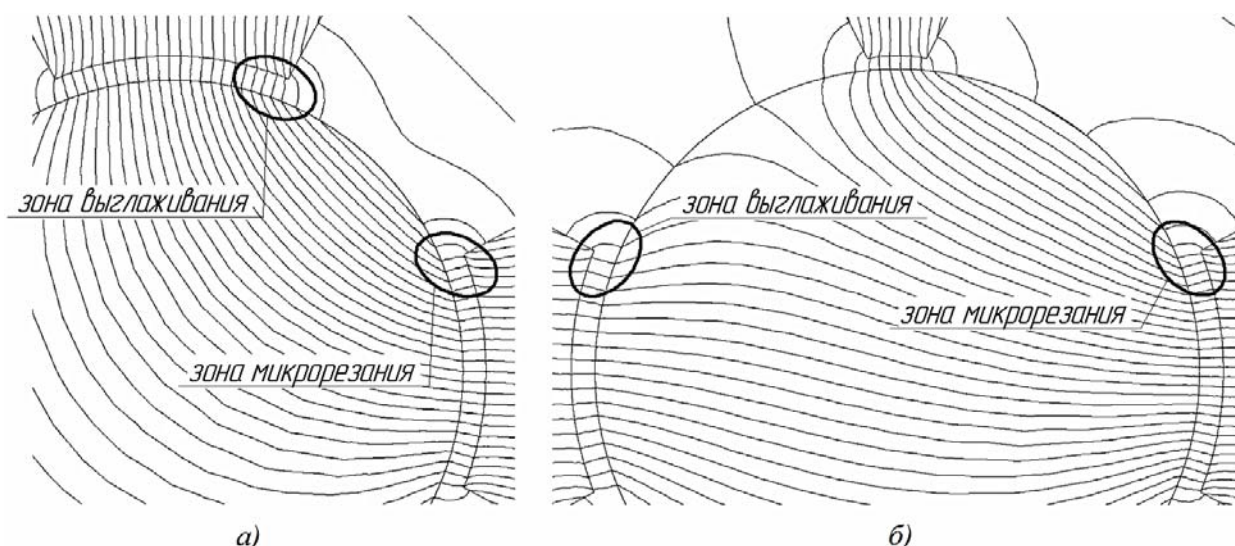


Рис. 6. Топография магнитного поля в рабочем зазоре с асимметричным расположением полюсных наконечников (а) и с дополнительной магнитной системой (б)

Таблица 2. Результаты эксперимента

№ образца	Время обработки τ , сек	Ra до MAO, мкм	Ra после MAO, мкм	Массовый съем Q, мг
1	15	1,18	0,49	91
2	30	1,30	0,32	176
3	45	1,22	0,30	348
4	60	1,25	0,31	389

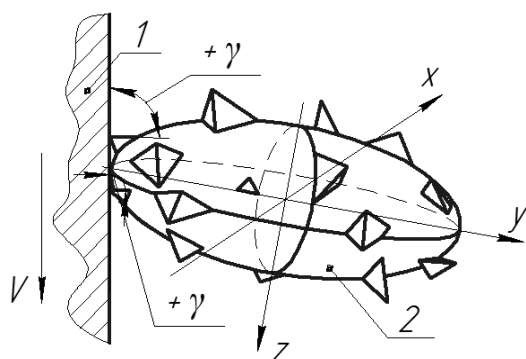


Рис. 7. Схема микрорезания единичной частицей ФАП: 1 – обрабатываемая поверхность; 2 – частица ФАП

Рассмотрим силы, действующие на частицу ФАП в рабочем зазоре. На каждую из частиц порошка в неравномерном магнитном потоке действуют силы магнитного поля F_m , обусловленные градиентом магнитной индукции [6], и силы тяжести G_m .

$$F_m = \frac{1}{\mu_a} V B \text{grad} B, \quad (4)$$

где V – объем ФМП, м³;
 μ_a – магнитная проницаемость материала порошка, Гн/м;

B – магнитная индукция в точке зазора, где расположена частица, Тл;

$\text{grad} B$ – вектор градиента магнитной индукции в рассматриваемой точке рабочего зазора.

$$G_\tau = V \cdot \rho \cdot g, \quad (5)$$

где ρ – плотность материала порошка, МПа;
 g – ускорение свободного падения, м/с² (Н/кг).

Анализ действующих на частицу ФАП сил магнитного поля показывает, что на входе в рабочий зазор и выходе из него равнодействующая сил направлена в сторону «втягивания» ферроабразивных частиц в пространство рабочего зазора (рис. 8).

При эквидистантном профиле полюсного наконечника электромагнита относительно обрабатываемой поверхности расположение частиц ФАП на входе в рабочий зазор и выходе из него будет равновероятным. Сила тяжести способствует перемещению частиц в нижнюю зону рабочего зазора.

Сопоставим величины сил, действующих на ча-

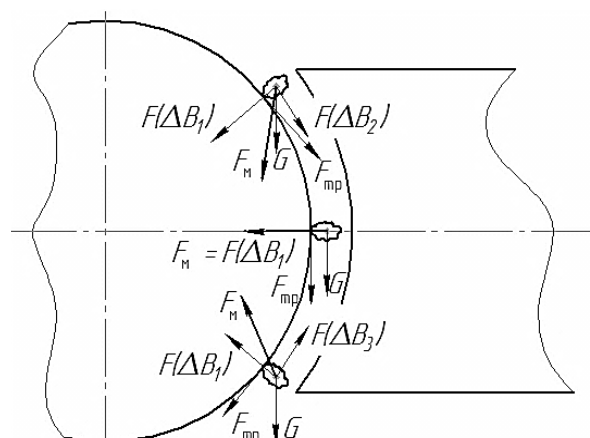


Рис. 8. Схема сил, действующих на частицы ФАП

стицу ФАП. Для частицы ФАП, имеющей форму трехосного эллипсоида с размерами осей $0,25 \times 0,15 \times 0,10$ (мм), сила тяжести $G_T = 1,06 \cdot 10^{-7}$ Н. При величине индукции магнитного поля $B = 1,2$ Тл на такую частицу будет действовать сила магнитного поля [6] $F_M = (2-10) \cdot 10^{-4}$ Н. Сравнение величин силы магнитного поля и силы тяжести показывает, что силой тяжести частицы в дальнейшем можно пренебречь.

Рассмотрим общую схему резания единичной частицей ФАП, расположение которой относительно обрабатываемой поверхности показано на рисунке 9.

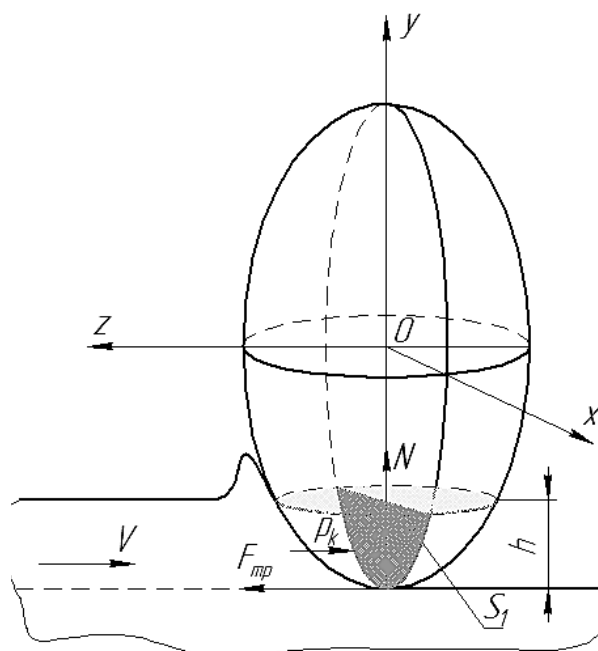


Рис. 9. Схема резания единичной частицей ФАП при МАО

На частицу действуют следующие силы:

- сила реакции обрабатываемой поверхности N , равная величине силе F_M ;
- сила трения $F_{тр}$ между частицей и обрабатываемой поверхностью, которая задается соотношением:

$$F_{тр} = \mu N, \quad (6)$$

где μ – коэффициент трения на поверхности контакта;

– суммарное нормальное давление по контактной поверхности p_k , действующее на площадь, находящуюся в нормальном сечении частицы и заключенную между пятном контакта частицы с обрабатываемой поверхностью и плоскостью, определяющей величину снимаемого слоя h единичной частицей ФАП в данный момент времени.

В отношении параметров, действующих на единичную частицу, сделаны следующие допущения:

1. Распределение напряжений по поверхности частицы в зоне резания постоянно.
2. Напряжения по поверхности зоны резания пропорционально твердости обрабатываемого материала.
3. Коэффициент трения μ постоянен по всей по-

верхности контакта между частицей ФАП и заготовкой.

Таким образом, проекционные составляющие силы резания, действующие на частицу ФАП при МАО, могут быть выражены зависимостями:

$$F_{pz} = p_k S_1 + F_{тр}, \quad (7)$$

$$F_{py} = N = F_M, \quad (8)$$

где S_1 – величина площади сечения, на которое действует суммарное напряжение по контактной поверхности, мкм^2 .

Величина площади сечения может быть рассчитана по формуле

$$S_1 = \int_{-b}^{-b+h} dy \int_{-a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}}^{a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} dx. \quad (9)$$

Для упрощения вычислений воспользуемся симметричностью эллипса относительно обеих осей:

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_{-b}^{-b+h} dy \int_{-a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}}^{a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} dx = 2 \int_{b-h}^b dy \int_0^{a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} dx = \\ &= 2 \int_{b-h}^b dy (x) \Big|_0^{a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} = 2 \int_{b-h}^b a \sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}} dy = \\ &= 2 \int_{b-h}^b \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2} dy = \\ &= \left. \begin{aligned} y &= b \sin t \\ dy &= b \cos t dt \\ y &= b \Rightarrow t = \frac{\pi}{2} \\ y &= b-h \Rightarrow t = \arcsin \frac{b-h}{b} \end{aligned} \right| = \\ &= 2 \int_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - b^2 \sin^2 t} b \cos t dt = \\ &= 2 \int_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{a}{b} b^2 \cos^2 t dt = \\ &= 2ab \int_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 t dt = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2ab \int_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1 + \cos 2t}{2} dt = \\
 &= ab \left(t + \frac{1}{2} \sin 2t \right) \Big|_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} = \\
 &= ab \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{b-h}{b} - \frac{1}{2} \sin \left(2 \arcsin \frac{b-h}{b} \right) \right) = \\
 &= ab \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{b-h}{b} - \frac{b-h}{b} \sqrt{1 - \left(\frac{b-h}{b} \right)^2} \right) = \\
 &= ab \left(\arccos \frac{b-h}{b} - \frac{b-h}{b} \sqrt{1 - \left(\frac{b-h}{b} \right)^2} \right) \quad (10)
 \end{aligned}$$

Если частицу ФАП уподобить индентору, то величину h можно определить из закона Кика [7]:

$$h = \sqrt{\frac{P}{c}}, \quad (11)$$

где P – усилие внедрения, оно будет равно силе магнитного поля F_m , H ;

c – коэффициент, зависящий от угла индентора α и упругопластических свойств материала, в который вдавливаются индентор.

Размещение источника дополнительного магнитного поля (рис. 6б) изменяет направление магнитных силовых линий в зоне входа в рабочий зазор, в результате чего частицы ФАП поворачиваются на угол наклона ω , что создает условия осуществления резания микрочастицами абразивной составляющей, расположенными на боковой поверхности ФАП. Рассмотрим схему действия сил в зоне резания с изменением угла наклона (рис. 10).

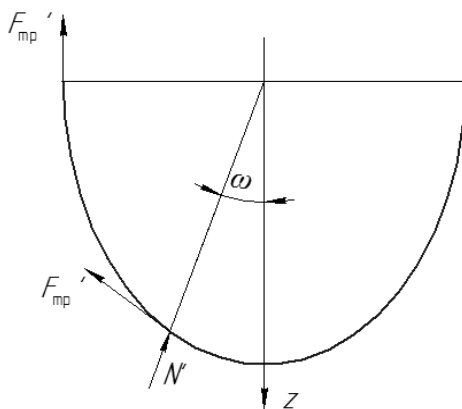


Рис. 10. Схема сил, действующих на боковую поверхность частицы ФАП:
 N' – нормальная сила реакции, действующая на частицу со стороны обрабатываемого материала; $F_{тр}'$ – сила трения

Возможные зоны контакта частицы ФАП с обрабатываемой поверхностью находятся в пределах половины периметра зоны контакта, что соответствует изменению угла ω от 90° до 0° .

Проекция сил на ось Z

$$N'_B = N' \cos \omega, \quad (12)$$

$$F_{тр}'_B = F_{тр}' \sin \omega, \quad (13)$$

Суммируя векторы N' и $F_{тр}'$ на полупериметре, с учетом изменения угла ω , получаем сумму их интегральных абсолютных значений [8]:

$$\left| \int_{90^\circ}^{0^\circ} N' \cos \omega d\omega \right| + \left| \int_{90^\circ}^{0^\circ} F_{тр}' \sin \omega d\omega \right| = N' + F_{тр}'. \quad (14)$$

Нормальные силы определены через нормальное давление, а силы трения – через касательное напряжение. В свою очередь, нормальное давление пропорционально твердости обрабатываемого материала, как показано в выражении:

$$\sigma_n \approx \beta \cdot HV, \quad (15)$$

где HV – твердость обрабатываемой поверхности по шкале Виккерса, МПа; β – константа, выражающая отношение величин σ_n и HV . Например, по литературному источнику [9] величина $\beta = 1...1,23$. Принимаем меньшее значение предела, тогда $\beta = 1$, т.е. нормальное давление на поверхности зерна равно твердости обрабатываемого материала.

Касательное напряжение выражается через нормальное напряжение и коэффициент трения по формуле:

$$p_{F_{тр}} = \mu \sigma_n. \quad (16)$$

Таким образом, с учетом выражений (8), (14), (15), составляющие силы резания, действующие на единичную частицу, могут быть описаны зависимостями:

$$F_{pz} = HV \cdot (1 + \mu) S_1 + \mu F_m, \quad (17)$$

$$F_{py} = F_m \quad (18)$$

Таким образом, составляющие силы зависят от коэффициента трения между пятном контакта частицы и обрабатываемой поверхностью, а также от твердости обрабатываемого материала и величины снимаемого слоя единичной частицей ФАП.

Заключение

Существующие методы интенсификации магнитно-абразивной обработки основаны на фокусировании магнитного поля в рабочем зазоре, динамическом воздействии на частицы ферроабразивного порошка в процессе обработки, использовании смазочно-охлаждающих технологических жидкостей с активными компонентами и не осуществляют целенаправленное изменение угла резания. Экспериментальными исследованиями топографии магнитного поля установлено, что с образованием ферроабразивной щетки происходит перераспределение магнитного потока по сечению рабочего зазора.

Анализ сил, действующих на частицы ферро-

абразивного порошка при классической схеме магнитно-абразивной обработки, позволил научно обосновать формирование ферроабразивной щетки в зоне выхода из рабочего зазора. Силы трения увлекают частицы ферроабразивного порошка в направлении вектора скорости главного движения и изменяют угол их наклона, что увеличивает угол резания и снижает интенсивность процесса обработки.

На основании моделирования топографии магнитного поля предложено формирование ферроабразивной щетки осуществлять в зоне входа в рабочий зазор путем расположения источника дополнительного магнитного поля для управления градиентом магнитной индукции, что позволяет резко изменить передний угол в сторону положительных значений (до $+5^\circ$) и повысить интенсивность съема металла на 30...40 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миклуш, В.П. Организация технического сервиса в агропромышленном комплексе: учеб. пос. / В.П. Миклуш, А.С. Сайганов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 607 с.
2. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении / В.Ф. Безъязычный [и др.]; под общ. ред. В.Ф.

Безъязычного. – М.: Машиностроение, 2007. – 538 с.

3. Финишная обработка поверхностей / С.А. Клименко [и др.]; под общ. ред. С.А. Чижики и М.Л. Хейфеца. – Минск: Беларус. навука, 2017. – 377 с.

4. Сакулевич, Ф.Ю. Магнитно-абразивная обработка точных деталей / Ф.Ю. Сакулевич, Л.К. Минин, Л.А. Олендер. – Мн.: вышэйшая школа, 1977. – 287 с.

5. Скворчевский, Н.Я. Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын. – Мн.: Навука і тэхніка, 1991. – 215 с.

6. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущего инструмента / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 176 с.

7. Федосов, С.А. Определение механических свойств материалов микроиндентированием: Современные зарубежные методики / С.А. Федосов, Л. Пешек. – М.: МГУ, 2004. – 100 с.

8. Шавва, М. А. Анализ взаимосвязи износа круга и сил резания при алмазном шлифовании / М.А. Шавва, С.В. Грубый // Наука и Образование: электрон. журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 11. – С. 137-156.

9. Рыжов, Э.В. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э.В. Рыжов; под ред. А.А. Сагарды. – Киев: Наукова думка, 1979. – 244 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28.05.2018

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход – 4-20 мА, а также интерфейс – RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна
Основная абсолютная погрешность
Температура контролируемого материала
Цена деления младшего разряда блока индикации
Напряжение питания
Потребляемая мощность

от 9 до 25 %
не более 0,5 %
от $+5$ до $+65$ °C
0,1 %
220 В 50 Гц
30 ВА

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ГАШЕНИЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРИВОДАХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН

Н.Л. Ракова,

доцент каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.С. Воробей,

ст. науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук

В статье рассмотрена нагруженность приводов рабочих органов машин вращательного движения с постоянными и переменными передаточными отношениями и кинематический метод гашения крутильных колебаний в приводах рабочих органов машин.

Ключевые слова: привод, передаточные механизмы, нагруженность, рабочие органы, колебания, динамическая система

The article deals with the loading of the drives of the working bodies of rotary motion machines with constant and variable gear ratios and the kinematic method of damping the torsional oscillations in the drives of the working bodies of machines.

Key words: drive, transmission mechanisms, loading, working bodies, oscillations, dynamic system.

Введение

Нагруженность приводов рабочих органов машин вращательного движения с постоянными передаточными отношениями механизмов при их установившихся режимах движения в основном определяется силами полезного сопротивления, действующими на рабочие органы. Что же касается приводов рабочих органов машин с переменными передаточными отношениями и соотношением скоростей передаточных механизмов, то режимы их нагружения при тех же режимах движения более разнообразны. Этим приводам свойственны как вынужденные, так и параметрические колебания, причем вынужденные колебания возбуждаются источниками колебаний с частотами ω , 2ω . Если учесть возможный режим главного параметрического резонанса, то рассматриваемым приводам свойственны, по меньшей мере, три резонансных режима на разных частотах. Вывод этих резонансных режимов, опасных с точки зрения разрушения деталей и элементов привода, за пределы рабочих скоростей, представляет весьма трудную, а порой невыполнимую задачу. Более того, для таких приводов опасны не только резонансные режимы, но и режимы работы на повышенных скоростях, поскольку динамика их нагружения зависит от инерционных сил, возрастающих пропорционально квадрату частоты колебаний рабочего органа.

Таким образом, проблема снижения нагруженности в рассматриваемых приводах рабочих органов машин не только остра, но и сложна, и поэтому до сих пор не найдены эффективные методы ее решения. Приводы остаются динамически нагруженными, энергоемкими, малонадежными.

Основная часть

Для снижения нагруженности предлагается кинематический метод гашения источников колебаний.

Он заключается во введении в привод (рис. 1) дополнительного кинематического источника колебаний, который гасит существующий источник (рис. 2).

Основное отличие приводов с вращательным и поступательным движениями рабочих органов заключается в следующем:

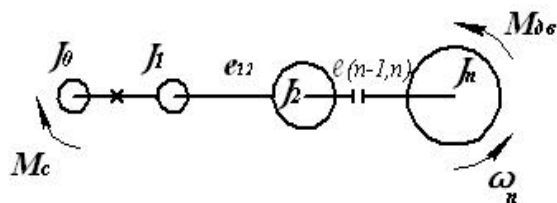


Рис. 1. Расчетная динамическая модель привода:
 J_0 — моменты инерции рабочих органов, кг · м²;
 $J_1 - J_{n-1}$ — моменты инерции звеньев передаточных механизмов, кг · м²;
 $e_{12} - e_{n-1,n}$ — податливости звеньев передаточных механизмов;
 J_n — момент инерции двигателя, кг · м²;
 $M_{дв}, M_c$ — движущий момент и момент сопротивления движению, Н · м.

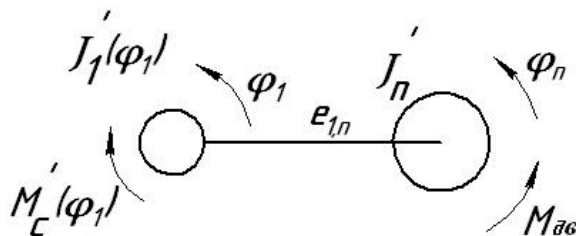


Рис. 2. Расчетная динамическая модель привода с постоянным передаточным отношением передаточного механизма и моментами инерции и сопротивления, приведенными к скоростям масс

1. В приводе с вращательным движением рабочего органа и постоянным передаточным отношением передаточного механизма приведенный момент инерции $J'_1(\varphi_1) = J'_1 = (\text{const})$. В приводах с переменным соотношением скоростей кривошипно-шатунного механизма и передаточным отношением шарнира Гука имеем переменный момент инерции $J'_1(\varphi_1) \neq (\text{const})$.

2. При постоянных значениях силы $\overline{F_c}$ и моментов сопротивления M_c имеет постоянное значение M'_c в первом случае и переменные $M'_c(\varphi_1)$ для нашего случая.

Введем в привод с колебательным и вращательным движением рабочего органа (рис. 2) механизм с переменным передаточным отношением $K(\varphi_1) \neq \text{const}$ (рис. 3) и упростим модель, для чего приведем момент инерции $J'_1(\varphi_1)$ и момент сопротивления $M'_c(\varphi_1)$ к ведущему валу введенного механизма.

Получим искомую модель (рис. 4), в которой [1, 2, 3]

$$\begin{aligned} J'_1(\varphi'_1) &= J'_1(\varphi_1) / K^2(\varphi_1), \\ M'_c(\varphi'_1) &= M'_c(\varphi_1) \cdot K(\varphi_1). \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнения движения динамической модели привода (рис. 4) будут иметь вид:

$$\begin{aligned} J'_1(\varphi'_1) \ddot{\varphi}'_1 + \frac{1}{2} \frac{dJ'_1(\varphi'_1)}{d\varphi'_1} \left(\dot{\varphi}'_1 \right)^2 + \frac{\varphi'_1 - \varphi_n}{e_{1,n}} &= -M'_c(\varphi'_1), \\ J'_n \ddot{\varphi}_n + \frac{(\varphi_n - \varphi'_1)}{e_{1,n}} &= M_{\delta e}; \end{aligned} \quad (2)$$

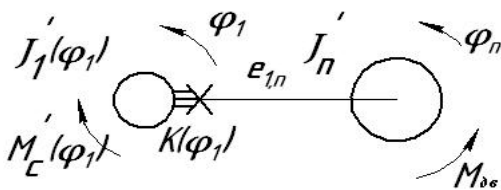


Рис. 3. Расчетная динамическая модель привода с переменным передаточным отношением передаточного механизма с моментами инерции и моментами сопротивления, приведенным к скоростям масс

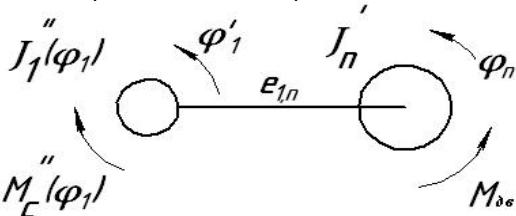


Рис. 4. Расчетная динамическая модель привода с приведенным моментом инерции и моментом сопротивления к ведущему валу введенного механизма

$$J'_1(\varphi'_1) \ddot{\varphi}'_1 + \frac{1}{e_{1,n}} \dot{\varphi}'_1 = -M'_c(\varphi'_1) - \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ'_1(\varphi'_1)}{d\varphi'_1}; \quad (3)$$

$$\ddot{\varphi}'_1 + \frac{\Omega^2}{1 - 2\mu \cos 2\omega t} \varphi' = 0, \quad (4)$$

$$\text{где } \varphi' = \varphi'_1 - \varphi_n.$$

Рассмотрим теперь движение привода с введенным в него механизмом, передаточное отношение которого $K(\varphi_1) \neq \text{const}$, где $K(\varphi_1)$ – периодическая функция по углу поворота φ_1 . В общем случае, как видно из уравнений (3), (4), при $K(\varphi_1) \neq \text{const}$ в системе сохраняются те же виды колебаний, что и при $K(\varphi_1) = \text{const}$. Однако величины возбуждающих

моментов уравнения (3) $M'_c(\varphi'_1)$, $\frac{\omega^2}{2} \frac{dJ'_1(\varphi'_1)}{d\varphi'_1}$ и периодический коэффициент при φ' уравнения (4) будут изменяться в зависимости от амплитуды и фазы $K(\varphi_1) \neq \text{const}$. Следовательно, интенсивность крутильных колебаний в динамической системе в зависимости от названных параметров $K(\varphi_1)$ также будет изменяться в некоторых пределах, и иметь минимум. Минимум амплитуды крутильных колебаний будет

иметь место при условии $\frac{\omega^2}{2} \frac{dJ'_1(\varphi'_1)}{d\varphi'_1} = 0$ [4].

Тогда

$$J'_1(\varphi'_1) = J'_1(\varphi_1) / K^2(\varphi_1) = J_{np} = \text{const}. \quad (5)$$

В приводах с переменным передаточным отношением $K(\varphi) \neq \text{const}$ с введением в их структуру механизма-преобразователя с $K(\varphi_1) \neq \text{const}$ условие (5) выполняется, если $K(\varphi) \cdot K(\varphi_1) = \text{const}$. То есть в таких приводах целесообразно обеспечить синхронизацию вращения ведущего и ведомого валов сочлененных механизмов-преобразователей.

Подставляя выражение (5) в уравнение (3), получим

$$J_{np} \ddot{\varphi}'_1 + \frac{1}{e_{1,n}} \dot{\varphi}'_1 = -M'_c(\varphi'_1). \quad (6)$$

В динамической системе, движение которой описывается дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами (6), крутильные колебания возбуждаются только внешним моментом полезного сопротивления.

Таким образом, если в динамическую систему приводов с переменными передаточным отношением и соотношением скоростей передаточного механизма ввести механизм с переменным передаточным отношением, удовлетворяющим условию (5),

то инерционный момент, возникающий вследствие кинематических особенностей работы привода рабочего органа, и коэффициент возбуждения параметрических колебаний, равны нулю. Это влечет за собой гашение, как вынужденных, так и параметрических крутильных колебаний в рассматриваемых системах приводов.

Для реализации на практике предложенного условия (5) необходимо, чтобы механизм с переменным передаточным отношением, включаемый в динамическую систему привода колеблющегося рабочего органа, обеспечивал частоту изменения его передаточного отношения, равную частоте изменения переменного момента инерции рабочего органа $J_1''(\phi')$, т.е. для рассматриваемого случая 2ω , и необходимую амплитуду.

В приводах, у которых возвратно-поступательное движение рабочих органов осуществляется шарнирно-рычажными механизмами, применяются сочлененные с ними следующие виды передач: карданная, цепная, зубчатая, т.е. передачи с $K(\phi) = \text{const}$ [5].

Для гашения крутильных колебаний в передаточных механизмах таких приводов целесообразно использовать названные выше передачи, искусственно создав в них путем соответствующих конструктивных изменений переменное передаточное отношение с нужной частотой и амплитудой, удовлетворяющих условию (5).

Заключение

Анализ кинематики этих передач показал, что карданная передача может обеспечить нужную частоту изменения передаточного отношения и позволяет в широких пределах регулировать его амплитуду путем изменения углов излома валов в шарнирах и углов разворота вилок на промежуточных валах. Что же касается цепных и зубчатых передач, то необходимые частоты и амплитуды их переменных передаточных отношений можно получить путем применения некруглых звездочек и шестерен [6].

В передаточных механизмах приводов, у которых вращательно-колебательное движение рабочих органов осуществляется асинхронной карданной передачей, погасить крутильные колебания воз-

можно таким же образом, как в приводах с возвратно-поступательным движением рабочих органов, искусственно создав передачи с переменным передаточным отношением, удовлетворяющим условию (5).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко, Л.И. Пути повышения надежности режущих аппаратов / Л.И. Бойко, И.В. Михалькевич // Пути повышения технического уровня и надежности кормоуборочной техники: тез. докл. науч.-практ. конф. – Гомель, 1986. – С. 42-43.
2. Бойко, Л.И. Научные основы формирования динамической нагруженности и разработки концепции ее снижения в приводах колеблющихся рабочих органов машин / Л.И. Бойко, А.М. Гоман, Ю.В. Чигарев, Т.В. Бойко, Н.Л. Ракова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі: сер. фіз.-тэхн. навук. – 2003. – №2 – С. 23-32.
3. Ходосевич, В.И. Гашение крутильных колебаний привода режущего аппарата / В.И. Ходосевич, Л.И. Бойко, Т.В. Бойко // Улучшение эксплуатационных качеств и конструкций тракторов и сельскохозяйственных машин: сб. научных трудов. – Горки, 1982. – Вып. 84. – С. 76-83.
4. Boyko, L.I. The Problems of reliability increasing of harvesting machines drivers with oscillating working parts / L.I. Boyko, A.M. Goman, N.L. Rakova Y.L. Soliterman // Reconzowane Materialy VI Miedzynarodowego Sympozjum, Warszawa, 23-24 wrzesien 1999 r. – S. 258-263.
5. Ракова, Н.Л. Снижение величины движущего момента в приводах возвратно-поступательного движения рабочих органов уборочных машин / Н.Л. Ракова, И.А.Тарасевич, А.С. Воробей, Т.В. Бойко // Агропанорама. – № 6. – 2014. – С. 21-26.
6. Ходосевич, В.И. Кинематика многошарнирной карданной передачи и оптимизации ее параметров / В.И. Ходосевич, А.А. Единолич, Л.И. Бойко, Т.В. Бойко // Пути совершенствования сельскохозяйственной техники. – Минск: Ураджай, 1975. – Вып. 27. – С. 55-61.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 29.03.2018

БИОКИНЕТИКА ВОДОРОДНОГО ИЗНАШИВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

А.В. Кудина,

доцент каф. стандартизации и метрологии БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Ю.Т. Антонишин,

доцент каф. моделирования и проектирования БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.С. Ивашко,

зав. каф. технической эксплуатации автомобилей БНТУ, докт. техн. наук, профессор

При коррозионно-механическом изнашивании накопление дефектов в структуре трущихся деталей, аномально высокое насыщение зоны трения продуктами износа и коррозии, химически активными радикалами и элементами при циклическом деформировании приводит к структурному разупрочнению, разрыхлению и разрушению поверхностного слоя деталей, их интенсивному износу. Протекание в зоне трения коррозионных процессов с выделением диффузионно-подвижного водорода способствует наводороживанию металла поверхностей, адсорбции водорода металлом и проникновению его внутрь материала, что вызывает зарождение и развитие водородного разрушения.

Ключевые слова: коррозионно-механическое изнашивание, биокоррозия, наводороживание, водородное растрескивание, разрушение.

With corrosion-mechanical wear, the accumulation of defects in the structure of rubbing parts, the abnormally high saturation of the friction zone by the products of wear and corrosion, chemically active radicals and elements during cyclic deformation leads to structural softening, loosening and destruction of the surface layer of the parts, and their intensive wear. The flow of corrosive processes in the friction zone with the release of diffusion-mobile hydrogen promotes hydrogenation of the metal surfaces, the adsorption of hydrogen by metal and its penetration into the material, which causes the initiation and development of hydrogen destruction.

Key words: corrosion-mechanical wear, biocorrosion, hydrogenation, hydrogen cracking, fracture.

Введение

Расширение и интенсификация производства, ужесточение режимов работы машин и технологического оборудования в промышленности и сельском хозяйстве привели в настоящее время к заметному увеличению случаев усиленного износа и разрушения, как рабочих поверхностей, так и основы деталей узлов трения машин и механизмов. Причиной этих явлений при контакте твердых тел, как правило, являются происходящие в зоне трения деформационно-механические, коррозионные и усталостные процессы изнашивания и разрушения, вызываемые физическими, физико-химическими и биологическими факторами окружающей контактной среды. Согласно кинетике изнашивания твердых тел, все механизмы изнашивания классифицируются на три вида: механический, молекулярно-механический и коррозионно-механический [1, 2], из которых последний требует более глубоких исследований по причине влияния на его процесс различного рода биологических факторов. Недостаток изученности этого процесса и роли в нем биологических факторов, в том числе и водорода, влияющих на металлы и другие материалы, не позволяют в полной мере решать вопросы коррози-

онной повреждаемости, водородного изнашивания и растрескивания металлов, которые приводят к преждевременному разрушению и потере работоспособности деталей машин, их рабочих узлов и механизмов. Известно, что биологические факторы могут воздействовать на многие материалы очень специфически. Так, в процессе метаболизма микроорганизмы разрушают структуру материалов, создают агрессивные среды в результате накопления таких продуктов жизнедеятельности, как кислоты, щелочи, сульфиды, ионы агрессивных веществ и химических элементов, которые любую индифферентную обстановку могут сделать коррозионно опасной, а непосредственное участие в одной или более электрохимических реакций на поверхности корродируемого субстрата способствует началу или усилению биокоррозионных повреждений. Это происходит после определенного периода адаптации микроорганизмов. Продукты их жизнедеятельности повышают агрессивность среды и стимулируют процессы коррозии, а через некоторый промежуток времени, необходимый для образования в контактных зонах совокупности микроорганизмов (биопленки), интенсифицируют процессы разрушения различных материалов. Поэтому процессы биоразрушений по своему механизму различны и зависят как

от биофактора, так и особенностей подверженного его действию объекта. В настоящее время математическое описание процессов изнашивания и разрушения материалов базируется, как правило, на одном из физических явлений, которое может быть основным. Однако в реальных узлах трения это явление практически не учитывает влияния биологических факторов, в том числе и водородного, приводящих к интенсивному износу и разрушению кинематических пар технологического оборудования, машин и механизмов. Поэтому чаще всего не происходит полного совпадения расчетных значений интенсивности изнашивания и разрушения с экспериментальными, полученными для реальных узлов трения. Все вышеизложенное свидетельствует о необходимости более глубокого исследования, изучения и понимания механизма коррозионно-механического изнашивания и тесно связанного с ним водородного разрушения металла стальных деталей в узлах трения с целью получения исходных данных для разработки новых материалов и методов защиты деталей от интенсивного износа и разрушения, которые увеличат их износостойкость и ресурс, а значит, повысят надежность машин и технологического оборудования в целом.

Целью данной работы является установление первопричины водородного разрушения и изнашивания металлов.

Основная часть

Известно [1-4], что все трущиеся поверхности деталей контактируют по единичным микровыступам, которые под воздействием приложенных давлений могут расплющиваться, взаимно внедряться и подвергаться различным физическим эффектам. Это приводит к обратимому или необратимому изменению рельефа контактных поверхностей. Дискретный характер контакта реальных твердых тел приводит к тому, что вблизи их поверхностей трения образуется область пространства с большим градиентом знакопеременных напряжений. Максимальные значения возникающих напряжений в этих местах превышают значения величин, рассчитанных по формулам Герца в 1,5-2,0 раза. Этому в определенной степени способствуют поверхностные загрязнения тел, трущихся в условиях атмосферного и производственного запыления, которые, как правило, представляют полидисперсные слои, состоящие из смазки, продуктов износа и заносимых в зону трения инородных частиц разного состава. В этих загрязнениях присутствуют следы смазки с повышенным содержанием поверхностно-активных веществ: атомов и молекул, как химически активных, так и биогенных элементов, свободных радикалов и веществ, пары влаги и др. Поэтому фрикционный контакт пар трения представляет собой своеобразную электрохимическую систему, что дает основание считать о неминуемом влиянии потенциалов этой системы на процессы трения и разрушения трущихся материалов [3]. Кроме того, в этой электрохимической системе зарождаются и протекают кор-

розионные микропроцессы, характеризующиеся разной степенью активности для каждого фрикционного контакта, но наиболее активны эти процессы в техногенной водородосодержащей среде.

Контактирование трибоповерхностей по микровыступам приводит к возникновению на пятнах контакта адгезионных процессов и образованию, так называемых, мостиков микросварки. В связи с тем, что при трении, атомы и молекулы поверхностного слоя находятся в неуравновешенном высокоэнергетическом состоянии, то они способны к активному взаимодействию с атомами материала выступов контртела, с молекулами газовой или жидкой окружающей среды, а также с находящимися в окружающей среде микроорганизмами. В первом случае адгезионные эффекты взаимодействия будут более значительными, чем во втором. С позиций кинетики трения и процессов изнашивания, определяющим является характер разрушения возникшей адгезионной связи на пятне контакта. Если происходит разрушение этих связей и мостиков микросварки, то повреждаемость микроконтакта осуществляется по усталостным механизмам при постоянном структурном разрыхлении активного слоя. Процесс трения в этом случае следует считать стационарным. Если же разрушение связи происходит на некоторой глубине материала, то изнашивание протекает катастрофически быстро по механизму формирования крупных частиц износа, деформирования и разрушения структуры материалов поверхностей трения, а процесс трения приобретает уже нестационарное развитие.

На фактических пятнах контакта поверхностей реализуются весьма высокие давления, сопоставимые с пределами текучести или даже прочности материалов. Эти силовые взаимодействия имеют периодический характер, причем допускается продолжительность соприкосновения микроконтактов от 10^{-7} до 15^{-5} с. Деформационно-адгезионные точечные взаимодействия обуславливают разогрев материала контактов на некоторой активной глубине и на трущейся поверхности. Сочетание высоких контактных давлений и температур с активной окружающей средой приводит к активации повреждения слоя с существенным изменением его физико-механических свойств. В первом случае активируются субструктурные эффекты и процессы фазовых переходов, происходит развитие дефектов кристаллической структуры (точечных, линейных, а также поверхностных), изменение ориентации зерен и макродефектов, формирование объемных несовершенств (скопление вакансий, полостей разрыва материала). В то же время изменяется фазовое строение, происходят полиморфные превращения, образование и растворение частиц химических соединений, диффузия элементов из одного тела в другое и т.п. Процессы второго направления отражают создание адсорбционных пленок и химических соединений из окружающей среды, формирование микрозон трибохимической и биохимической активности частиц материала, переносимого на поверх-

ность контртела [1, 3]. Здесь необходимо отметить роль биологического фактора, инициирующего в зоне трения биокоррозию и способствующего, при соответствующих условиях, образованию биогенного и атомарного водорода [4, 5]. Появление водорода в зоне трения влечет за собой целую цепь разрушающих структуру металла процессов: адсорбцию и поглощение его трибоповерхностями деталей, диффузию водорода в металл под действием градиентов температуры и механических напряжений в область максимального значения этих величин, разрыхление и разупрочнение структуры металла, зарождение суб- и микротрещин. Такие процессы приводят к наводороживанию металла и повышенному его изнашиванию [4-7]. Результаты исследований [8, 9], обобщение и анализ научно-технической информации по проблемам микробной коррозии, влиянию и взаимодействию микроорганизмов (биофакторов) с различными материалами и окружающей средой дают основание заключить, что разрушающие процессы в природе в большой степени связаны с жизнедеятельностью микроорганизмов, т.е. с процессами биокоррозии. Так, например, детали машин и оборудования для получения и переработки сельхозпродукции контактируют с растительными субстратами и почвенной биотой, которые, накапливаясь в микродефектах поверхностей трущихся деталей, создают, так называемые, застойные зоны, благоприятные для образования колоний микроорганизмов. На пятне контакта биосреда-материал при всех благоприятных условиях происходит микробное образование колоний. В результате метаболизма, а также деструкции клеток, окружающее пространство заполняется активными радикалами и биогенными элементами, которые адсорбируются материалом и, проникая в подповерхностный слой, разрыхляют его путем разупрочнения межатомных и междолинных связей. Вместе с разрыхлением поверхности начинается интенсификация коррозионных процессов: создаются очаги коррозионного поражения, активизируются химические и электрохимические процессы, происходит деструкция и разрушение материалов. Изучение характера и причин интенсивного износа деталей рабочих органов машин, работающих в условиях сельскохозяйственного производства и контактирующих с техногенной биосредой, показало, что их поверхности под-

вергаются интенсивному разрыхлению и разрушению не только от коррозионных воздействий, но и ряда других физико-химических, биохимических, микробных и других воздействий, участвующих в процессах разрушения металлов. На рисунке 1 представлен соединительный шток транспортера выгрузки отходов животноводства (навоза), разрушенный техногенной бактериальной средой.

Хромотографические исследования структуры металла деталей, выработавших ресурс и демонтированных с узлов трения рабочих органов зерноуборочных, кормоуборочных, почвообрабатывающих машин и оборудования для уборки животноводческих ферм, показали [9], что в структуре образцов массовая доля водорода составила от 12×10^{-3} до $38 \times 10^{-3} \%$. Причем, в составе продуктов износа трущихся пар были обнаружены штаммы хемотрофных и литотрофных бактерий, способных в процессе метаболизма и деструкции клеток микроорганизмов выделять водород в активной форме (ионы и атомы), который способствует созданию агрессивной биокоррозионной среды. Установлено [3-6, 10-12], что водородосодержащая среда является одной из самых агрессивных сред, разрушающих металлы. Она может действовать на материалы, как при высоких температурах и давлениях, так и при нормальных, которые условно называют низкими температурами. При высоких температурах и давлениях водород вызывает водородную коррозию, при нормальных – оказывает избирательное воздействие на механические свойства напряженного металла конструкций. Водородное воздействие на металл приводит к водородному изнашиванию его поверхности, охрупчиванию и растрескиванию структуры. Результаты научно-исследовательских работ Д.Н. Гаркунова убедительно показывают, что присутствие водорода в зоне трения приводит к водородному изнашиванию контактных поверхностей твердых тел. Общеизвестно, что повышение содержания водорода в металле приводит к охрупчиванию все без исключения стали. Так, например, даже титан становится хрупким при содержании в нем водорода более 0,025 % мас. Природа водородной хрупкости металла определяется содержанием водорода, характером взаимодействия металлов и сплавов с водородом, состоянием водорода в металле, величиной напряжений.

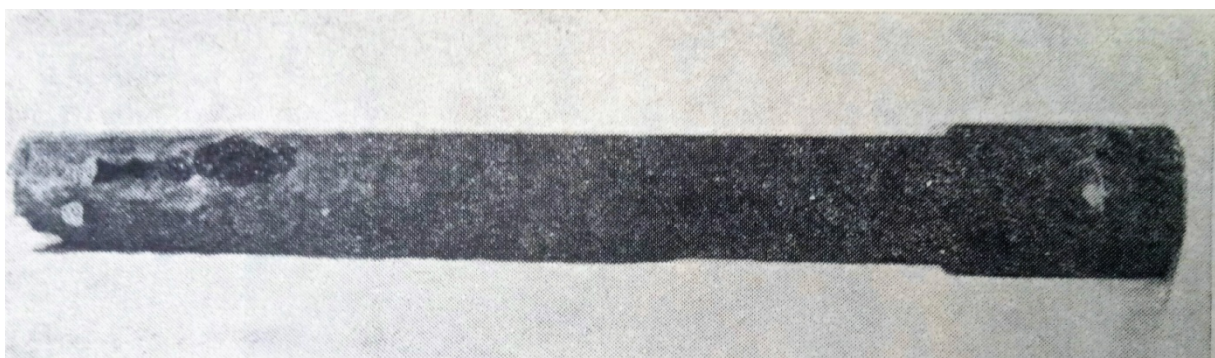


Рис. 1. Соединительный шток транспортера, разрушенный биокоррозией после 8-ми месяцев эксплуатации

Диссоциация в зоне трения молекул химически активных веществ и радикалов, образование атомарного водорода и биогенных элементов делают водородосодержащую техногенную среду в зоне трения весьма активной. По своей структуре биогенный и атомарный водород обладают необычайно высокой подвижностью, химической активностью и большой проникающей способностью. Он растворяется в окта- и тетрапорах кристаллической решетки металлов в ионизированном состоянии, накапливается в порах, микротрещинах и других дефектах структуры в молекулярной форме, вступает в химическое взаимодействие с различными элементами и фазами, имеющимися в металлах и сплавах, а также адсорбируется внутри металла на поверхностях микрополостей, пор, микротрещин и т.п., чем способствует сегрегации несовершенств кристаллической решетки металлов, т.е. неоднородности и разрыхлению, как структуры, так и химического состава металла и сплавов. Распределение водорода в металлах, и особенно в сплавах, осуществляется неравномерно в поверхностных слоях, а наибольшая его концентрация, в зависимости от градиента температуры, наблюдается по границам зерен стали, раздела «карбид-матрица», в порах, во внутренних трещинах, около неметаллических включений и др., т.е. в дефектах структуры, что приводит к возникновению полей упругих напряжений [10-12]. Детали, разрыхляемые при изнашивании поверхности, становятся зоной повышенной химической активности, где интенсивно зарождаются и протекают сорбционные процессы, приводящие к поглощению металлом химически активных элементов, радикалов и водорода, выделившихся при коррозионных реакциях и метаболизме микроорганизмов. Адсорбция металлом водорода и биогенных элементов приводит к концентрации их в дефектах, как поверхностных слоев металла, так и в глубине его структуры. Известно, что локальная концентрация водорода в металле влечет за собой нарушение целостности его структуры: развитие процессов разупрочнения атомно-молекулярного строения кристаллов, изменение их свойств, наводороживание и водородное растрескивание металла. Схема разрушения водородом контактных металлоповерхностей представлена на рисунке 2. Процесс разрушения протекает следующим образом. Образовавшийся в результате биокоррозионно-механических процессов водород интенсивно адсорбируется металлоповерхностями [10], превращаясь в атомы и молекулы. Стремясь покрыть всю поверхность твердого тела, соприкасающуюся с активной средой, водород проникает в микродефекты структуры, мигрируя по их стенкам со скоростями, значительно превышающими скорости всасывания жидкости в микрозазоры. Когда активные молекулы достигают мест, где ширина зазора равняется размеру одной-двух молекул, адсорбционный слой своим давлением стремится расклинить трещину для дальнейшего их продвижения. Проявляется адсорбционный эффект понижения прочности (эффект Ребиндера).

Расклинивающие давления раскрывают ультрамикротрещины, чем способствуют проникновению в металл химически активных веществ, микроорганизмов и водорода. Происходят процессы рыхления, разупрочнения и разрушения структуры металла.

Локальная концентрация водорода в металле влечет за собой нарушение целостности его структуры: развитие процессов разупрочнения атомно-молекулярного строения кристаллов, изменение их свойств, наводороживание и водородное растрескивание металла. Известно, что наводороживание характеризуется более высокой диффузионной подвижностью водорода и резким отрицательным влиянием поглощенного водорода на механические свойства металла. Вместе с тем, оно неразрывно связано с поверхностным разрыхлением и созданием линейных дефектов кристаллической решетки в слоях металла (дислокаций), подверженных в зоне трения воздействию коррозионных процессов и химических реакций. Накопление дислокаций и формирование растягивающих внутренних напряжений в структуре металла благоприятствует возникновению субмикро- и микроколлекторов, заполняющихся атомарным (диффузионно-подвижным) водородом. Кроме коллекторов, он попадает в ловушки внутренней структуры металла (вакансии, дислокации, области объемного растяжения кристаллической решетки), обусловленные полями внутренних локальных микронапряжений, что вызывает изменение свойств и структуры кристаллов [10-12].

Следовательно, при коррозионно-механическом механизме изнашивания накопление дефектов структуры стали в поверхностном слое, аномально высокое насыщение его продуктами трибохимических и биохимических превращений, активными радикалами и элементами приводит при циклическом деформировании к структурному разупрочне-

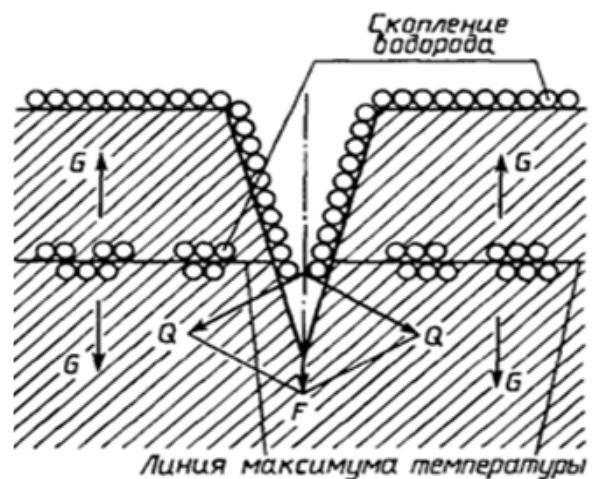


Рис. 2. Схема разрушения водородом контактных металлоповерхностей:

F — давление адсорбированного слоя, Па; Q — расклинивающие силы, Н; G — концентрированное напряжение, Па

нию, разрыхлению и разрушению поверхностного слоя детали, его интенсивному износу и проникновению агрессивных элементов внутрь основного металла. Протекание в зоне трения биокоррозионных процессов с выделением диффузионно-подвижного водорода способствует наводороживанию трущихся металлоповерхностей, их охрупчиванию и адсорбции водорода металлом. Дальнейшее проникновение водорода и других агрессивных элементов внутрь металла, стимулирует расклинивание в структуре образующихся субмикротрещин, способствует созданию высоких внутренних напряжений и образованию кристаллизационных трещин, перерастающих в макротрещины. Затем следует водородное растрескивание и разрушение материалов.

Заключение

Результаты исследований процессов интенсивного износа трибоповерхностей деталей узлов машин и технологического оборудования при коррозионно-механическом механизме изнашивания показали, что этот вид разрушения следует рассматривать не только как процесс, протекающий в условиях коррозионного воздействия (электрохимических и химических реакций), но и биокоррозии (воздействия биологических факторов, т.е. микроорганизмов). Степень развития и скорость протекания коррозионных процессов в зоне трения во многом зависят от интенсивности коррозионных реакций, активности микроорганизмов и условий для их метаболизма. Коррозионно-деформационные процессы при таком изнашивании разрыхляют трущиеся металлоповерхности, в дефектах которых адсорбируют химически активные вещества и элементы: водород, радикалы, метаболиты и пр., причем, эти элементы и вещества в силу своей необычайной активности и проникающей способности попадают в дефекты структуры основного металла, чем способствуют ухудшению его физико-механических характеристик.

Особую опасность при коррозионно-механическом механизме изнашивания представляет активный водород, выделяющийся в результате протекания в зоне трения трибомеханических и биокоррозионных реакций. Он появляется вследствие деструкции молекул химических водородосодержащих соединений и клеток микроорганизмов, находящихся в контактных точках трущихся поверхностей, а также в результате протекания в зоне трения химических реакций и биокоррозионных процессов. Активный водород проникает внутрь структуры металлов, концентрируется в ее дефектах, где преобразуется в газ, который, накапливаясь в ограниченном пространстве структуры металла, создает высокие внутренние напряжения, способствующие зарождению трещин и растрескиванию материалов.

На основании результатов исследований, процессы механизма коррозионно-механического изнашивания металлов следует рассматривать не только с позиций протекания в зоне трения разрушающих механических и коррозионных процессов, но и с учетом

биокоррозионных аспектов, а также биокинетики водородного изнашивания и разрушения материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивашко, В.С. Теоретические аспекты кинетики изнашивания поверхностей деталей машин и механизмов / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Вестник Белорус. нац. технич. университета. – Мн.: БНТУ, 2005. – № 5. – С.59-63.
2. Гаркунов, Д.Н. Виды трения, изнашивания и эксплуатационные повреждения деталей машин / Д.Н. Гаркунов, П.И. Корник, Э.Д. Мельников // Ремонт, восстановление, модернизация. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – № 7. – С.43-49.
3. Трение, износ и смазка (Трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
4. Hedrik H.G., Reynolds R.J., Orum M.G. Microbiological corrosion of aircraft metal alloys. – Develop. Ind. Microbiol, 1996, 10. P. – 228-233.
5. Кондратьева, Е.Н. Молекулярный водород в метаболизме микроорганизмов / Е.Н. Кондратьева, И.Н. Гоготов. – М.: Наука, 1981. – С. 344.
6. Grabke H. J. Absorption and Diffusion of Hydrogen in Steels / H.J. Grabke E. E. Riecke // Materiali in Tehnologije. – 2000. – Vol. 34, N. 6. – P. 331 -343.
7. Гаркунов, Д.Н. Научные открытия в триботехнике. Эффект безызносности. Водородное изнашивание металлов / Д.Н. Гаркунов. – М.: МСХА, 2004. – 384 с.
8. Ивашко, В.С. Разрушение микроорганизмами материалов деталей машин и механизмов по производству и переработке сельхозпродукции / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина // Агропанорама. – 2007. – №2. – С. 36-40.
9. Кураш, В.В. Исследование наводороживания металлоповерхностей деталей рабочих органов машин, агрегатов и сборочных единиц сельскохозяйственной техники / В.В.Кураш, Ю.В.Титов, А.В. Кудина // Агропанорама. – 2010. – № 3. – С. 39-42.
10. Кураш, В.В. Технологическое обеспечение формирования эксплуатационных свойств машин производств микробиологического синтеза: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.02.08; 05.02.04 / В.В. Кураш; БНТУ. – Мн., 1991. – 24 с.
11. Шелег, В.К. Водородостойкие защитные материалы для деталей трения машин и оборудования, работающих в техногенных водородосодержащих средах / В.К. Шелег, А.Ф. Присевко // Вестник Белорус. нац. технич. универ-та. – Мн.: БНТУ, 2007. – №3. – С. 15-22.
12. Гвоздев, А.Е. Кинетические особенности биокоррозии для легированных сталей / А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Н.Б. Фомичева. – Тула: ТулГУ, 2004. – 600 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 23.03.2018

УДК 631.3:636(075.8)

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ РАЗДАЧЕ КОРМОВ КРУПНОМУ РОГАТОМУ СКОТУ

А.В. Китун,

зав. каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Е.А. Хвоенок,

студент агромеханического факультета БГАТУ

В статье анализируется эффективность использования инновационной техники для механизации процессов кормления крупного рогатого скота на фермах. Даются предложения по оптимальному составу комплектов машин и оборудования для производства молока и говядины.

Ключевые слова: экономические и технические показатели, энергосберегающие мероприятия, машины и оборудование для приготовления и раздачи кормов, потребность техники.

The article analyzes the efficiency of the use of innovative technology for mechanization of cattle feeding on cattle farms and offers the optimal composition of sets of machines and equipment for the production of milk and beef.

Key words: economic and technical indicators, machines and equipment for preparation and distribution of feed, the need for technology.

Введение

В Республике Беларусь на крупных фермах – комплексах практически повсеместно крупнорогатый скот (КРС) переведен на беспривязное содержание с раздачей кормовых смесей, сбалансированных по питательности, в соответствии с применяемым рационом для каждой из технологических групп животных.

Положительное влияние полнорационных кормовых смесей (ПКС) на поедаемость кормов и переваримость питательных веществ связано с тем, что корма и кормовые добавки в составе смеси поступают в желудочно-кишечный тракт животных одновременно, дополняют друг друга и обеспечивают постоянную рН рубца, что нормализует микробиальные процессы и улучшает ферментацию кормов в преджелудках.

Основная часть

Для реализации данной технологии раздачи корма, новый уровень развития получили конструкции мобильных смесителей-раздатчиков. Вместо раздельного кормления или послойной загрузки кормов в новых кормораздатчиках все компоненты предварительно смешиваются непосредственно в бункере. В настоящее время на животноводческих фермах в Республике Беларусь эксплуатируется примерно 3970 раздатчиков кормов, в том числе 1900 (48 %) мобильных раздатчиков-смесителей.

Мобильные раздатчики-смесители обеспечивают комплексную механизацию операций дозированной загрузки, взвешивания, измельчения, перемешивания, транспортировки и равномерной раздачи кормов. Эти универсальные машины фактически являются «кормоцехами на колесах» и обеспечивают выполнение следующих зоотехнических требований:

– перемешивание компонентов рациона до однородной смеси;

– щадящее перемешивание – разрезание, а не сдавливание корма с сохранением структуры грубых и сочных кормов для стимуляции жвачки и переваривания;

– точное взвешивание и дозирование составляющих кормосмесей;

– быстрое перемешивание.

Отличающиеся простотой в обслуживании, надежностью в эксплуатации и соответствующие габаритным размерам помещений и оборудования смесители-кормораздатчики все шире применяются на крупных фермах-комплексах несмотря на относительное повышение прямых эксплуатационных затрат в сравнении с традиционными кормораздатчиками.

В Беларуси получили распространение смесители-раздатчики кормов двух типов: с вертикальными и горизонтальными рабочими органами. Считается, что машины первого типа лучше использовать, когда в состав ПКС включаются грубые объемистые корма, которые необходимо в процессе смешивания доизмельчить (например, сено или солома). Машины второго типа используются при приготовлении ПКС, которые в большей степени требуют качественного смешивания с сохранением структуры и размеров фракций составляющих компонентов.

В Беларуси производителем полуприцепных кормораздатчиков является ОАО «Бобруйскагро-маш», которое обеспечивает поставку машин для всех ферм-комплексов. Типоразмерный ряд машин основывается на полуприцепном измельчителе-смесителе-раздатчике кормосмесей РСК-12 «БелМикс» с бункером вместимостью 12 м³ [1].

Наиболее современным производителем кормораздатчиков является ООО «Запагромаш» (ИСПК-12) [2]. За 16 лет его деятельности в страны СНГ поставлено

более 6500 единиц техники (преимущественно измельчителей-смесителей-раздатчиков кормов), которые успешно эксплуатируются во многих хозяйствах. Кормораздатчик оснащен электронным устройством контроля массы загружаемого корма, системой кабельной связи с дисплеем, отображающим количество загружаемых компонентов корма. Использование раздатчика-смесителя ИСРК-12 позволяет достигать однородности многокомпонентного корма более 85 %, снизить неравномерность раздачи корма по длине кормового прохода до 5-10 %. Машина обслуживается одним трактористом. Подача корма на кормовой стол осуществляется выгрузным транспортером и регулируется величиной открытия шиберов выгрузного окна.

Система программирования позволяет готовить ПКС с заданной энергетической ценностью и в требуемых объемах. Состав смеси контролируется по электронным весам согласно рациону, составленному для данной технологической группы животных.

Устройством для самозагрузки оснащена модель кормораздатчика ИСРК-12Ф (рис.1). Наличие ножа и загрузочной фрезы позволяет производить загрузку корма прямо из траншеи, при этом выемка корма



Рис.1. Измельчитель-смеситель-раздатчик кормов с наличием загрузочной фрезы ИСРК-12Ф

осуществляется вертикальными слоями, без нарушения целостности прилегающих слоев, что предохраняет корм от вторичной ферментации. Наличие устройства самозагрузки повышает точность подачи порций сочных и грубых кормов в бункер смесителя-кормораздатчика, что, несомненно, положительно влияет на обеспечение сбалансированности ПКС. Однако при этом очень важно, чтобы при заборе корма фреза не производила его излишнего измельчения.

Использование ПКС позволяет получить больше продукции на 15-20 % на тех же кормах и на 50 % сократить расходы на лечение заболеваний, вызванных нарушениями обмена веществ у животных. С применением кормораздатчиков и повышением потенциала кормовой базы стала возможна реализация технологии приготовления ПКС.

Перемешивающее устройство кормораздатчика ИСРК-12 состоит из рабочих органов в виде двух горизонтально расположенных шнеков с измельчающими ножами, установленными по кромке витков и перемещающихся вдоль неподвижного противорежущего гребня (рис. 2а).

В СРК-12В «Хозяин» (рис. 2б) установлены два турбошнека с ножами для доизмельчения и смешивания компонентов корма. Процесс смешивания в нем протекает быстро и питательные свойства корма не изменяются. Реверсивный транспортер позволяет производить раздачу на две стороны. Сдвоенные колеса повышают поперечную маневренность [2].

Энергоемкость является одним из важнейших показателей эффективности производства на современном этапе. На основе этого показателя должна производиться энергетическая и биоэнергетическая оценка применяемых или предлагаемых технологий, машин, оборудования для приготовления и раздачи кормов, обслуживания животных.

Число кормораздатчиков, необходимых для обслуживания поголовья животных [3]



а



б

Рис. 2. Расположение рабочих органов смесителя-кормораздатчика: а – с горизонтальным расположением шнеков (ИСРК-12); б – с вертикальным расположением шнека (СРК-12В)

$$n_p = \frac{m_{ж} q}{Q_c}, \quad (1)$$

где $m_{ж}$ – число животных на ферме;
 q – норма выдачи корма одному животному, в единицу времени, кг/ч;
 Q_c – производительность кормораздатчика за 1 ч. сменного времени, кг/ч.

Производительность кормораздатчика за 1 ч. сменного времени

$$Q_c = Q k_p, \quad (2)$$

где Q – производительность кормораздатчика за 1 ч. чистого времени, кг/ч;

k_p – коэффициент использования рабочего времени;

$$k_p = \frac{t}{t + t_0}, \quad (3)$$

где t – время, затрачиваемое на непосредственную раздачу корма, ч.;

t_0 – время, затрачиваемое на непроизводительные (вспомогательные) операции, ч.

Тогда

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7, \quad (4)$$

где t_1 – время доставки пустого кормораздатчика от места содержания животных к месту загрузки и обратно, ч.;

t_2 – время загрузки, ч.;

t_3 – время на раздачу кормов, ч.;

t_4 – время, затрачиваемое на простой по технологическим причинам, ч.;

t_5 – время, затрачиваемое на техническое обслуживание, ч.;

t_6 – время, затрачиваемое на ремонт машины, ч.;

t_7 – время переезда от одной линии раздачи к другой, если вместимость кузова (бункера) обеспечивает раздачу корма в нескольких линиях, ч.

Время пробега транспортного средства можно определить по формуле:

$$t_l = \frac{2L}{v_{ср}}, \quad (5)$$

где L – длина пути, км;

$v_{ср}$ – средняя скорость движения транспортного средства, км/ч.

Время на выполнение погрузочно-разгрузочных работ определим по формуле:

$$t_2 + t_3 = \frac{W_T K_T}{Q_{загр}} + \frac{W_T K_T}{Q_{выгр}} = \frac{2W_T K_T}{Q_{з-в}}, \quad (6)$$

где W_T – масса раздаваемого корма, т;

K_T – коэффициент использования грузоподъемности транспортного средства;

$Q_{з-в}$ – средняя гармоническая производительность погрузочно-разгрузочного процесса, т/ч,

$$Q_{з-в} = \frac{2Q_{загр} Q_{выгр}}{Q_{загр} + Q_{выгр}}.$$

Правильный выбор машин для погрузки кормов в значительной мере определяет эффективность работы животноводческой фермы.

Производительность погрузчика можно определить по формуле:

$$Q_{загр} = m_n n_{ц}, \quad (7)$$

где m_n – масса порции груза, захватываемая грейферным устройством, т;

$n_{ц}$ – число циклов машины за 1ч непрерывной работы, зависит от продолжительности одного цикла, ч.

$$n_{ц} = \frac{3600}{T'_{ц}},$$

где $T'_{ц}$ – время цикла работы, ч.;

$$T'_{ц} = \sum_{i=1}^{n_n} t_{on},$$

где t_{on} – время, затрачиваемое на выполнение отдельных операций при погрузке, ч.;

n_n – число подъемов корма грейферным устройством.

Время, затрачиваемое на раздачу кормов животным можно определить по формуле:

$$t_{разд} = \frac{n_{ж} \cdot L_{разд}}{V_{разд}}, \quad (8)$$

где $n_{ж}$ – количество животных, обслуживаемых за один цикл, шт.;

$L_{разд}$ – длина фронта раздачи кормов, км;

$V_{разд}$ – скорость движения агрегата при раздаче кормов, км/ч.

Заключение

Применение современных мобильных измельчителей-смесителей – раздатчиков кормов позволяет обслуживать до 1000 голов КРС за смену. Такие машины обеспечивают самозагрузку при помощи фрезерного устройства, измельчение и перемешивание компонентов корма с последующей раздачей в кормушки или на кормовой стол, что позволяет готовить кормовую смесь в процессе транспортировки ее составляющих к кормовому столу животных.

Для приготовления кормовой смеси мобильными машинами промышленностью выпускаются раздатчики с горизонтальным и вертикальным расположением шнеков.

При определении числа раздатчиков для обеспечения непрерывного технологического процесса кормления КРС необходимо учитывать производи-

тельность погрузочного устройства (7), поголовье животных в животноводческом помещении и длину фронта кормления каждого из них.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумовский, Н.П. Рациональные приемы и правила механизированного кормления крупнорогатого скота / Н.П. Разумовский [Электронный ресурс].

– 2018. – Режим доступа: www.bobruiskagromach.com. – Дата доступа: 11.04.2018.

2. Кормораздатчик с горизонтальным расположением шнеков [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: www.hozain.com. – Дата доступа: 12.03.2018

3. Китун, А.В. Машины и оборудование в животноводстве: учеб. пос. / А. В. Китун, В. И. Передня, Н. Н. Романюк. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 382 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 29.05.2028

УДК 633.11

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФАКТИЧЕСКОЙ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ ОТ СРОКОВ ПОСЕВА И УБОРКИ

А.Н. Леонов,

профессор каф. моделирования и проектирования БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Цинчжэнь Ли,

соискатель БГАТУ (Китай)

В статье разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать величину урожайности в зависимости от сроков проведения агроопераций. С помощью полученной модели решены две оптимизационные задачи, цель которых – снижение уровня удельных затрат.

Ключевые слова: моделирование, урожайность зерновых, срок агрооперации, уровень удельных затрат.

The mathematical model is developed in the article, which allows predicting the yield value depending on the duration of the agro-operations. With the help of the obtained model, two typical tasks have been solved, the purpose of which is to reduce the level of unit costs for grain production.

Key words: modeling, grain yield, term of agro-operation, level of unit costs.

Введение

Производство зерна является сложной системой, так как ее функционирование характеризуется конфликтующими между собой параметрами оптимизации. Поэтому любое простое решение, получаемое однокритериальной оптимизацией с целью повышения эффективности ее функционирования, является неоптимальным [1]. В этом случае многофакторное моделирование (МФМ), дополненное многокритериальной оптимизацией (МКО), является эффективным инструментом изучения сложных систем. Первый этап этой методологии – МФМ зависимости параметров оптимизации от управляющих факторов, например, уровня удельных затрат γ , урожайности U и производительности труда W от первого дня проведения агрооперации t_1 и ее продолжительности Δt . Второй этап – нахождение приемлемого компромисса между конфликтующими параметрами методом МКО. В качестве целевой функции используется один из параметров оптимизации, например, уровень удельных затрат $\gamma \rightarrow \min$, а на другие накладываются функциональные ограничения, продиктованные рынком, например, урожайность $U \geq U_0$, а производительность труда $W \geq W_0$.

Известно, что сроки выполнения наиболее трудоемких и важных агроопераций, таких, как предпосевная вспашка и уборка, определяют и производственные затраты, и фактическую урожайность зерновых, оказывая существенное влияние на параметры оптимизации – γ , U и W .

В научно-технической литературе [2, 3] предложено аналитическое выражение, отражающее зависимость фактической урожайности $U(t)$ от времени проведения агрооперации t (рис.1а):

$$U(t) = U_{\max} + Bt + At^2, \quad (1)$$

где t – время, исчисляемое от оптимального момента, дн;

$U(t)$ – фактическая урожайность, т/га;

$U_{\max}$ – ожидаемая урожайность при $t = 0$, т/га;

A, B – эмпирические константы, т/га/дн², т/га/дн.

Предложив $U(t)$ в виде полинома 2-й степени, авторы, тем не менее, не использовали его. В целях упрощения расчетов была предложена модель $U(t)$ в виде линейной функции, предполагая ее адекватность в течение 20 дней (рис. 1б):

$$U(t) = \begin{cases} U_{\max}, & -\tau \leq t \leq 0, \\ U_{\max}(1 - K_{\Pi}t), & t > 0, \end{cases} \quad (2)$$

где τ – время оптимальной продолжительности агрооперации, дн;

K_{Π} – эмпирическая константа, 1/дн.

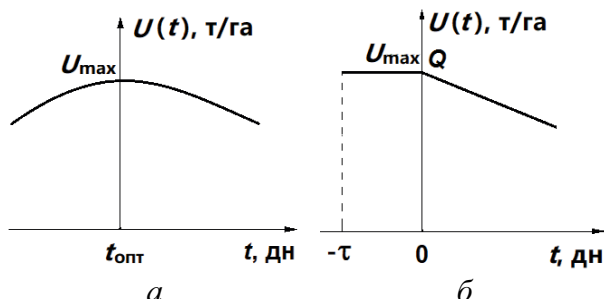


Рис. 1. Зависимость фактической урожайности от времени выполнения агрооперации [2, 3]

Не касаясь концептуальных недостатков модели, графически представленной на рис. 1б, отметим, что односторонняя модель противоречит экспериментальным данным, так как известно, что агрооперации проводятся, как до, так и после оптимального срока [12-14].

Модель, лишенная указанного выше недостатка, предложена в работе [5] (рис. 2):

$$U(t) = \begin{cases} U_{\max}(1 + K_{\Pi}t), & t < 0, \\ U_{\max}, & 0 \leq t \leq \tau, \\ U_{\max}(1 - K_{\Pi}(t - \tau)), & t > \tau. \end{cases} \quad (3)$$

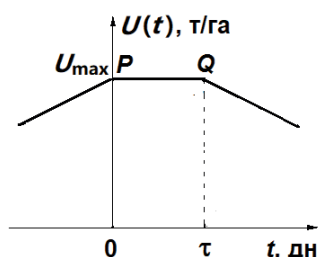


Рис. 2. Зависимость фактической урожайности от времени выполнения агрооперации [5]

Однако обе модели, описываемые уравнениями (2) и (3), содержат в себе 4 концептуальных недостатка:

1) трудно представить себе период времени τ при котором урожайность, определяемая фотосинтезом и осыпанием зерна, остается постоянной;

2) уравнения (2) и (3) не являются аналитическими функциями, так как в точках P и Q первая производная не является непрерывной функцией. Науке неизвестны причины, по которым в точках P и Q скачкообразно меняется характер изменения массы созревающего зерна;

3) линейный характер изменения урожайности от времени (до точки P и после точки Q) не согласуется с экспериментальными данными [8-12]. «Каким образом люди пришли к убеждению, что в окружающем мире преобладают линейные зависимости? Нет ничего более ошибочного» [4];

4) данная модель не отражает известное явление – асимметричность фактической урожайности при уборке зерновых раньше или позже оптимального срока [6, 8].

В защиту линейной модели авторы источников [2, 3] приводят немаловажный аргумент – простоту модели. Однако, благодаря широкому внедрению методов компьютерной математики, технические трудности, возникающие при решении задач такого класса, полностью устранены, и поэтому ссылка на простоту модели в ущерб ее точности является неубедительным аргументом.

Отсутствие моделей, адекватно отражающих зависимость фактической урожайности от срока проведения агроопераций, затрудняет совершенствование производства зерна. Поэтому проведение исследований, направленных на моделирование упомянутых выше закономерностей, является актуальной научной и прикладной задачей. Подход, основанный на синтезирующей роли компьютерной математики, позволяет получать новые закономерности и количественно обосновывать новые технические решения при производстве зерна.

Цель настоящей работы – математическое моделирование и оптимизация зависимости фактической урожайности зерна от срока проведения агроопераций.

Основная часть

Математическое моделирование фактической урожайности целесообразно начать с обработки экспериментальных данных, отражающих зависимость урожайности зерновых от календарного срока уборки. При этом следует учесть, что фактическая урожайность определяется двумя конфликтующими процессами:

1) созревание зерна в результате фотосинтеза биологических молекул в листьях и транспортировка их в зародыш;

2) пересыхание «пуповины», соединяющей зерно со стеблем, в результате чего происходит осыпание зерна.

Оптимальный срок уборки озимой пшеницы, например, в среднем Китае ≈ 1 июня. Приблизительность такой информации не позволяет определять срок уборки с требуемой точностью, поэтому на практике срок уборки определяют по влажности зерна, оптимальное значение которой должно быть $(21 \pm 2) \%$ [7]. Исследования целесообразно проводить за период времени, в котором влажность зерна изменяется от 35 до 15 %. Для получения унифицированных данных, фактическая урожайность собранного зерна пересчитывается на влажность – 14 % (ГОСТ 13586.5–93). Сбор первичной информации о готовности зерновых к уборке проводили по методике [12]: первый опыт проводился при влажности зерна 35 % (зерно еще не созрело), последний – при влажности зерна 15 % (интенсивное осыпание зерна).

Детерминированное моделирование процесса созревания и осыпания зерна, с учетом биологических закономерностей процесса фотосинтеза в непредсказуемых погодных условиях (количество солнечных

дней, средняя температура, количество осадков в вегетационный период, химический состав и структура почвы), в настоящее время не представляется возможным. Поэтому моделирование урожайности зерновых – объект стохастического моделирования.

Для математического моделирования фактической урожайности $U(T)$ воспользуемся алгебраическим полиномом 3-й степени (рис. 3):

$$U(T) = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 \quad (4)$$

$$T \in [T_{\max}, T_{\min}] ,$$

где T – время уборки, исчисляемое от 1-го дня эксперимента, дн;

a_0, a_1, a_2, a_3 – эмпирические константы, т/га, т/га/дн, т/га/дн², т/га/дн³.

При выборе степени полинома математической модели авторы руководствовались следующими соображениями: модель должна быть достаточно «простой» (2-й порядок полинома отражает процессы фотосинтеза и осыпание зерна) и, вместе с тем, достаточно «полной» (3-й порядок полинома отражает асимметричность сроков уборки) [8, 9]. Дальнейшее увеличение степени алгебраического полинома нецелесообразно из-за появления ложных откликов.

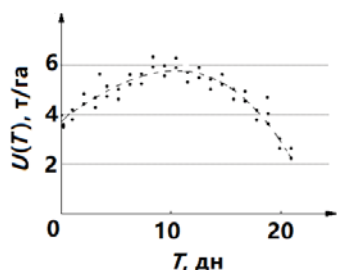


Рис. 3. Зависимости фактической урожайности зерновых от времени уборки

Для построения уравнения регрессии 3-й степени по экспериментальным данным (рис. 3) воспользуемся регрессионным анализом, изложенным в источнике [10]. Для устранения негативных моментов, связанных с различной размерностью и масштабом натурального фактора, вводится операция нормирования фактора T :

$$X = \frac{T - T_0}{\Delta T} , \quad (5)$$

где $T_0 = (T_{\max} + T_{\min})/2$; $\Delta T = (T_{\max} - T_{\min})/2$.

Стохастическая модель фактической урожайности зерновых $U(X)$ после операции нормирования фактора в общем случае имеет вид:

$$U(X) = b_0X_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 , \quad (6)$$

где X_0 – фиктивный фактор, значения которого $X_{0j} = +1$; b_0, b_1, b_2, b_3 – эмпирические константы, т/га.

Для построения математической модели будем использовать, хорошо зарекомендовавший на практике, равномерный симметричный план (РСП), уровни факторов T_j и X_j которого задаются следующим образом [10]:

$$T_j = T_{\min} + \frac{j-1}{N-1}(T_{\max} - T_{\min}) \text{ или}$$

$$X_j = -1 + \frac{2(j-1)}{N-1}, \quad j = 1, \dots, N . \quad (7)$$

Для расчета регрессионных коэффициентов уравнения (6) по экспериментальным данным, используется регрессионный анализ [10]. Расчеты значительно упрощаются, если факторы X_0, X, X^2, X^3 ортогональны, математически выражаемые следующим образом [10]:

$$\sum_{j=1}^N X_j^l X_j^m = 0, \text{ где } 0 \leq l < m = 1, \dots, k . \quad (8)$$

Система факторов $X_0, X, (X^2 - \lambda_{20}), (X^3 - \lambda_{31}X)$ для РСП является взаимно ортогональной при следующих ортогонализирующих коэффициентах [11]:

$$\lambda_{20} = \overline{X^2}, \quad \lambda_{31} = \overline{X^4} / \overline{X^2} . \quad (9)$$

Поэтому уравнение регрессии 3-й степени будем искать в следующем виде:

$$U(X) = b_0X_0 + b_1X + b_2(X^2 - \lambda_{20}) + b_3(X^3 - \lambda_{31}X) . \quad (10)$$

Для построения математической модели (уравнение (10)) создается матрица планирования, включающая в себя столбцы ортогональных факторов $X_0, X, (X^2 - \lambda_{20}), (X^3 - \lambda_{31}X)$ и экспериментальные данные для N опытов с числом дублей n в каждом опыте. Предварительная обработка экспериментальных данных включает в себя расчет следующих параметров [10]:

$$\overline{U_j} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{ji}}{n}; \quad S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (U_{ji} - \overline{U_j})^2}{n-1};$$

$$G_3 = \frac{\max_j S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2} < G_{n-1; N; 0,95}; \quad S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N};$$

$$f_{\text{воспр}} = N(n-1) , \quad (11)$$

где $G_3, G_{n-1; N; 0,95}$ – экспериментальное и критическое значения критерия Кохрена [10].

Коэффициенты уравнения при ортогональных факторах рассчитываются по формулам [10]:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N X_{0j} \overline{U_j}}{\sum_{j=1}^N X_{0j}^2}, \quad b_1 = \frac{\sum_{j=1}^N X_{1j} \overline{U_j}}{\sum_{j=1}^N X_{1j}^2},$$

$$b_2 = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j^2 - \lambda_{20}) \overline{U_j}}{\sum_{j=1}^N (X_j^2 - \lambda_{20})^2}, \quad b_3 = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j^3 - \lambda_{31}X_j) \overline{U_j}}{\sum_{j=1}^N (X_j^3 - \lambda_{31}X_j)^2} . \quad (12)$$

Абсолютная погрешность регрессионных коэффициентов равна

$$\Delta b_k = t_{N(n-1), p} \sqrt{S^2(b_k)}, k = 0, 1, 2, 3, \quad (13)$$

где $t_{N(n-1)}$ – критическое значение критерия Стьюдента [10].

$$S^2(b_0) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^N X_{0j}^2}, S^2(b_1) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^N X_{1j}^2},$$

$$S^2(b_2) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^N (X_j^2 - \lambda_{20})^2},$$

$$S^2(b_3) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^N (X_j^3 - \lambda_{31} X_j)^2}, \quad (14)$$

где $S^2(b_k)$ – дисперсии значимости коэффициентов уравнения регрессии, $k = 0, 1, 2, 3$.

Рассчитанный регрессионный коэффициент значим, если

$$\Delta b_k < |b_k|, k = 0, 1, 2, 3, \quad (15)$$

в противном случае он удаляется из уравнения регрессии.

Адекватность уравнения регрессии (10) проверяют по критерию Фишера [10]:

$$F_9 = \frac{\max(S_{\text{воспр}}^2; S_{\text{ад}}^2)}{\min(S_{\text{воспр}}^2; S_{\text{ад}}^2)} < F_{f_{\text{числ}}; f_{\text{знам}}; 0,95}, \quad (16)$$

где F_9 , $F_{f_{\text{числ}}}$, $f_{\text{знам}}$, 0,95 – экспериментальное и критическое значения критерия Фишера [10].

Дисперсия адекватности $S_{\text{ад}}^2$ и число ее степеней свободы $f_{\text{воспр}}$ равны:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{n \sum_{j=1}^N (\bar{U}_j - U_j^p)^2}{f_{\text{ад}}}, f_{\text{ад}} = N - B, \quad (17)$$

где U_j^p – рассчитанное значение параметра оптимизации по уравнению (10), т/г.

Если полученное уравнение регрессии (10), включающее только значимые коэффициенты, адекватно, то его можно использовать для расчета оптимального значения фактора $X_{\text{опт}}$, максимального значения параметра оптимизации U_{max} и его абсолютной погрешности ΔU_{max} .

Необходимое и достаточное условие максимума $U(X)$ имеет следующий вид:

$$\begin{cases} U'(X_{\text{опт}}) = b_1 + 2b_2 X_{\text{опт}} + 3b_3 X_{\text{опт}}^2 - \lambda_{31} b_3 = 0, \\ U''(X_{\text{опт}}) = 2b_2 + 6b_3 X_{\text{опт}} < 0. \end{cases} \quad (18)$$

Решение системы (18) дает следующее значение для $X_{\text{опт}}$:

$$X_{\text{опт}} = \frac{-b_2 - \sqrt{b_2^2 - 3(b_1 - \lambda_{31} b_3) b_3}}{3b_3}. \quad (19)$$

Максимальное значение параметра оптимизации U_{max} рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{max}} = b_0 + b_1 X_{\text{опт}} + b_2 (X_{\text{опт}}^2 - \lambda_{20}) + b_3 (X_{\text{опт}}^3 - \lambda_{31} X_{\text{опт}}). \quad (20)$$

Абсолютная погрешность параметра оптимизации рассчитывается по формуле (10)

$$\Delta U_{\text{max}} = t_{N(n-1); 0,95} \sqrt{S^2(b_0) + X_{\text{опт}}^2 S^2(b_1) + (X_{\text{опт}}^2 - \lambda_{20})^2 S^2(b_2) + (X_{\text{опт}}^3 - \lambda_{31} X_{\text{опт}})^2 S^2(b_3)}. \quad (21)$$

Подставляя нормализованное значение параметра X (уравнение (5)) в уравнение (10), получим выражение для $U(T)$ (уравнение (4)), в котором коэффициенты a_i равны:

$$\begin{cases} a_0 = b_0 + b_1 \left(\frac{T_0}{\Delta T} \right) + b_2 \left(\frac{T_0}{\Delta T} \right)^2 - b_2 \lambda_{20} - b_3 \left(\frac{T_0}{\Delta T} \right)^3 + b_3 \lambda_{31} \left(\frac{T_0}{\Delta T} \right), \\ a_1 = \frac{b_1}{\Delta T} - \frac{2b_2 T_0}{(\Delta T)^2} + \frac{3b_3 T_0^2}{(\Delta T)^3} - \frac{\lambda_{31} b_3}{\Delta T}, \\ a_2 = \frac{b_2}{(\Delta T)^2} - \frac{3b_3 T_0}{(\Delta T)^3}, a_3 = \frac{b_3}{(\Delta T)^3}. \end{cases} \quad (22)$$

Рассчитаем $U_{\text{max}}(T)$ из уравнения (4). Необходимое и достаточное условие для $U_{\text{max}}(T)$:

$$\begin{cases} U'(T) = a_1 + 2a_2 T_{\text{опт}} + 3a_3 T_{\text{опт}}^2 = 0, \\ U''(T) = 2a_2 + 6a_3 T_{\text{опт}} < 0. \end{cases} \quad (23)$$

Решив систему (23), получим значение для оптимального момента времени $T_{\text{опт}}$

$$T_{\text{опт}} = \frac{-a_2 - \sqrt{a_2^2 - 3a_1 a_3}}{3a_3}. \quad (24)$$

Значение ожидаемой урожайности U_{max} найдем из уравнения (4)

$$\begin{aligned} U_{\text{max}} &= a_0 + a_1 T_{\text{опт}} + a_2 T_{\text{опт}}^2 + a_3 T_{\text{опт}}^3 = \\ &= a_0 + \frac{2a_2^3 - 9a_1 a_2 a_3 + 2\sqrt{(a_2^2 - 3a_1 a_3)^3}}{27a_3^2}. \end{aligned} \quad (25)$$

Для симметричного случая ($a_3 = 0$) уравнение (4) имеет следующий вид:

$$U(T) = a_0 + a_1 T + a_2 T^2. \quad (26)$$

Из уравнения (26) рассчитаем $U_{\max}(T)$. Необходимое и достаточное условие для $U_{\max}(T)$:

$$\begin{cases} U'(T_{\text{опт}}) = a_1 + T_{\text{опт}} 2a_2 = 0, \\ U''(T_{\text{опт}}) = 2a_2 < 0 \end{cases} \quad (27)$$

Решение системы (27) дает следующее значение для оптимального момента времени:

$$T_{\text{опт}} = -a_1 / 2a_2. \quad (28)$$

Подставляя $T_{\text{опт}}$ (уравнение (28)) в уравнение (26), получим значение $U_{\max}$

$$U_{\max} = a_0 + a_1 T_{\text{опт}} + a_2 T_{\text{опт}}^2 = a_0 - a_1^2 / 4a_2. \quad (29)$$

Покажем, что параметры $T_{\text{опт}}$ и $U_{\max}$, полученные по уравнениям (24) и (25), при $a_3 \rightarrow 0$ дают такие же значения, полученные по уравнениям (28) и (29). Уравнения (24) и (25) при $3a_1a_3/a_2^2 \ll 1$, с учетом того, что $|a_2| = -a_2$, так как $a_2 < 0$ и $\sqrt{1-x} \approx 1 - x/2 - x^2/8$, $\sqrt{(1-x)^3} \approx 1 - 3x/2 + 3x^2/8 + x^3/16$ (формула Тейлора) при $|x| \ll 1$ будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} T_{\text{опт}} &= \frac{-a_2 - \sqrt{a_2^2 - 3a_1a_3}}{3a_3} = \\ &= \frac{-a_2 + a_2\sqrt{1 - 3a_1a_3/a_2^2}}{3a_3} = -\frac{a_1}{2a_2} - \frac{3a_1^2a_3}{8a_2^3}, \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} U_{\max} &= a_0 + \frac{2a_2^3 - 9a_1a_2a_3 + 2\sqrt{(a_2^2 - 3a_1a_3)^3}}{27a_3^2} = \\ &= a_0 - \frac{a_1^2}{4a_2} - \frac{a_1^3a_3}{8a_2^3}. \end{aligned} \quad (31)$$

При $a_3 \rightarrow 0$ уравнения (30), (31) тождественно переходят в уравнения (28), (29). Такое совпадение косвенно доказывает справедливость уравнений (30), (31) и раскрывает физический смысл коэффициента a_3 .

Перепишем уравнение (4) в новой системе координат $0 - t$, где $T = t + T_{\text{опт}}$, t – время проведения некоторой агрооперации сверх оптимального момента

$$U(t) = a_0 + a_1(t + T_{\text{опт}}) + a_2(t + T_{\text{опт}})^2 + a_3(t + T_{\text{опт}})^3 = c_0 + c_1t + c_2t^2 + c_3t^3, \quad (32)$$

где $c_0 = U_{\max}$, т/га;

$c_1 = 0$, т/га/дн.;

$c_2 = -\sqrt{a_2^2 - 3a_1a_3} < 0$, т/га/дн.²;

$c_3 = a_3$, т/га/дн.³;

$t \in [t_{\min}, t_{\max}]$,

$t_{\min} = T_{\min} - T_{\text{опт}}$, $t_{\max} = T_{\max} - T_{\text{опт}}$.

Поскольку урожайность конкретной зерновой культуры $U_{\max}$ в значительной степени зависит от природно-климатических условий, то ее прогнозирование для конкретного вегетативного периода вызывает затруднения. Поэтому при дальнейших исследованиях вместо фактической урожайности $U(t)$ будем использовать безразмерный параметр – уровень потери урожайности $\mu(t)$, характеризующий интеллект производителя, так как он определяется в основном сроками проведения посевной и уборочной кампаний. Уровень потери урожайности $\mu(t)$ равен

$$\mu(t) = (U_{\max} - U(t)) / U_{\max}. \quad (33)$$

Из уравнения (33) следует, что прогнозирование уровня потери урожайности $\mu(t)$ на практике обеспечивает прогнозирование фактической урожайности зерновых $U(t)$.

Подставив уравнение (32) в уравнение (33), получим

$$\mu(t) = K_2 t^2 + K_3 t^3, \quad t \in [t_{\min}, t_{\max}], \quad (34)$$

где $K_2 = -c_2/U_{\max}$, 1/дн.²; и $K_3 = -c_3/U_{\max}$, 1/дн.³.

Так как $c_2 < 0$ (уравнение (32)), то $K_2 > 0$ всегда. В отличие от коэффициента K_2 , коэффициент K_3 может быть отрицательным, положительным и равным нулю. Если $K_3 > 0$ (рис. 4а), то уровень потери урожайности при ранней уборке меньше, чем при поздней («ранний +»). Такой случай имеет место, например, при уборке озимой пшеницы [13]. Если $K_3 < 0$ (рис. 4б), то уровень потери урожайности при поздней уборке меньше, чем при ранней («поздний +»). Этот случай имеет место при уборке кукурузы [14]. И, наконец, если $K_3 = 0$ (рис. 4в), то уровень потери урожайности при ранней и поздней уборке одинаковый («симметричный +»). Этот случай имеет место при севе озимой пшеницы [12].

Фактическая урожайность или уровень потери урожайности, описываемые уравнениями (32), (34), являются дифференциальными характеристиками, так как позволяют определить исследуемые параметры только в конкретный момент времени. В отличие от них, величина собранного урожая $V(t_1, \Delta t)$ является интегральной характеристикой, и зависит не только от уровня потери урожайности в конкретный момент времени t , но и в значительной степени определяется выбором 1-го дня проведения уборки урожая (t_1) и ее продолжительностью (Δt). Однако прогнозирование величины собранного урожая $V(t_1, \Delta t)$, также как и прогнозирование фактической урожайности, на практике вызывает затруднения. В этом случае прогнозирование недобора урожая $M(t_1, \Delta t)$, также как и прогнозирование уровня потери урожайности $\mu(t)$, более предсказуемо, так как определяется интеллектом производителя. Недобор урожая $M(t_1, \Delta t)$ за период времени от t_1 до $t_1 + \Delta t$ описывается следующим уравнением (уравнение (34)):

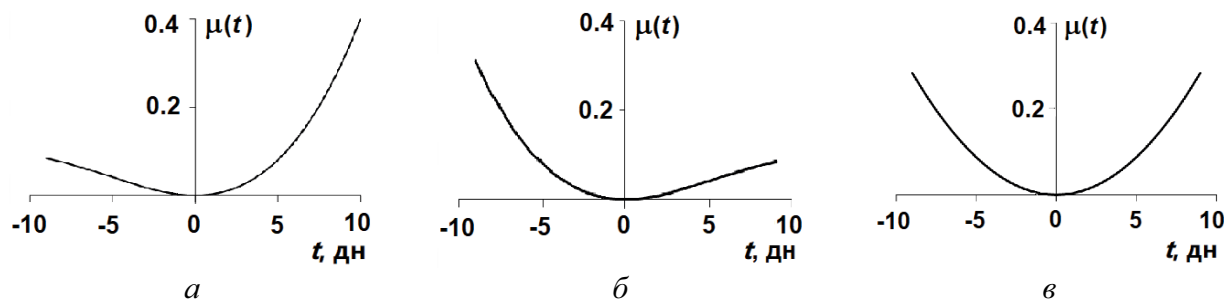


Рис. 4. Зависимость уровня потери урожайности от времени проведения агрооперации сверх оптимального момента (уравнение (35)): а – $K_3 > 0$, «ранний +»; б – $K_3 < 0$, «поздний +»; в – $K_3 = 0$, «симметричный +»

$$M(t_1, \Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_1 + \Delta t} \mu(t) dt = K_2 \left(t_1^2 + t_1 \Delta t + \frac{(\Delta t)^2}{3} \right) + K_3 \left(t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 \Delta t + t_1 (\Delta t)^2 + \frac{(\Delta t)^3}{4} \right). \quad (35)$$

При $\Delta t = 0$ недобор урожая равен $M(t_1) = K_2 t_1^2 + K_3 t_1^3 = \mu(t_1)$ (уравнения (34), (35)), что косвенно подтверждает справедливость уравнения (35).

Величина недобора урожая позволяет рассчитать величину урожая $V(t_1, \Delta t)$, собранного с участка, площадью F , за период времени от t_1 до $t_1 + \Delta t$:

$$V(t_1, \Delta t) = F U_{\max} (1 - M(t_1, \Delta t)), \quad (36)$$

где $V(t_1, \Delta t)$ – величина собранного урожая, т/га;
 F – площадь участка, га.

Полученное уравнение (36) позволяет решить две важные практические задачи:

Задача 1. При заданной продолжительности $\Delta t = \Delta t_0$ рассчитывается $t_{1\text{опт}}$, которое при $\Delta t = \Delta t_0$ обеспечивает $V = V_{\max}$ ($M = M_{\min}$). Продолжительность операции Δt_0 определяется имеющимся комплексом машин и оборудования (КМО).

Решим первую задачу сначала для случая $K_3 = 0$. Тогда уравнения (34) и (35) примут вид:

$$\mu(t) = K_2 t^2, \quad (37)$$

$$M(t_1) = \frac{1}{\Delta t_0} \int_{t_1}^{t_1 + \Delta t_0} K_2 t^2 dt = K_2 t_1^2 + K_2 t_1 \Delta t_0 + \frac{K_2}{3} (\Delta t_0)^2. \quad (38)$$

Необходимое и достаточное условие для расчета $M_{\min}$ имеет следующий вид:

$$\begin{cases} M'(t_{1\text{опт}}) = K_2 (2t_{1\text{опт}} + \Delta t_0) = 0, \\ M''(t_{1\text{опт}}) = 2K_2 > 0. \end{cases} \quad (39)$$

Решение системы (39) с учетом уравнения (38) дает следующие результаты:

$$t_{1\text{опт}}(K_3=0) = -\Delta t_0/2, \quad (40)$$

$$M_{\min}(\Delta t_0)_{(K_3=0)} = K_2 (\Delta t_0)^2 / 12. \quad (41)$$

Решим задачу 1 в общем случае $K_3 \neq 0$. Уравнение (35) примет следующий вид:

$$M(t_1) = K_2 \left(t_1^2 + t_1 \Delta t_0 + \frac{(\Delta t_0)^2}{3} \right) + K_3 \left(t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 \Delta t_0 + t_1 (\Delta t_0)^2 + \frac{(\Delta t_0)^3}{4} \right). \quad (42)$$

Необходимое и достаточное условие для расчета $M_{\min}$ имеет следующий вид:

$$\begin{cases} M'(t_{1\text{опт}}) = K_2 (2t_{1\text{опт}} + \Delta t_0) + K_3 (3t_{1\text{опт}}^2 + 3\Delta t_0 t_{1\text{опт}} + (\Delta t_0)^2) = 0, \\ M''(t_{1\text{опт}}) = 2K_2 + K_3 (6t_{1\text{опт}} + 3\Delta t_0) > 0 \end{cases} \quad (43)$$

Решение системы (43) дает следующий результат: для $t_{1\text{опт}}$

$$t_{1\text{опт}} = -\frac{\Delta t_0}{2} - \frac{K_2}{3K_3} + \frac{K_2}{3K_3} \sqrt{1 - \frac{3K_3^2 (\Delta t_0)^2}{4K_2^2}}. \quad (44)$$

Подставляя уравнение (44) в уравнение (42), получим значение $M_{\min}$ (рис. 5а)

$$M_{\min}(\Delta t_0)_{K_3 \neq 0} = K_2 \left(t_{1\text{опт}}^2 + t_{1\text{опт}} \Delta t_0 + \frac{(\Delta t_0)^2}{3} \right) + K_3 \left(t_{1\text{опт}}^3 + \frac{3}{2} t_{1\text{опт}}^2 \Delta t_0 + t_{1\text{опт}} (\Delta t_0)^2 + \frac{(\Delta t_0)^3}{4} \right). \quad (45)$$

Уменьшение недобора урожая в асимметричном случае ($K_3 \neq 0$) по сравнению с симметричным случаем ($K_3 = 0$) равно (рис. 5б)

$$\Delta(M_{\min}) = M_{\min}(\Delta t_0)_{K_3 \neq 0} - M_{\min}(\Delta t_0)_{K_3 = 0} \quad (46)$$

Проиллюстрируем физический смысл уравнений (44) и (45) для случая, который достаточно часто реализуется на практике, $3K_3^2 (\Delta t_{\max})^2 / 4K_2^2 \ll 1$ (рис 5а).

Эти уравнения примут вид

$$t_{1\text{опт}}(K_3 \neq 0) = -\frac{\Delta t_0}{2} - \frac{K_3 (\Delta t_0)^2}{8K_2}, \quad (47)$$

$$M_{\min}(\Delta t_0)_{K_3 \neq 0} = \frac{K_2 (\Delta t_0)^2}{12} - \frac{K_3^2 (\Delta t_0)^4}{64K_2}. \quad (48)$$

Сравнивая уравнения (40), (41) для ($K_3 = 0$) с уравнениями (47), (48) для ($K_3 \neq 0$), можно сделать

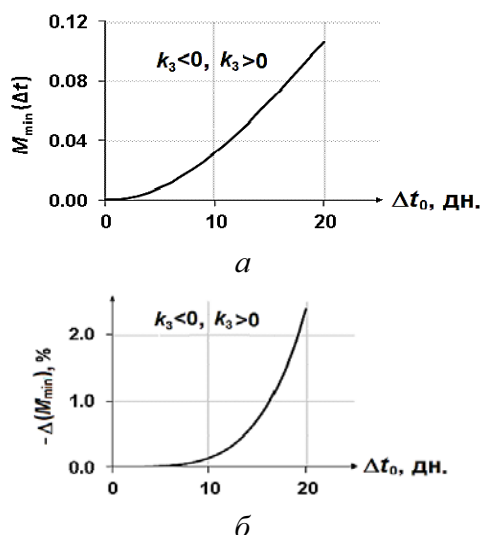


Рис. 5. Зависимости недобора урожая (а) и его уменьшение (б) по сравнению с проведением агрооперации при $K_3 = 0$ в зависимости от продолжительности агрооперации Δt_0 ($K_2 = 0,0013$, $K_3 = \pm 0,00003$)

вывод о том, что для асимметричного случая недобор урожая меньше на величину

$$\Delta(M_{\min}) = -\frac{K_3^2 (\Delta t_0)^4}{64 K_2}, \quad (49)$$

за счет смещения первого дня уборки на величину $\Delta(t_{\text{опт}})$

$$\Delta(t_{\text{опт}}) = -\frac{K_3 (\Delta t_0)^2}{8 K_2}. \quad (50)$$

Отметим, что недобор урожая $M_{\min}$ для $K_3 \neq 0$, например, при $\Delta t_0 = 15$ меньше на 1 % по сравнению со случаем $K_3 = 0$. Для площади участка 2000 га и фактической урожайности 6 т/га величина собранного урожая увеличится на 120 т (рис. 5б).

Задача 2. Если планируется величина урожая $V(t_1, \Delta t) = V_0$ (соответственно, $M(t_1, \Delta t) = M_0$), то рассчитывается $t_{\text{опт}}$, которое обеспечивает $\Delta t = \Delta t_{\text{макс}}$, что позволит уменьшить уровень затрат на приобретение требуемого КМО.

Решим задачу 2 сначала для случая $K_3 = 0$ (симметричный случай). Тогда уравнения (34) и (35) примут следующий вид:

$$\mu(t) = K_2 t^2, \quad (51)$$

$$K_2 t_1^2 + K_2 t_1 \Delta t + \frac{K_2}{3} (\Delta t)^2 = M_0. \quad (52)$$

Необходимое условие для расчета $\Delta t_{\text{макс}}$ заключается в равенстве нулю первой производной $d(\Delta t)/d(t_1) = (\Delta t)' = 0$, которая находится из уравнения (52)

$$K_2 \left(2t_1 + \Delta t + t_1 (\Delta t)' + \frac{2\Delta t (\Delta t)'}{3} \right) = 0. \quad (53)$$

Подставив $(\Delta t)' = 0$ в уравнение (53), получим взаимосвязь $t_{1 \text{ опт}}$ и $\Delta t_{\text{макс}}$:

$$2t_{1 \text{ опт}} + \Delta t_{\text{макс}} = 0. \quad (54)$$

Совместное решение уравнения (52) и (54) дает следующие результаты:

$$\Delta t_{\text{макс}} (K_3 = 0) = 2\sqrt{3M_0/K_2}, \quad t_{1 \text{ опт}} (K_3 = 0) = -\sqrt{3M_0/K_2}. \quad (55)$$

Решим задачу 2 в общем случае $K_3 \neq 0$. Тогда уравнение (34) не меняется, а уравнение (35) примет следующий вид:

$$K_2 \left(t_1^2 + t_1 \Delta t + \frac{(\Delta t)^2}{3} \right) + K_3 \left(t_1^3 + \frac{3}{2} t_1^2 \Delta t + t_1 (\Delta t)^2 + \frac{(\Delta t)^3}{4} \right) = M_0. \quad (56)$$

Необходимое условие для расчета $\Delta t_{\text{макс}}$ заключается в равенстве нулю первой производной $d(\Delta t)/d(t_1) = (\Delta t)' = 0$, которая находится из уравнения (56):

$$K_2 \left(2t_1 + \Delta t + t_1 (\Delta t)' + \frac{2\Delta t (\Delta t)'}{3} \right) + K_3 \left(3t_1^2 + 3t_1 \Delta t + 3 \frac{t_1^2 (\Delta t)'}{2} + (\Delta t)^2 + 2t_1 \Delta t (\Delta t)' + \frac{3}{4} (\Delta t)^2 (\Delta t)' \right) = 0. \quad (57)$$

Подставив $(\Delta t)' = 0$ в уравнение (57), получим взаимосвязь $t_{1 \text{ опт}}$ и $\Delta t_{\text{макс}}$

$$K_2 (2t_{1 \text{ опт}} + \Delta t_{\text{макс}}) + K_3 (3t_{1 \text{ опт}}^2 + 3t_{1 \text{ опт}} \Delta t_{\text{макс}} + (\Delta t_{\text{макс}})^2) = 0. \quad (58)$$

Совместное решение уравнения (56) с учетом уравнения (58) дает следующие результаты:

$$t_{1 \text{ опт}} = -\frac{\Delta t_{\text{макс}}}{2} - \frac{K_2}{3K_3} + \frac{K_2}{3K_3} \sqrt{1 - \frac{3K_3^2 (\Delta t_{\text{макс}})^2}{4K_2^2}}, \quad (59)$$

$$K_2 \left(t_{1 \text{ опт}}^2 + t_{1 \text{ опт}} \Delta t_{\text{макс}} + \frac{(\Delta t_{\text{макс}})^2}{3} \right) + K_3 \left(t_{1 \text{ опт}}^3 + \frac{3}{2} t_{1 \text{ опт}}^2 \Delta t_{\text{макс}} + t_{1 \text{ опт}} (\Delta t_{\text{макс}})^2 + \frac{(\Delta t_{\text{макс}})^3}{4} \right) = M_0. \quad (60)$$

Уравнения (59) и (60) позволяют найти $\Delta t_{\text{макс}} (K_3 \neq 0) (M_0)$ и $t_{1 \text{ опт}} (K_3 \neq 0) (M_0)$, которые были получены численно с помощью компьютерной программы «Поиск решения» в MS Excel. Зависимости $\Delta t_{\text{макс}} (K_3 \neq 0) (M_0)$ и $\Delta(\Delta t_{\text{макс}}) = \Delta t_{\text{макс}} (K_3 \neq 0) - \Delta t_{\text{макс}} (K_3 = 0)$ графически представлены на рис. 6а и 6б.

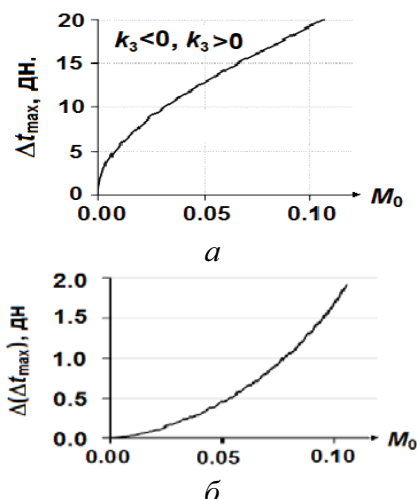


Рис. 6. Изменение продолжительности $\Delta t_{\max}$ и увеличение этой величины по сравнению с симметричным проведением агрооперации в зависимости от M_0 ($K_2 = 0,0013$, $K_3 = \pm 0,00003$)

В связи с тем, что уравнения $\Delta t_{\max(K_3 \neq 0)}(M_0)$ и $t_{\text{опт}(K_3 \neq 0)}(M_0)$ решены численно, проиллюстрируем их физический смысл, используя уравнение (59), при условии: $3K_3^2(\Delta t_{\max})^2 / 4K_2^2 \ll 1$, а также формулу Тейлора $\sqrt{1-x} \approx 1-x/2$ при $|x| \ll 1$

$$t_{\text{опт}} = -\frac{\Delta t_{\max}}{2} - \frac{K_3(\Delta t_{\max})^2}{8K_2}. \quad (61)$$

Подставив уравнение (61) в уравнение (60), с учетом того, что $\Delta t_{\max} > 0$, получим зависимость $\Delta t_{\max}$ от M_0 в явном виде (рис. 6а)

$$\Delta t_{\max(K_3 \neq 0)} = 2\sqrt{3M_0/K_2} + \frac{9K_3^2 M_0 \sqrt{3M_0/K_2}}{4K_2^3}. \quad (62)$$

Подставив уравнение (62) в (61), получим зависимость $t_{\text{опт}(K_3 \neq 0)}$ от M_0 в явном виде

$$t_{\text{опт}(K_3 \neq 0)} = -\sqrt{3M_0/K_2} - \frac{3K_3 M_0}{2K_2^2}. \quad (63)$$

Сравнивая уравнения (55) для ($K_3 = 0$) с уравнениями (62), (63) для ($K_3 \neq 0$), можно сделать вывод о том, что при $K_3 \neq 0$ максимальная продолжительность агрооперации увеличивается, по сравнению с продолжительностью операции при $K_3 = 0$, на величину $\Delta(\Delta t_{\max})$ (рис. 6б)

$$\Delta(\Delta t_{\max}) = \frac{9K_3^2 M_0 \sqrt{12M_0/K_2}}{8K_2^3}, \quad (64)$$

за счет смещения первого дня уборки на величину $\Delta(t_{1 \text{ опт}})$

$$\Delta t_{1 \text{ опт}} = -\frac{3K_3 M_0}{2K_2^2}. \quad (65)$$

Увеличение $\Delta t_{\max}$, например, при $M_0 = 0,1$ составляет 2 дня или 10 % от общей продолжительности агрооперации (рис 6а и 6б), а это означает, что на те же 10 % можно уменьшить затраты на приобретение требуемого КМО.

В заключение статьи проиллюстрируем разработанный метод изучения зависимости фактической урожайности зерновых культур от сроков посева и уборки на конкретном примере для озимой пшеницы в среднем Китае [13] (табл. 1).

Результаты расчета, приведенные в таблице 1, позволяют сделать следующие выводы: оптимальный момент уборки озимой пшеницы в среднем Китае [13] – 4 июня. В этот день урожайность пшеницы имеет максимальное значение ($5,937 \pm 0,043$) т/га. В задаче 1 максимальный урожай озимой пшеницы составил $1,14 \cdot 10^4$ т, (минимальный недобор – 4,3 %), при этом оптимальный срок уборки при $t_{1 \text{ опт}} = -8,6$ дн., $\Delta t_0 = 15$ дн. Видно, что уборка урожая несимметрична по времени (ранний «+»). Начало уборки сдвинуто на 1,1 дн. Если бы режим уборки был симметричным, то при $t_{1 \text{ опт}} = -7,5$ дн., $\Delta t_0 = 15$ дн. максимальный урожай был бы на 37 т меньше (сравни уравнения (41) и (48)). Во второй задаче $\Delta t_{\max} = 12,8$ дн., $t_{1 \text{ опт}} = -7,0$ дн. При симметричном режиме эти величины равны $\Delta t_{\max} = 12,5$ дн., $t_{1 \text{ опт}} = -6,2$ дн. Увеличение продолжительности уборки пшеницы позволяет уменьшить затраты на формирование требуемого КМО на 2,4 %. В обоих случаях необходим сдвиг первого дня начала уборки зерна на более ранний срок.

Заключение

1. Разработана дифференциальная модель (алгебраический полином 3-й степени), позволяющая рассчитать зависимость фактической урожайности: $U(t) = U_{\max} [1 - \mu(t)]$, $\mu(t) = K_2 t^2 + K_3 t^3$. Новизна модели заключается в использовании квадратичного и кубического членов, позволяющих учесть уровень потери урожайности в любой срок проведения агрооперации, а также асимметричность уровня потери урожайности в ранний и поздний момент времени.

2. Разработана интегральная модель $V(t_1, \Delta t) = F U_{\max} (1 - M(t_1, \Delta t))$,

$M(t_1, \Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_1 + \Delta t} \mu(t) dt$, позволяющая рассчитать

фактический урожай зерновых в зависимости от срока проведения агрооперации ($t_1, \Delta t$). Полученная модель позволяет решить две прикладные задачи, связанные с производством зерна, цель которых – уменьшение уровня удельных затрат. Новизна разработанной модели заключается в том, что, рассчитав оптимальный $t_{1 \text{ опт}}$, можно снизить уровень удельных затрат при производстве зерна, либо за счет уменьшения недобора урожая при имеющемся КМО ($\Delta t = \Delta t_0$), либо за счет увеличения продолжительности агрооперации, что равносильно уменьшению затрат на

Таблица 1. Фактическая урожайность $U(T)$ в зависимости от времени уборки озимой пшеницы

Экспериментальные данные и результаты расчетов – уборка озимой пшеницы – «ранний +»				
Дата уборки	j	Время T , дн.	X	Средняя урожай. $\bar{U}_j$, т/га
27 мая	1	0	-1,000	5,14
28 мая	2	1	-0,895	5,30
29 мая	3	2	-0,789	5,41
30 мая	4	3	-0,684	5,54
31 мая	5	4	-0,579	5,68
1 июня	6	5	-0,477	5,72
2 июня	7	6	-0,368	5,84
3 июня	8	7	-0,263	5,90
4 июня	9	8	-0,158	5,95
5 июня	10	9	-0,053	5,94
6 июня	11	10	0,053	5,92
7 июня	12	11	0,158	5,84
8 июня	13	12	0,263	5,70
9 июня	14	13	0,368	5,62
10 июня	15	14	0,474	5,48
11 июня	16	15	0,579	5,29
12 июня	17	16	0,684	5,08
13 июня	18	17	0,789	4,90
14 июня	19	18	0,895	4,31
15 июня	20	19	1,000	3,80

$N = 20; n = 3; T_0 = 9,5 \text{ дн.}; \Delta T = 9,5 \text{ дн.}; F = 2000 \text{ га}; U_{\max} \approx 5,9 \text{ т/га}$
 $\lambda_{20} = 0,3684; \lambda_{31} = 0,6609; \max S_j^2 = 0,0361, \sum S_j^2 = 0,2420$
 $G_9 = 0,149 < G_{2; 20; 0,95} = 0,270$; дисперсии однородны
 $U(X) = b_0 + b_1 X + b_2 (X^2 - \lambda_{20}) + b_3 (X^3 - \lambda_{31} X)$
 $b_0 = 5,418 \pm 0,029; b_1 = -0,466 \pm 0,047; b_2 = -1,40 \pm 0,09;$
 $b_3 = -0,49 \pm 0,17$; коэффициенты значимы
 $S_{\text{воспр}}^2 = 0,01210; f_{\text{воспр}} = 40; S_{\text{ад}}^2 = 0,01256; f_{\text{ад}} = 16$
 $F_9 = 1,038 < F_{16, 40, 0,95} = 1,904$; уравнение адекватно
 $X_{\text{опт}} = 0,0525; T_{\text{опт}} = 9 \text{ дн.}; U_{\max} = (5,937 \pm 0,043) \text{ т/га}$
 $U(t) = U_{\max} (1 - \mu(t)) \text{ т/га}, \mu(t) = K_2 t^2 + K_3 t^3$
 $K_2 = (2,47 \pm 0,16) \cdot 10^{-3} \text{ дн.}^{-2} \quad K_3 = (9,9 \pm 3,3) \cdot 10^{-5} \text{ дн.}^{-3}$

Задача 1	Задача 2
Дано: $\Delta t_0 = 15 \text{ дн.}$ $t_{1\text{опт}} = -8,6 \text{ дн.}$ $M_{\min} = 4,3 \%$ $V_{\max} = 1,14 \cdot 10^4 \text{ т}$ $\Delta V_{\max} = +37 \text{ т}$	Дано: $M_0 = 3,2 \%$ $V_{\max} = 1,15 \cdot 10^4 \text{ т}$ $t_{1\text{опт}} = -7,0 \text{ дн.}$ $\Delta t_{\max} = 12,8 \text{ дн.}$ $\Delta(\Delta t_{\max})/\Delta t_{\max} = 2,4 \%$

формирование КМО при планируемой величине урожая $M = M_0$.

3. Обработка экспериментальных данных по зависимости урожайности озимой пшеницы от времени для среднего Китая показала, что уборка озимой пшеницы исследуемого сорта представляет собой агрооперацию «ранний +», и поэтому первый день уборки следует сдвигать на более ранний срок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов, А.Н. Моделирование и многокритериальная оптимизация процессов сельскохозяйственного производства / А.Н. Леонов, В.О. Китиков, Ли Цинчжэнь // Передовые технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства: матер. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30–31 марта 2017 г. – Минск: БГАТУ, 2017. – С. 53–68.
2. Киртбая, Ю.К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка / Ю.К. Киртбая. – 2-е изд. – М.: Колос, 1982. – С. 18.
3. Саклаков, В.Д. Техничко-экономическое обоснование выбора средств механизации / В.Д. Саклаков, М.П. Сергеев. – М.: Колос, 1973. – С. 93.
4. Хорафас, Д.Н. Системы и моделирование / Д.Н. Хорафас. – М.: Мир, 1967. – С. 86.
5. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И.Н. Шило, В.Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – С. 71.

6. Кадыров, М.А. О земледелии, селекции и рациональном хозяйствовании / М.А. Кадыров. – Минск: Несси, 2001. – 163 с.

7. Рекомендации по подготовке и рациональному использованию техники при уборке урожая 2017 года [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: URL: <http://belagromech.by/publications/recom2017-uborka.pdf>. – Дата доступа: 25.03.2018.

8. Уборка озимой пшеницы [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: URL: <https://www.kazedu.kz/referat/182172/16>. – Дата доступа: 25.03.2018.

9. Сортовая агротехника озимой пшеницы в Лесостепи [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: URL: <http://visacon.ru/sortovaya-agrotehnika/2841-sortovaya-agrotehnika-ozimoy-pshenicy-v-lesostepi.html>. – Дата доступа: 28.03.2018.

10. Леонов, А.Н. Основы научных исследований и моделирования: учеб.-методич. комплекс / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.

11. Сухопаров, С.Ю. Вывод рекуррентного соотношения ортогональных многочленов из процесса ортогонализации Грама-Шмидта, а также схема применения полученного рекуррентного соотношения / С.Ю. Сухопаров // arxiv:submit/1109657 [cs.NA]. – 8 Nov, 2014.

12. Сев озимой пшеницы на Украине [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://visacon.ru/sortovaya-agrotehnika/2841-sortovaya->

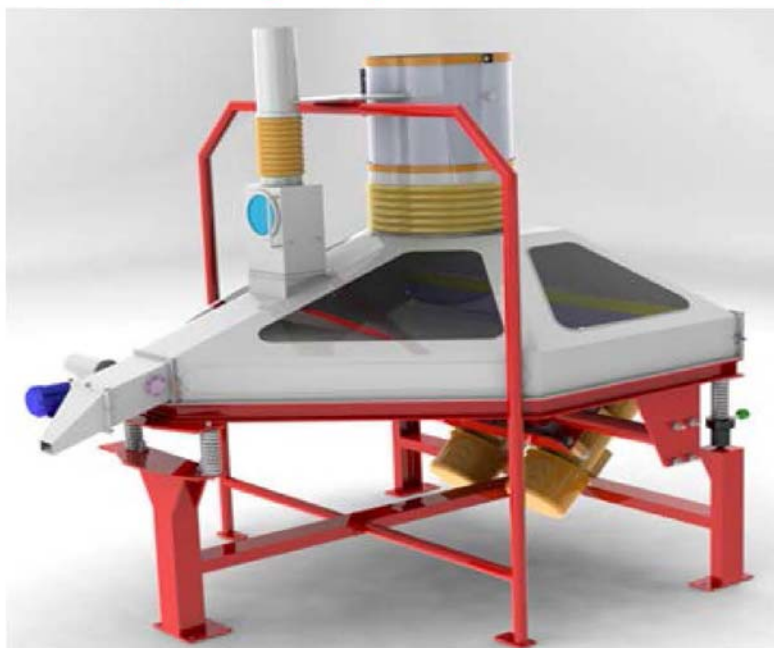
agrotehnika-ozimoy-pshenicy-v-lesostepi.html – Дата доступа: 25.03.2018.

13. Wu, Zhong-liang. Effects of Harvesting Period on the Yield of Wheat / Zhong-liang Wu, Wei-qing Shen, Yin-lou Jiang // Journal of Anhui Agri. Sci. – 2016. – №3. – P. 46–47.

14/ Li, Yiling. Effects of Harvesting Period on the Yield of Corn / Yiling Li // Modern agricultural science and technology. – 2017. – № 6. – P. 4.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.05.2018

Сепаратор вибропневматический



Предназначен для очистки зерновой массы от трудноотделимых примесей на зерноперерабатывающих предприятиях, элеваторах, комбикормовых заводах. Также может быть использован для подготовки семенного материала с целью предотвращения заражения спорыньей зерна будущего урожая на семенных станциях и в фермерских хозяйствах.

Применение в технологических линиях очистки зерна разработанного сепаратора позволит повысить эффективность очистки зерна от трудноотделимых примесей за счет системы периодического вывода фракции примесей, а также комплекта отражающих и отбойных пластин, снижающих потери годного зерна с отходами.

Основные технические данные

Производительность, т/ч до	6
Коэффициент очистки, % до	95
Площадь ситовой поверхности, м ²	3,16
Диапазон регулировки угла наклона деки, град	2-8
Амплитуда колебаний, мм	2,5-3
Расход воздуха, м ³ /ч	10000
Установленная мощность привода, кВт	2×0,18
Диапазон регулировки частоты вращения электровибраторов, мин ⁻¹	800-1650
Разрежение в рабочей камере, Па	500-700
Габаритные размеры, мм (д ш в)	2240 2100 1960
Масса сепаратора, кг, не более	510

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Н.Г. Королевич,

зав. каф. экономики и организации предприятий АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент

Г.И. Янукович,

профессор каф. электроснабжения БГАТУ, канд. техн. наук, профессор

В статье приведена методика определения ущерба сельскохозяйственных потребителей от использования некачественной электроэнергии.

Ключевые слова: *качество энергоснабжения, энергоэффективность, электрические сети.*

In the article the technique of definition of damage of agricultural consumers from use of the poor-quality electric power is presented.

Key words: *quality of power supply, energy efficiency, electrical networks.*

Введение

Ущерб потребителей электроэнергии в значительной степени зависит от качества электроснабжения, которое представляет собой интегральную характеристику, включающую в себя показатели качества электрической энергии, надежности электроснабжения и энергоэффективности.

Качество электроэнергии в определенной точке сети характеризуется величиной и длительностью отклонений напряжений в этой точке. При этом необходимо также учитывать мощность присоединенных приемников электроэнергии.

В оценке технических показателей существует экономический смысл. Действительно, в процессе работы, например электродвигателя, при пониженном напряжении возникают повышенные потери электроэнергии в обмотках. Естественно, чем большее количество двигателей работает в таких условиях, и чем больше времени будут существовать отклонения напряжения, тем больше от этого будет размер экономического ущерба.

В электрической сети существует большое количество различных электроприемников. Все они чувствительны к отклонениям напряжения. На ущерб влияет не только отклонение напряжения, но и другие показатели качества напряжения. Наиболее существенными показателями для сельскохозяйственных потребителей являются несимметрия и несинусоидальность напряжения.

Различают прямую и дополнительную составляющие ущерба. Прямая составляющая представляет собой сумму ущербов от сокращения срока службы электроприемников и увеличения потерь электроэнергии в этих электроприемниках и электрических сетях. Дополнительная составляющая ущерба включает в себя ущерб от снижения продуктивности жи-

вотных, увеличения расхода кормов, возрастания заболеваемости и падежа молодняка.

К сожалению, нет достаточно обоснованной методики определения ущерба для многих потребителей при изменении показателей в относительно узком диапазоне.

Анализ работы отдельных видов сельскохозяйственных потребителей показывает, что наибольший ущерб от ухудшения качества напряжения бывает при чисто осветительной нагрузке, наименьший – при двигательной. Другие потребители по величине ущерба занимают промежуточные места.

Не все показатели качества электроэнергии в одинаковой степени влияют на технологические процессы в сельскохозяйственном производстве. Наибольший ущерб вызывают такие показатели, как отклонение, несимметрия и несинусоидальность напряжения. Рассмотрим влияние некоторых показателей качества напряжения на формирование ущерба сельскохозяйственных потребителей.

Основная часть

Приведем методику определения основной составляющей ущерба от отклонения напряжения для различных сельскохозяйственных потребителей.

Лампы накаливания. Режим работы ламп накаливания достаточно полно характеризуется такими показателями, как потребляемая мощность, световой поток, световая отдача и срок службы. При отклонении напряжения от номинального, изменяются все эти показатели. Однако в условиях сельского хозяйства наиболее существенное влияние на формирование ущерба оказывают изменения мощности и срока службы.

Потребляемая лампами накаливания мощность и соответственно энергия при увеличении напряжения выше номинального возрастают, при уменьшении

напряжения – снижаются и имеют прямо пропорциональную зависимость.

Изменение потребляемой энергии при изменении напряжения равно:

$$\Delta W = W - W_n, \quad (1)$$

где W – потребляемая энергия при напряжении, отличном от номинального, кВт · ч;

W_n – потребляемая лампами энергия при номинальном напряжении, кВт · ч.

Ущерб от изменения мощности ламп накаливания при изменении напряжения будет равен:

$$Y_{мл} = C_1 \cdot \Delta W, \quad (2)$$

где C_1 – тариф (цена) 1 кВт · ч электроэнергии, руб.

Изменение срока службы лампы накаливания от отклонения напряжения характеризуется отношением срока службы лампы при напряжении, отличном от номинального (T) к сроку службы при номинальном напряжении (T_n). Величина, обратная этому отношению, представляет собой коэффициент, учитывающий изменения затрат на замену вышедших из строя ламп при работе их на напряжении, отличном от номинального, за время работы лампы при номинальном напряжении:

$$k = \frac{T_n}{T}. \quad (3)$$

При отклонении напряжения выше номинального коэффициент $k > 1$, при напряжении сети ниже номинального $k < 1$, при номинальном напряжении $k = 1$.

Ущерб от изменения срока службы ламп накаливания по организации будет равен:

$$Y_{сл} = C_2 \cdot k \cdot n - C_2 \cdot n = C_2 \cdot n(k-1), \quad (4)$$

где C_2 – стоимость одной лампы данной мощности, руб.;

n – количество ламп данной мощности, шт.

Суммарный ущерб основной составляющей ламп накаливания при изменении напряжения:

$$Y_{лн} = Y_{мл} + Y_{сл}. \quad (5)$$

Люминесцентные лампы. Люминесцентные лампы менее чувствительны к отклонениям напряжения.

Перерасход активной энергии, как и для ламп накаливания, определяется по формуле (1). Ущерб от изменения активной мощности люминесцентной лампы определяется по формуле (2).

Перерасход реактивной энергии от отклонения напряжения:

$$\Delta W_p = W_p - W_{np}, \quad (6)$$

где W_p – потребление реактивной энергии при напряжении, отличном от номинального, кВАр · ч;

W_{np} – потребление реактивной энергии при номинальном напряжении, кВАр · ч.

Ущерб от изменения реактивной мощности люминесцентных ламп

$$Y_{рмл} = C_p \cdot \Delta W_p, \quad (7)$$

где C_p – стоимость 1 кВАр · ч реактивной энергии, руб.

Ущерб от изменения срока службы:

$$Y_{слл} = k_1 \sum_{i=1}^n C_{zi} - \sum_{i=1}^n C_{zi} = (k_1 - 1) \sum_{i=1}^n C_{zi}, \quad (8)$$

где C_{zi} – стоимость i -й лампы, руб.;

n – количество ламп, шт.

Основная составляющая ущерба от люминесцентных ламп:

$$Y_{лл} = Y_{амл} + Y_{рмл} + Y_{слл}. \quad (9)$$

При изменении напряжения изменяется и световой поток. Это приводит к соответствующему изменению освещенности и, в конечном счете, влияет на производительность труда и утомляемость человека. Однако зависимость этих показателей от освещенности нельзя выразить в виде однозначных математических выражений.

Вместе с тем, влияние освещенности на рост растений в теплицах оказывает существенное значение. При снижении напряжения ниже номинального, уменьшается освещенность, а это приводит к замедленному росту растений, недоотпуску продукции и, естественно, к ущербу предприятия.

Энергосберегающие и светодиодные лампы. Технические характеристики этих ламп от напряжения не зависят. Наиболее экономичными являются светодиодные лампы. Световая отдача их около 200 лм/Вт, срок службы – 50 000 часов, потребляемая мощность лампы, например СД-9, 8 Вт. Однако в распределительных сетях из-за светодиодных источников света наблюдается значительное искажение формы кривых тока, что во многих случаях превышает пределы, определяемые международными стандартами. Такие источники света, кроме того, приводят к росту тока в нулевом проводе даже при полностью симметричной нагрузке. Это увеличение тока может привести к аварийным ситуациям из-за перегорания нулевого провода [1]. Ущерб определить при такой ситуации весьма сложно, так как он зависит от схемы электрооборудования и вида электроприемников.

Электротепловые процессы. Перерасход активной мощности при изменении напряжения электродвигателей, электрокалориферов, теплоэлектронагревателей характеризуется зависимостью, приведенной в методических рекомендациях по определению ущерба от отклонений напряжения на животноводческих предприятиях [2]. Перерасход энергии и ущерб от изменения срока службы электронагревательных установок определяется по выражению, как для ламп накаливания. Отличаются выражения только коэффициентом, учитывающим изменение затрат на замену вышедших из строя нагревательных установок при отклонении напряжения от номинального.

Электрические двигатели. Отклонение напряжения на зажимах электродвигателя от номинального значения вызывают изменение потребления активной и реактивной мощности, изменение частоты вращения и срока его службы. Соответственно, основной ущерб при отклонениях напряжения состоит из суммы ущерба от четырех вышеперечисленных составляющих.

Основная составляющая ущерба за год от электродвигателей при отклонениях напряжения будет равна:

$$Y_{эд} = \frac{Y_{эд} C_0}{8760} \sum_{i=1}^n P_{и} t_i, \text{ руб/год}, \quad (10)$$

где $Y_{эд} = 455,34V^2 - 1,7V$ – удельная величина основной составляющей ущерба, вызывающая ущерб по всем четырем показателям;

$V = (U - U_n) / U_n$ – отклонение напряжения, %;

$\sum P_{и}$ – общая установленная мощность электродвигателей, кВт;

C_0 – коэффициент перевода цен 1990 года в действующие цены;

t_i – время работы i -го двигателя, ч.

Дополнительный ущерб при работе электродвигателей в сельском хозяйстве может быть обусловлен лишь изменением частоты вращения ротора, которое незначительно и может быть компенсировано увеличением продолжительности работы. К тому же производственные процессы, в которых используются электродвигатели, не влияют непосредственно на организм животных. Поэтому дополнительную составляющую ущерба при отклонениях напряжения для электродвигателей принято считать равной нулю [2].

Установки ультрафиолетового облучения и инфракрасного обогрева. Методика определения ущерба в данных установках идентична методике расчета ущерба в осветительных установках.

Суммарный основной ущерб будет определяться суммой ущербов по каждому отдельному электроприемнику.

К примеру, по рассмотренным выше потребителям он будет равен:

$$Y_{осн} = Y_{лн} + Y_{лл} + Y_{эну} + Y_{эд} + Y_{уфо} + Y_{ико} = \sum_{i=1}^n Y_i. \quad (11)$$

Дополнительная составляющая ущерба от отклонения напряжения каждому i -му технологическому процессу включает в себя три вида потерь или любое их сочетание, обусловленные снижением продуктивности животных или потерями готовой продукции ($Y_{жи}$), повышением потребления кормов ($Y_{ки}$), повышением падежа молодняка ($Y_{оф}$).

$$Y_{ди} = Y_{жи} + Y_{ки} + Y_{оф}. \quad (12)$$

Суммарный дополнительный (технологический) ущерб по предприятию включает дополнительные составляющие ущерба от ламп накаливания, люминесцентных ламп, водонагревателей и электрообогревательных приборов, установок инфракрасного обогрева и от установок ультрафиолетового облучения соответственно.

Определим ущерб от несимметрии напряжений. Несимметрия нагрузок вызывает несимметрию напряжений. Одни однофазные электроприемники могут оказаться под повышенным напряжением, другие – под пониженным. На выводах трехфазных электроприемников появляется несимметричная система напряжений. При несимметричном режиме работы

сети существенно ухудшаются условия работы, как самих электроприемников, так и всех элементов сети. Так, срок службы полностью загруженного асинхронного электродвигателя при несимметрии напряжений, которое составляет 4 %, сокращается в 2 раза. При наличии в сети несимметрии напряжений, по проводам линий электропередачи будут протекать токи обратной и нулевой последовательности. Это приводит к увеличению суммарных токов в отдельных фазах сети и к увеличению потерь активной мощности, что может быть недопустимо с точки зрения нагрева электрооборудования.

Ущерб электроприемников от несимметрии напряжений определить весьма сложно. Однако потери энергии от несимметрии напряжений в электрических сетях определить можно [3].

Так, потери энергии от несимметрии напряжений в электрических сетях можно определить по формуле:

$$\Delta W = (\Delta P_{\tau} + \Delta P_{л}) \tau, \quad (12)$$

где ΔP_{τ} – потери активной мощности от несимметрии напряжений в трансформаторе, кВт;

$\Delta P_{л}$ – потери активной мощности от несимметрии напряжений в линии, кВт.

Потери активной мощности от несимметрии напряжений в трансформаторе определяются следующим образом:

$$\Delta P_{\tau} = 3I_0^2 r_0 + 3I_2^2 r_2, \quad (13)$$

где I_0 , I_2 – токи нулевой и обратной последовательности трансформатора, А;

r_0 , r_2 – активные сопротивления нулевой и обратной последовательности трансформатора, Ом.

Преобразуем данное выражение по закону Ома, а затем, разделив и умножив его на квадрат напряжения прямой последовательности U_1^2 , получим:

$$\Delta P_{\tau} = 3 \frac{U_0^2}{U_1^2} \frac{U_1^2}{Z_0^2} r_0 + 3 \frac{U_2^2}{U_1^2} \frac{U_1^2}{Z_2^2} r_2, \quad (14)$$

где Z_0 , Z_2 – полные сопротивления нулевой и обратной последовательности трансформатора, Ом;

$$\frac{U_0}{U_1} = k_0, \quad \frac{U_2}{U_1} = k_2 \quad \text{– коэффициенты несимметрии}$$

по нулевой и, соответственно, обратной последовательности.

После преобразования, получим выражение для определения мощности в трансформаторе от несимметрии напряжений:

$$\Delta P_{\tau} = 3U_1^2 \left(k_0^2 \frac{r_0}{Z_0^2} + k_2^2 \frac{r_2}{Z_2^2} \right). \quad (15)$$

Потери активной мощности от несимметрии напряжений в линии определяются аналогично, как и для трансформатора:

$$\Delta P_{\tau} = 3U_1^2 \left(k_0^2 \frac{r_{0л}}{Z_{0л}^2} + k_2^2 \frac{r_{2л}}{Z_{2л}^2} \right), \quad (16)$$

где $r_{0л}$, $r_{2л}$ – активные сопротивления нулевой и обратной последовательности линии, Ом;

$Z_{0л}, Z_{2л}$ – полные сопротивления нулевой и обратной последовательности линии, Ом.

Ущерб от несинусоидальности напряжений. Потери активной энергии в электрических сетях от несинусоидальности напряжения

$$\Delta W = \Delta P_{\Gamma} \tau, \quad (17)$$

где ΔP_{Γ} – потери активной мощности от несинусоидальности напряжения в трансформаторе и линии, кВт.

Потери активной мощности от несинусоидальности напряжения в трансформаторе и линии, обусловленные несинусоидальным режимом работы, определяются по формуле:

$$\Delta P_{\Gamma} = \Delta P_{\Gamma.т} + \Delta P_{\Gamma.л}, \quad (18)$$

где $\Delta P_{\Gamma.т}$ – дополнительные потери от высших гармоник в трансформаторе, обусловленные несинусоидальным режимом его работы, кВт;

$\Delta P_{\Gamma.л}$ – дополнительные потери от высших гармоник в линии, обусловленные протеканием токов высших гармоник, кВт.

Суммарные дополнительные потери от высших гармоник в трансформаторе, обусловленные несинусоидальным режимом его работы, определяются по формуле:

$$\Delta P_{\Gamma.т} = \Delta P_{\Gamma.т.х} \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 + 0.607 \frac{\Delta P_{\Gamma.т.к.з}}{u_{\Gamma.т.к.з}^2} \sum_{v=2}^{\infty} \frac{1+0.05v^2}{v\sqrt{v}} U_v^2, \quad (19)$$

где v – порядок высших гармонических составляющих напряжения;

$\Delta P_{\Gamma.т.х}$ – потери холостого хода трансформатора;

$\Delta P_{\Gamma.т.к.з}$ – потери короткого замыкания трансформатора;

U_v – напряжение v гармоники.

Дополнительные потери от высших гармоник в линии, обусловленные протеканием токов высших гармоник можно определить по выражению:

$$\Delta P_{\Gamma.л} = 1,41r \sum_{v=2}^{\infty} \sqrt{v} I_v^2, \quad (20)$$

где I_v – ток v гармоники.

Заключение

Приведена методика определения ущерба в электрических сетях от некачественной энергии. Показано, что ущерб состоит из отклонения напряжения, несимметрии и несинусоидальности напряжений. Приведены выражения, позволяющие определить ущерб, как у потребителей, так и в электрических сетях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боярская, Н.П. Влияние светодиодных источников света на спектр токов и напряжений питающей сети / Н.П. Боярская, В.П. Довгун // Вестник КрасГАУ. – № 3. – 2014. – С. 195-199.
2. Методические рекомендации по определению ущерба от отклонения напряжений на животноводческих предприятиях. – М.: ВИАЭСХ, 1986. – 88 с.
3. Янукович, Г.И. Пути улучшения показателей несимметрии и несинусоидальности напряжения в сельскохозяйственных электроустановках / Г.И. Янукович. – Минск: БГАТУ, 2013. – 216 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 05.06.2018

Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/50 предназначен для гладкой вспашки старопахотных не засоренных камнями почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа. Плуг агрегируется с тракторами класса 2,0 («Беларус 1221»).

Преимущества разработки:

- регулируемая ширина захвата;
- цена на 30-40% ниже зарубежных аналогов.

Производство плугов освоено на ДП «Минотровский ремонтный завод».

Изготовлено 37 плугов.

В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.

Основные технические данные

Тип.....	навесной
Тип корпуса.....	полувинтовой
Производительность за 1 ч сменного времени, га.....	0,65...1,14
Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....	400/450/500/550
Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....	7...9
Масса плуга конструкционная, кг.....	не более 1150
Конструкционная ширина захвата плуга, м.....	1,20/1,35/1,50/1,65

УДК 621.43.001.4

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАКТОРОВ

В.Я. Тимошенко,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Д.А. Жданко,

зав. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Нагорный,

ст. преподаватель каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ

С.Г. Дубень,

студент агромеханического факультета БГАТУ

В статье изложены предложения по измерению эффективной мощности тракторов сельскохозяйственных предприятий с помощью передвижной тормозной гидравлической установки и приведены основные ее параметры.

Ключевые слова: техническое обслуживание, периодичность, наработка, нормативно-техническая документация, машинно-тракторный парк, мощность, передвижная тормозная гидравлическая установка.

The article deals with the proposals for measuring the effective power of tractors of agricultural enterprises with the help of a mobile brake hydraulic plant and its main parameters are given.

Key words: maintenance, periodicity, operating time, normative and technical documentation, machine and tractor park, power, mobile brake hydraulic plant.

Введение

Годовая нормативная загрузка отечественных тракторов составляет 1000 часов работы в год [1]. Планово-предупредительной системой технического обслуживания машин в сельском хозяйстве [2] установлена периодичность технического обслуживания №3 (ТО-3) в 1000 мото-часов. Ввиду того, что на современных тракторах не устанавливаются счетчики мото-часов, то завод-изготовитель (ПО «МТЗ») рекомендует периодичность ТО измерять в астрономических часах. Во избежание использования тракторов и самоходных машин с неисправными двигателями, которое влечет за собой безвозвратные потери топлива, системой ТО при проведении ТО-3 (т.е. один раз в год) предусматривается измерять мощность двигателя и удельный расход топлива.

Однако в картах технического обслуживания тракторов «БЕЛАРУС» из 56...57 операций технического обслуживания не предусмотрены диагностические операции, в том числе и определение мощности, а только операции по поддержанию их исправности и работоспособности.

Известно, что часовой расход топлива является функцией частоты вращения коленчатого вала двигателя и положения рейки топливного насоса, которая при полной его подаче, в свою очередь, является функцией степени загрузки двигателя.

Поэтому для измерения максимального (номинального) значения расхода топлива необходимо уста-

новить полную подачу топлива и загрузить двигатель до номинальной частоты вращения коленчатого вала.

Для этих целей промышленностью СССР выпускался тормозной стенд КИ-4935-ГОСНИТИ [3], на котором предусматривалось торможение двигателей без снятия их с тракторов через вал отбора мощности. Его максимальная тормозная мощность составляла 110 кВт. Стенд монтировался на фундаменте. Для торможения двигателей без снятия их с тракторов предназначался стенд КИ-8927 [4] с беговыми барабанами, обеспечивающий максимальную мощность, снимаемую с колес трактора, 195 кВт. Оба эти стенда могли использоваться только в стационарном режиме. Преимуществом таких стендов перед обкаточно-тормозными стендами, используемыми для послеремонтной стендовой обкатки двигателей, являлось то, что испытуемый двигатель не требовал снятия его с трактора.

Основная часть

В сельскохозяйственных предприятиях обкаточно-тормозных стендов для стендовой обкатки двигателей нет, ввиду отсутствия необходимости в них. В большинстве специализированных районных предприятий такие стенды изношены или вовсе отсутствуют.

Тем не менее, в условиях эксплуатации мощность, развиваемую дизелем, и расход топлива необходимо измерять для того, чтобы исключить потери топлива и повысить в целом эффективность использования тракторов на выполнении механизированных

работ. Это может быть достигнуто как совершенствованием технологий и комплексов машин для возделывания сельскохозяйственных культур, так и поддержанием тракторного парка в работоспособном, технически исправном состоянии.

Основными показателями эффективности использования тракторов являются: их производительность в составе машинно-тракторных агрегатов (МТА) и гектарный расход топлива, которые напрямую зависят от технического состояния двигателей, обобщенным показателем которого является их эффективная мощность.

Известны несколько безтормозных методов оценки общего технического состояния дизелей измерением их эффективной мощности.

К ним относятся: метод профессора Ждановского, а также парциальный и динамический. Однако использование их сегодня не представляется возможным, как из-за отсутствия необходимых приборов, так и невозможности загрузки современных мощных дизелей до номинального режима без торможения.

Кроме того, безтормозное измерение мощности не позволяет определить максимальный расход топлива дизелем, так как это требует загрузки его до номинального режима при положении рейки топливного насоса, соответствующем максимальной подаче топлива.

Ранее для имитации загрузки дизеля промышленностью выпускался имитатор нагрузки КИ-5653 [5], который устанавливается на впускную трубу воздухоочистителя и изменением положения заслонки прибора уменьшается количество подаваемого в цилиндры воздуха. При этом снижается частота вращения коленчатого вала дизеля до номинального значения, и в этом режиме измеряется часовой расход топлива, являющийся функцией частоты вращения коленчатого вала. Это самый простой способ снижения оборотов дизеля при положении рейки топливного насоса, соответствующем максимальной подаче. На протяжении ряда лет в Институте управления АПК Беларуси проводились исследования [6] потенциальных резервов экономии топливно-энергетических ресурсов в агропромышленном комплексе. Для определения максимального расхода топлива двигателем была сделана попытка использовать имитатор нагрузки с целью снижения оборотов коленчатого вала до номинального значения при максимальной подаче топлива насосом. При этом было установлено, что имитатором нагрузки в современных мощных двигателях, даже при отключении отдельных цилиндров, снизить частоту вращения коленчатого вала и обеспечить их стабильность не представляется возможным, что дает основание утверждать о непригодности этого метода для определения максимального расхода топлива двигателем.

Подтверждением тому, что эффективность использования трактора во многом определяется его мощностью, является выражение часовой производительности МТА, если его ширину захвата выразить через эффективную мощность двигателя:

$$W_{\text{ч}} = 0,36 B_p \cdot V_p \cdot \tau = 0,36 \frac{N_{\text{кр}}}{K_{\text{уд}}} \cdot \tau =$$

$$= 0,36 N_e \cdot \frac{\eta_{\text{т}}}{K_{\text{уд}}} \cdot \tau, \quad (1)$$

где B_p – рабочая ширина захвата агрегата, м;
 V_p – рабочая скорость движения МТА, м/с;
 $K_{\text{уд}}$ – удельное тяговое сопротивление машины, кН/м;

$N_{\text{кр}}$ – тяговая мощность МТА, кВт;

N_e – эффективная мощность двигателя, кВт;

$\eta_{\text{т}}$ – тяговый КПД агрегата;

τ – коэффициент использования времени смены.

Гектарный расход топлива принято определять:

$$\theta = \frac{G_{\text{тч}}}{W_{\text{ч}}}, \quad (2)$$

где $G_{\text{тч}}$ – часовой расход топлива агрегатом, кг/ч.

Таким образом, основные показатели эффективности использования трактора на выполнении механизированных работ, т.е. его производительность и гектарный расход топлива, напрямую зависят от значения эффективной мощности дизеля.

Изложенное выше позволяет утверждать, что в настоящее время в республике отсутствуют технические средства для измерения эффективной мощности двигателей, которая является обобщенным показателем его технического состояния и во многом определяет эффективность использования тракторов.

Авторы предлагают инициировать разработку передвижной тормозной диагностической установки, которая могла бы эффективно использоваться специалистами хозяйств и РО «Белагросервис» для своевременного определения возникающих неисправностей двигателей, предупреждая тем самым безвозвратные потери дизельного топлива и повышая эффективность использования тракторов.

В настоящее время таких установок нет, как в Беларуси, так и других соседних постсоветских странах. Отсутствие их объясняется тем, что использование электрических балансирных машин требует мощной электрической сети, что не всегда доступно. Не могут быть использованы в этих целях и гидравлические тормозные устройства, так как они требуют подводы и огромного количества воды.

В 2017 году на Международной выставке сельскохозяйственного оборудования «AGRITECHNICA – 2017» в г. Ганновере (Германия) демонстрировался передвижной тормозной стенд (рис. 1) с вихретоковым тормозом. Стоимость такого стенда более 120 тысяч евро, что дорого и недоступно для наших предприятий.

В последние годы в БГАТУ широко проводились исследования [7-9] применения регулируемых аксиально-плунжерных насосов и дросселирования потока нагнетаемой ими жидкости дросселем постоянного сечения для торможения двигателей (рис. 2).



Рис. 1. Передвижной тормозной стенд ZW 500 с вихрековым тормозом



Рис. 2. Экспериментальный образец обкаточно-тормозного устройства мощностью до 120 кВт

Разработана и экспериментально проверена методика определения параметров тормозного устройства, необходимых для ее создания [8]. При этом механическая тормозная энергия преобразуется в тепловую, которая утилизируется с помощью жидкостного или воздушного теплообменника.

Измерение нагрузки на валу двигателя внутреннего сгорания (ДВС) может осуществляться по давлению в напорной и сливной магистралях манометрами, либо только с помощью датчика крутящего момента (ДКМ) М40 (рис. 3), установленного на валу



Рис. 3. Датчик крутящего момента М40

отбора мощности (ВОМ) трактора.

Компоновочная схема стенда (рис. 4) предусматривает возможность соединения двух или четырех

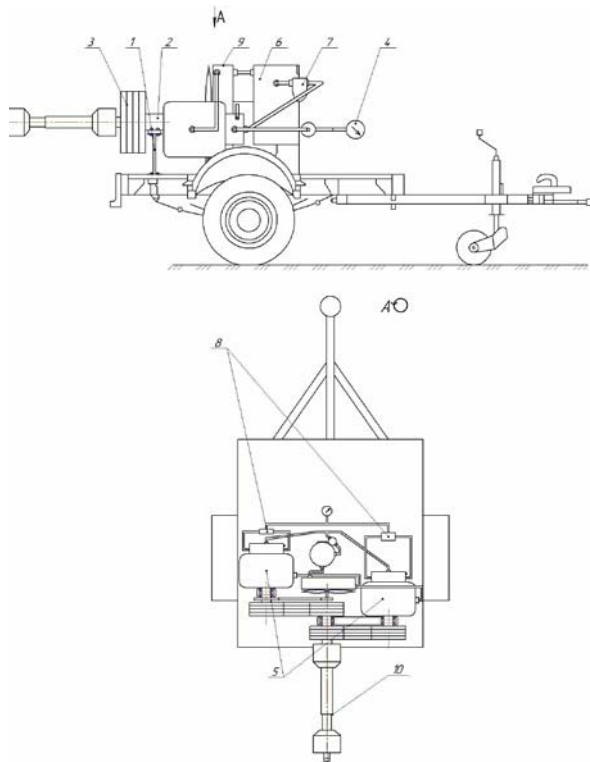


Рисунок 4. Передвижная тормозная диагностическая установка с аксиально-плунжерными гидронасосами (вид сзади и сверху): 1-опора двутавровая; 2- вал; 3-шкив; 4-манометр; 5-гидравлические аксиально-плунжерные насосы; 6-гидробак; 7-масляный фильтр; 8-дрессель постоянного сечения; 9-жидкостной радиатор; 10-карданная передача

гидронасосов в модуль с целью увеличения тормозной мощности. Выбор насоса гидравлического тормозного устройства производится по номинальным значениям его рабочего объема и крутящего момента, которые находятся в следующей зависимости:

$$M_n = \frac{P \cdot V_o}{2\pi}, \quad (3)$$

где P – номинальное значение давления рабочей жидкости в напорной магистрали насоса, Па;

V_o – номинальное значение рабочего объема насоса, м^3 .

Текущее значение тормозного момента при торможении ДВС регулируемым насосом и дросселем постоянного сечения может быть определено по зависимости:

$$M_n = 0,125\kappa \frac{d^2 \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p^3 (1 + \beta_t (T - T_1))}{\rho_1}}}{n}, \quad (4)$$

где κ – коэффициент взаимовлияния;

d – диаметр дросселя, м;
 β_T – коэффициент объемного расширения, K^{-1} .
 Для минеральных масел $\beta_T = 8 \cdot 10^{-4} K^{-1}$;
 ρ_1 – плотность жидкости при температуре T_1 , $кг/м^3$;
 n – частота вращения вала насоса, $с^{-1}$.

Коэффициент взаимовлияния κ при создании нагрузки дросселированием потока жидкости позволяет учесть изменение коэффициента расхода μ и КПД (общий) насоса η_n и повысить точность определения тормозного момента на валу двигателя.

$$\kappa = \frac{\mu}{\eta_n}, \quad (5)$$

где μ – коэффициент расхода;

η_n – КПД (общий) насоса.

Экспериментальным путем получено уравнение коэффициента взаимовлияния κ в зависимости от изменения диаметра дросселя и давления рабочей жидкости

$$\kappa = \frac{4p^2}{p_{ном}^2} \cdot 10^{-3} - \frac{4d^2}{d_{опт}^2} \cdot 10^{-4} + \frac{0,12d}{d_{опт}} - \frac{0,05p}{p_{ном}} + \frac{2dp \cdot 10^{-3}}{d_{опт} p_{ном}} + 1,26. \quad (6)$$

При известном номинальном значении крутящего момента насоса оптимальный диаметр дросселя постоянного сечения, при котором на коленчатом валу ДВС будет обеспечено максимальное значение тормозного момента, может быть определен по выражению:

$$d_{опт} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V_{опт} n \eta_o}{\pi \mu \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{ном} - p_1)}}}, \quad (7)$$

где $V_{опт}$ – максимальный рабочий объем насоса, $м^3$;
 n – частота вращения вала тормозного устройства, $с^{-1}$;

η_o – объемный КПД насоса;

$p_{ном}$ – номинальное давление насоса, Па;

p_1 – давление за дросселем, Па.

При торможении двигателя внутреннего сгорания нерегулируемым насосом и регулируемым дросселем величину тормозного момента определяют по формуле:

$$M_n = \frac{V_o \Delta p \cdot \eta_o}{6,28 \cdot \eta_n} \quad (8)$$

Имеющаяся доступная, сравнительно недорогая элементная база, позволяет создать такие стенды и организовать их производство в Беларуси.

Небольшие габариты и вес аксиально-плунжерных насосов и других комплектующих этого устройства позволяют изготовить его в прицепном варианте, буксируемом микроавтобусом или малотоннажным грузовиком, в котором могут размещаться также и другие диагностические приборы.

Сегодня на рынке имеются аксиально-плунжерные насосы НП-90 мощностью 90 кВт (122,4 л.с.) и НП-112 мощностью 112 кВт (152,3 л.с.), которые широко применяются в гидротрансмиссиях самоходных кормо- и зерноуборочных комбайнов.

Самые мощные отечественные тракторы имеют эффективную мощность – 400 л.с., для торможения которых потребуется 3 – 4 гидронасоса. Представляется возможным изготавливать такие передвижные установки в модульном варианте, используя 2 или 4 гидронасоса. При использовании четырех гидронасосов, возможно кратковременно тормозить тракторы с эффективной мощностью дизеля более 620 л.с.

Заключение

1. Значение эффективной мощности двигателя является обобщенным показателем его технического состояния, определяющего не только тяговые свойства тракторов, но и удельный расход топлива.

2. В настоящее время в республике отсутствуют средства для измерения эффективной мощности двигателей современных тракторов, что исключает возможность оценивать его общее техническое состояние, предусмотренное при проведении ТО-3.

3. Имеющиеся на кафедре эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ разработки применения аксиально-плунжерного насоса с дросселем постоянного сечения в качестве устройства для торможения двигателей позволяют создать передвижной малогабаритный, с невысокой металлоемкостью, тормозной стенд, которым можно оснащать хозяйства и предприятия РО «Белагросервис».

4. Применение предлагаемого стенда позволит исключить неоправданный расход топлива тракторами при снижении эффективной мощности их ДВС ниже допустимых пределов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по совершенствованию системы агросервисного обслуживания сельскохозяйственных товаропроизводителей в условиях инновационного развития и модернизации АПК Республики Беларусь / А.С. Сайганов [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2016. – 141 с.
2. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание: ГОСТ 20793-2009. – Введ. 01.01.2012. – Минск: Госстандарт, 2012. – 23 с.
3. Маслов, Г.Г. Техническая эксплуатация МТП: учеб. пос. / Г.Г. Маслов, А.П. Карабаницкий, Е.А. Кочкин. – Кубанский государственный аграрный университет, 2008. – С. 142.
4. Дунаев, А.В. Разработка методов стендовых испытаний, контроля и управления техническим состоянием самоходных машин в агропромышленном комплексе: автореф. ... дис. докт. техн. наук: 05.20.03 / А.В. Дунаев; ФГБНУ ГОСНИТИ. – Москва, 2015. – 41 с.

5. Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов: учеб. для сред. проф. образования / С.Ф. Головин [и др.]; под ред. Е.С. Локшина. – М.: Мастерство, 2002. – 464 с.

6. Потенциальные резервы экономии топливно-энергетических ресурсов в агропромышленном комплексе / Г.Ф. Добыш [и др.] – Мн.: УМЦ Минсельхозпрода, 2005. – 137 с.

7. О необходимости разработки передвижной тормозной диагностической установки / В.Я. Тимошенко [и др.] // Агропанорама. – 2012. – № 6. – С. 38-42.

8. Жданко, Д.А. Теоретическое обоснование параметров гидравлического тормозного устройства обкаточно-тормозного стенда / Д.А. Жданко // Агропанорама. – 2009. – № 3. – С. 38-42.

9. Обоснование необходимости модернизации обкаточно-тормозных стендов мотороремонтных предприятий / В.Я. Тимошенко [и др.] // Вестник БГСХА. – 2013. – № 2. – С. 144-149.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 16.05.2018

УДК 657.44

ФИНАНСОВЫЙ РЕЗУЛЬТАТ КАК ОЦЕНОЧНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ В СИСТЕМЕ СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

С.К. Матальцкая,

доцент каф. бухгалтерского учета, контроля и финансов БГЭУ, канд. экон. наук, доцент

В работе изучены различные подходы к исследованию понятия «финансовый результат», представлен авторский подход к определению экономического содержания данной дефиниции, рассмотрены абсолютные и относительные показатели «финансовых результатов», используемые в экономике, бухгалтерском учете и финансовом менеджменте для оценки эффективности деятельности организации, ориентированные в будущее и привязанные к созданию стоимости.

Ключевые слова: финансовый результат, эффект, эффективность, прибыль, рентабельность.

Various approaches to the study of the notion of "financial result" have been studied in the article, an author's approach to determine the economic content of this definition has been presented, absolute and relative indicators of "financial results" used in economics, accounting and financial management to evaluate the effectiveness of the organization's activities, future and tied to the creation of value.

Key words: financial result, effect, efficiency, profit, profitability.

Введение

В финансово-экономической сфере деятельности коммерческой организации конечный интерес заключается в получении соответствующего результата и извлечении экономических выгод. Одним из основных целевых ориентиров финансово-экономической сферы деятельности организации и критерием ее успешной деятельности выступают финансовые результаты. Финансовый результат завершает цикл деятельности организации, связанный с производством и реализацией продукции (работ, услуг), и одновременно выступает необходимым условием следующего этапа ее деятельности.

Основная часть

Успех организации предполагает баланс между ее экономическими и финансовыми интересами и потребностями заинтересованных сторон. Развитие происходит, когда у всех участников есть необходимые стимулы, мотивация к экономическому росту. В основе мотивации собственников лежит принцип максимизации прибыли, а основой эффективного управления организацией выступают такие стратегические изменения,

которые приведут к улучшению показателей, характеризующих эффективность бизнеса, учитывающих влияние внешней среды и долгосрочные последствия принимаемых инвестиционных решений. Система стратегического управления организацией на основе измерения и оценки ее эффективности по набору оптимально подобранных показателей, отражающих все сферы и виды ее деятельности, получила название Balanced Scorecard – сбалансированная система показателей (ССП). СПП переводит миссию и общую стратегию организации в систему четко поставленных целей и задач, а также показателей, определяющих степень достижения данных установок в рамках четырех основных проекций: [финансов] – [клиентов] – [внутренних бизнес-процессов] – [обучения и роста]. Таким образом, СПП включает две группы сбалансированных показателей: финансовые и нефинансовые показатели. Сбалансированные финансовые показатели (СФП) представляют собой совокупность концепций доходности бизнеса, которые базируются на четырех ключевых показателях: оборот организации (выручка); величина активов организации; размер собственных источников финансирования (собственный капитал); финансовые результаты. Основным критерием оценки текущей

деятельности, целевым ориентиром, драйвером эффективности в рамках финансовой проекции выступают финансовые результаты.

Ведущие отечественные и зарубежные ученые-экономисты в области исследований по экономике, бухгалтерскому учету и финансовому менеджменту в своих работах подходят к экономическому наполнению понятия «финансовые результаты» с различных точек зрения и с разной степенью детализации. Большинство ученых-экономистов отмечают, что финансовые результаты деятельности предприятия характеризуются суммой полученной прибыли и уровнем рентабельности, выступают как оценочные показатели абсолютной эффективности хозяйствования организации [1, 2, 3]. Такой подход сводится к характеристике финансового результата как расчетного показателя, характеризующего конечный результат деятельности организации. Другие используют более развернутое определение финансового результата, как:

а) выраженного в денежной форме экономического итога хозяйственной деятельности организации в целом и ее отдельных подразделений;

б) прироста или уменьшения стоимости собственного капитала организации, образовавшегося в процессе ее предпринимательской деятельности за отчетный период [4].

В нормативных документах по разработке бизнес-планов развития коммерческих организаций, документах, регламентирующих порядок организации бухгалтерского учета, под финансовым результатом понимается прибыль (убыток).

Оперирование понятиями предполагает корректность введения дефиниций (лат. *definitio* – определение), а также смысловое, алгоритмическое и информационное наполнение исследуемого термина. На уровне субъекта хозяйствования, показатель – это количественная определенность свойств измеряемых объектов, процессов или явлений, выраженная числом в соответствующих единицах [5]. Учетные показатели – показатели, используемые для оценки и контроля деятельности организации, финансовые показатели – набор показателей, используемых для исследования эффективности деятельности организации и для измерения степени риска ее операций. Обобщив вышеизложенное, определим экономическое наполнение дефиниции «финансовый результат»:

1. *Смысловое наполнение.* Экономический смысл финансового результата заключается:

а) в приращении стоимости собственного капитала организации, приросте прибыли за отчетный период;

б) превышении стоимости реализованной продукции (работ, услуг) над полными затратами, связанными с ее производством и реализацией. Положительный результат свидетельствует об эффективном и целесообразном использовании капитала и ресурсов организации. В системе показателей финансовых результатов получают законченную денежную оценку различные стороны деятельности организации, от снабженческой до сбытовой.

2. *Алгоритмическое наполнение.* Финансовый результат – расчетная величина, позволяющая оценить финансово-хозяйственную деятельность организации за отчетный период. Существенное влияние на финансовый результат оказывают:

а) производственно-финансовая деятельность организации, ее целевые ориентиры и стратегия развития;

б) принятые в организации методы признания, оценки, учета и исчисления показателей доходов и затрат (учетная политика, профессиональное суждение бухгалтера).

В учетно-экономической практике финансовые результаты характеризуются суммой полученной прибыли и уровнем рентабельности. Прибыль – расчетный показатель, ее величиной можно варьировать в зависимости от того, для каких целей определять ее уровень. Для формирования обоснованных оценочных суждений необходима четкая и однозначная идентификация алгоритмического и информационного обеспечения показателя финансовых результатов, о котором идет речь.

3. *Информационное наполнение.* Для раскрытия информации о факторах формирования финансового результата за отчетный период предназначен Отчет о прибылях и убытках (ОПУ) [6]. В ОПУ наглядно и последовательно представлена логика процесса формирования финансового результата, его ключевых компонент. Под запросы пользователей информации возможны различные варианты представления исходных компонентов в общем алгоритме расчета. В основу ОПУ заложен бухгалтерский подход формирования прибыли, базирующийся на отражении в системе счетов информации о доходах и расходах организации, в разрезе видов ее экономической деятельности [6].

Обобщив вышеизложенное, определим экономическое содержание дефиниции «финансовый результат». Финансовый результат – это совокупность показателей в системе целевых ориентиров организации, которую можно исследовать как:

а) конечный результат, характеризующий экономический эффект и эффективность завершающей стадии кругооборота средств организации;

б) основной источник финансирования деятельности организации.

Финансовые результаты в бухгалтерском учете изучаются через систему абсолютных показателей – прибыль (убыток).

В бухгалтерском учете прибыль, как конечный результат, характеризующий экономический эффект завершающей стадии кругооборота средств организации, определяют путем сопоставления доходов и расходов организации, суммированием всех прибылей и убытков в разрезе видов экономической деятельности. В системе счетов бухгалтерского учета определяются промежуточные показатели, характеризующие доходность бизнеса и представляющие интерес, как для собственников (акционеров), так и других субъектов, ввиду вложения ими в организацию инвестиций и мониторинга эффективности их использования.

Рассмотрим порядок формирования показателей прибыли, которые, в дополнение к генерируемым в

учете и отчетности, целесообразно использовать для оценки эффективности бизнеса и альтернативности принимаемых управленческих решений. Последовательная методика расчета их величины с использованием информации, представленной в ОПУ, примечаниях к отчетности и данных бухгалтерского учета, представлена на рис. 1.

Итоговой характеристикой деятельности организации как самостоятельного субъекта бизнес-отношений выступает EBIT (англ. earnings before interest and taxes) – «прибыль до вычета процентов и налогов» [7]. Организация сгенерировала данный финансовый результат по итогам отчетного года, после чего начинается его распределение между субъектами, имеющими на это право и возможность, а именно: государство, кредиторы и собственники получают причитающуюся им часть EBIT в виде соответствующих налогов, процентов и остатка прибыли. В отечественной практике показатель EBIT приравнивается к показателю «прибыль (убыток) до налогообложения», отражаемому в ОПУ, и увеличенному на показатель «проценты к уплате» (рис. 1). В соответствии с действующим законодательством, «проценты к уплате» – это подлежащие уплате проценты за пользование заемными ресурсами, отраженные в бухгалтерском учете по дебету счета 91 «Прочие доходы и расходы» [6]. Поскольку в бухгалтерском учете платежи, идущие на обслуживание кредитов, вычитаются из налогооблагаемой прибыли, то произво-

дится обратная операция – к сумме чистой прибыли добавляется сумма вычтенных процентов с учетом налога на прибыль и получают показатель EBT (англ. earnings before taxes) – «прибыль до вычета налогов и обязательных платежей» [7].

Для оценки эффективности текущей деятельности организации используется показатель EBITDA (англ. earnings before interest, taxes, depreciation and amortization) – «прибыль до вычета процентов, налогов и амортизации» [7]. Вычтя из показателя EBITDA «амортизационные отчисления», получают EBIT (рис. 1). В соответствии с действующим законодательством, организациям и индивидуальным предпринимателям разрешено не начислять амортизацию, а при определенных условиях это право сохраняется и в последующие годы [8].

Такая многофункциональность финансовых результатов позволяет синергетическим путем решить комплекс задач, стоящих перед финансовым менеджментом. Для оценки эффективности использования ресурсов организации, анализа доходности бизнеса широкое распространение получил коэффициентный метод оценки прибыли – расчет и оценка прибыльности и рентабельности. Выбор показателей рентабельности, как оценочных показателей, зависит от обозначенной цели, с учетом особенностей деятельности организации, поставленных задач, используемых активов, полноты, сопоставимости и экономической обоснованности финансовых показателей.



Рис. 1. Взаимосвязь информационных запросов о финансовых результатах с данными бухгалтерской отчетности

Грамотная интерпретация используемых коэффициентов предполагает четкое понимание методической и информационной базы для их расчета. Наиболее широкий спектр показателей рентабельности и методик их расчета представлен в Правилах по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов, утвержденных Постановлением Министерства экономики Республики Беларусь от 31.08.2005 № 158 и Методических рекомендациях по осуществлению мероприятий по предупреждению экономической несостоятельности (банкротства) и проведению процедур экономической несостоятельности (банкротства), утвержденных Приказом Министерства экономики Республики Беларусь от 06.04.2016 № 43. Необходимо учитывать, что при единообразии названий показателей рентабельности существуют различия в методиках их расчета, и наоборот.

Для общезакономерной оценки эффективности ресурсов организации, ее доходности, по показателям прибыли, рассмотренным на рис. 2, рассчитывают и анализируют рентабельность капитала с позиции всех заинтересованных лиц (ВЕР) как отношение ЕВТ к среднему за период размеру суммарных активов. Данный показатель можно исследовать как одну из производных ресурсоотдачи, рассчитанную по прибыли, а не через объемы реализации [3]. Максимизация уровня ВЕР ставит перед менеджерами задачу увеличивать выручку, снижать себестоимость и расходы, относимые на прибыль, уменьшать величину активов, за счет снижения дебиторской и кредиторской задолженности, сокращения объемов непроизводственных активов.

Для оценки эффективности использования капитала с позиции инвесторов, которые обеспечивают организацию капиталом на долгосрочную перспективу, рассчитывают рентабельность активов (ROA). Рентабельность активов – это соотношение сальдированного финансового результата (доходы минус расходы) и стоимости активов организации. Для целей экономического анализа и финансового менеджмента ROA целесообразно исследовать как результат отношения ЕВТ к среднему за период размеру суммарных активов. Данный показатель характеризует с позиции инвесторов генерирующую мощь активов, в которую вложен капитал.

Для оценки эффективности использования всего инвестированного капитала (собственников и кредиторов, банки, лизинговые компании, участники рынка), ссудного капитала, доходности долгосрочного капитала, рекомендуется рассчитывать и анализировать рентабельность инвестированного капитала (ROI) как отношение ЕВТ к среднему за период размеру инвестированного в активы капитала. Инвестированными средствами считают сумму собственного капитала и долгосрочных обязательств, а детали определения величины инвестированного капитала зависят от особенностей ведения учета и структуры бизнеса.

Для оценки инвестиционной привлекательности организации в долгосрочном плане, в отечественной практике рассчитывают рентабельность собственного капитала (ROE) как отношение чистой прибыли (прибыли до налогообложения) к среднему за период размеру собственного капитала. ROE позволяет определить эффективность использования капитала, инвестированного собственниками, и сравнить этот пока-

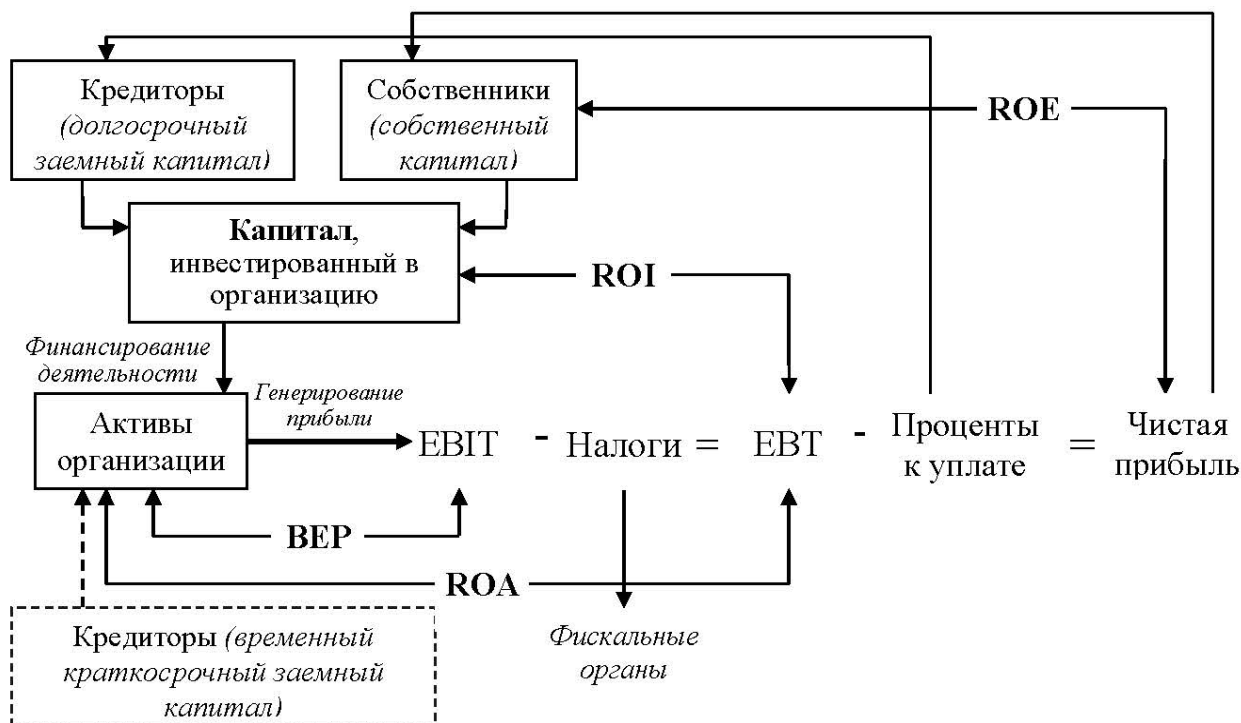


Рис. 2. Схема распределения доходов организации, формирования финансовых результатов и расчета показателей рентабельности

затель с возможным получением дохода от вложения этих средств в другие виды деятельности.

Использование представленной на рис. 2 взаимосвязи генерирования прибыли и расчета показателей рентабельности позволяет выстраивать различные взаимосвязи и взаимозависимости между обозначенными показателями.

Заключение

Различия методологических подходов к исследованию «финансового результата» обеспечивают формирование многофункциональных оценочных показателей в системе сбалансированных финансовых показателей. Исходя из такого многообразия показателей прибыли при оценке результативности работы организации, необходимо:

– во-первых, обозначить показатель прибыли, о котором идет речь, дать ему экономическую характеристику;

– во-вторых, принять к расчету возможность условности оценки ее величины, ввиду того, что обозначенный показатель прибыли может не формироваться в системе счетов бухгалтерского учета, согласно действующему законодательству.

Многообразие показателей рентабельности деятельности организации и методик их расчета позволяют оценить эффективность бизнеса со всех сторон, выявить причины роста (снижения) объемов деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорман, В.Н. Коммерческая деятельность: доходы и расходы, финансовый результат: учеб. пос. для академического бакалавриата / В.Н. Дорман; под науч. ред. Н.Р. Кельчевской. – М.: Юрайт, 2016. – 108 с.
2. Шеремет, А.Д. Методика финансового анализа / А.Д. Шеремет, Р.С. Сайфулин, Е.В. Негашев. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 208 с.
3. Ковалев, В.В. Анализ баланса / В.В. Ковалев, Вит. В. Ковалев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Проспект, 2017. – 912 с.
4. Азрилиян, А.Н. Новый экономический словарь / А.Н. Азрилиян. – М.: Институт новой экономики, 2006.
5. Когут, А.Е. Экономическая метрология / А.Е. Когут. – Л.: Наука, 1990. – 192 с.
6. Об утверждении Национального стандарта бухгалтерского учета и отчетности «Индивидуальная бухгалтерская отчетность»: пост. Министерства финансов Республики Беларусь от 12.12.2016 № 104.
7. О проектах государственно-частного партнерства: пост. Министерства экономики Республики Беларусь от 27.07.2016 № 49.
8. О неначислении амортизации по основным средствам и нематериальным активам в 2018 и последующих годах: пост. Совета Министров Республики Беларусь от 30.10.2017 № 802.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 08.02.2018

Пористые волокновые материалы

Предназначены для очистки жидкостей, газов от твердых частиц и жидких аэрозолей.



Основные технические данные

Тонкость очистки ППМ

- при фильтрации газов	0,5...20 мкм
- при фильтрации жидкостей	1...100 мкм

Фильтры используются для очистки сжиженных и сжатых газов при их производстве и практическом использовании, отходящих газов в технологических циклах химического, биотехнологического, металлургического, цементного и др. производств, для очистки воды, горюче-смазочных материалов, пищевых продуктов (соки, пиво и др.), смол, основ для лаков, расплавов солей и полимеров.

УДК 338.43 (476)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ФОРМ АГРОБИЗНЕСА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Н.Н. Быков,*доцент каф. инновационного развития АПК ИПК и ПК АПК БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

В статье рассматривается экономическая эффективность развития малого агробизнеса в Республике Беларусь. Изложены проблемы более эффективного функционирования крестьянских (фермерских) хозяйств и возможные пути их решения.

Ключевые слова: агробизнес, малые формы хозяйствования, экономическая эффективность, проблемы развития.

The article considers the economic efficiency of the development of small agribusiness in the Republic of Belarus. The problems of more efficient functioning of peasant (farm) farms and possible ways of their solution are outlined.

Key words: economic efficiency, agribusiness, small forms of management, peasant (farm) farms.

Введение

За последние годы в результате рыночных преобразований в аграрном секторе Республики Беларусь сформировалась многоукладная аграрная экономика. Она представлена крупнотоварными сельскохозяйственными организациями различных форм собственности, крестьянскими (фермерскими) хозяйствами (К(Ф)Х) и личными подсобными хозяйствами граждан.

Малые формы хозяйствования способны более быстро и гибко адаптировать направление хозяйственной деятельности под рыночную конъюнктуру, что создает предпосылки для кооперирования с другими субъектами сельскохозяйственного производства с целью получения более широкого спектра узкопрофильных товаров и услуг. Как правило, они более восприимчивы к потребностям и индивидуальным запросам покупателей, имеют возможность применять гибкую ценовую политику и отличаются сравнительно меньшими управленческими расходами.

Развитие малых форм хозяйствования следует рассматривать как одно из потенциальных направлений реализации предпринимчивости и частной инициативы.

Развитие малых форм хозяйствования в сельском хозяйстве Беларуси имеет важное социально-экономическое значение, поскольку способствует процессу формирования многоукладности и создает условия для реальной конкуренции между сельскими товаропроизводителями, содействует росту объемов производства отечественной сельскохозяйственной продукции и импортозамещению на белорусском агропродовольственном рынке, а также воссозданию престижа крестьянского труда, создает необходимые предпосылки для социально-экономического развития сельских территорий.

Несмотря на то, что К(Ф)Х работают более эффективно по сравнению с сельскохозяйственными организациями, в их развитии имеются и проблемы, которые рассматриваются в данной статье.

Основная часть

По экспертным оценкам, одно рабочее место на селе позволяет обеспечить занятость трудоспособного населения в количестве 6-7 человек в других сферах национальной экономики.

Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016-2020 годы предусмотрено создание дополнительно не менее 3,5 тыс. рабочих мест и увеличение списочной численности работников в К(Ф)Х до 12,5 тыс. человек, а также увеличение объемов производства продукции сельского хозяйства в 2,8 раза к уровню 2015 года и доведение их удельного веса до 4,5 % в стоимости продукции сельского хозяйства всех категорий хозяйств [1].

В настоящее время в Беларуси в 3 тыс. организаций малого агробизнеса занято почти 18 тыс. человек. Основными представителями малого агробизнеса являются К(Ф)Х.

Функционирование фермерского сектора на селе поддерживает очень важный социальный аспект – преемственность поколений и привязанность людей к земле, а также решение проблемы занятости сельского населения.

По состоянию на 1 января 2017 г. в Республике Беларусь зарегистрировано 3066 крестьянских (фермерских) хозяйств, из них 2531 осуществляло свою деятельность.

В 2016 году за крестьянскими (фермерскими) хозяйствами было закреплено 171,3 тыс. га сельскохозяйственных земель (2 % от общей площади таких земель республики), в том числе пахотных земель – 122,4 тыс. га (2,2 %).

На долю крестьянских (фермерских) хозяйств приходилось 2,3 % численности работников, занятых в сельскохозяйственной отрасли, и 1,9 % производства продукции сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий, в том числе продукции растениеводства – 3,6 %, животноводства – 0,4 %. Всего за 2016 год крестьянскими (фермерскими) хозяйствами про-

изведено сельскохозяйственной продукции на 291 млн руб. в текущих ценах, или на 14,6 % больше в сопоставимых ценах, чем в 2015 году.

В крестьянских (фермерских) хозяйствах собрано 151,4 тыс. т зерна, или 2 % от общего производства в хозяйствах всех категорий, 347,1 тыс. т картофеля (5,8 %), 346,7 тыс. т овощей (18,3 %), 90,6 тыс. т сахарной свеклы (2,1 %), 43,8 тыс. т фруктов и ягод (6,2 %).

На начало 2017 года в крестьянских (фермерских) хозяйствах содержалось 14,9 тыс. голов крупного рогатого скота (0,3 % от общего поголовья в хозяйствах всех категорий), 30,7 тыс. голов свиней (1 %), 119,1 тыс. голов птицы (0,2 %), 17,6 тыс. голов овец и коз (11,1 %), 0,7 тыс. голов лошадей (1,3 %). За 2016 год произведено молока 19,1 тыс. т (0,3 % от общего производства в хозяйствах всех категорий), реализовано скота и птицы на убой в живом весе 11,2 тыс. т (0,7 %).

Об экономической эффективности развития К(Ф)Х можно судить по данным таблицы 1.

Анализ вышеприведенных данных подтверждает более высокую экономическую эффективность работы К(Ф)Х по сравнению с сельскохозяйственными организациями. Особенно большой разрыв между ними в окупаемости вкладываемых ресурсов. Рентабельность реализованной продукции, товаров, работ, услуг и рентабельность продаж в К(Ф)Х в 2016 году была выше более чем в 10 раз по сравнению с крупнотоварными сельскохозяйственными организациями. Доля убыточных крестьянских (фермерских) хозяйств в общем их количестве за последние годы не превышала 12 %, в то время, как удельный вес нерентабельных сельхозорганизаций был почти в 3 раза выше и составил в 2016 году 27,9 %.

В Беларуси имеется немало примеров высокоэффективного развития К(Ф)Х, в том числе: «Цнянские экопродукты» Логойского района и «Василек» Дзержинского района Минской области, «Новицких» Лунинского района, «Ольшаны» Столинского района Брестской области и др.

Представляет несомненный научный и практический интерес развитие фермерских хозяйств в Польше. В настоящее время благодаря правильно выстроенной аграрной политике, страна занимает лидирующие позиции в экспорте сельхозпродукции на мировом агропродовольственном рынке: первое место в мире по экспор-

ту яблок и черной смородины, опередив Китай, первое место в Евросоюзе по экспорту шампиньонов, сдвинув на второе место Голландию. Страна является крупнейшим поставщиком в Европе и третьим в мире (после США и Канады) голубики высокорослой.

Сегодня Польша – это шестой производитель сельхозпродукции в Евросоюзе.

Однако приходится признать, что несмотря на более высокую экономическую эффективность работы, К(Ф)Х в целом еще не в полной мере соответствуют требованиям, необходимым в настоящее время для их дальнейшего устойчивого развития. Здесь негативно сказываются как общеотраслевые проблемы развития сельского хозяйства, так и специфические проблемы развития фермерского уклада. Это связано с недостаточным уровнем государственной поддержки фермерского сектора, в частности по укреплению материально-технической базы, неразвитостью системы производственного и рыночного инфраструктурного обеспечения, предпринимательской пассивностью сельской молодежи в условиях непрестижности сельскохозяйственного труда, низкой доходности аграрного производства и другими причинами.

Наряду с К(Ф)Х, производством сельскохозяйственной продукции в нашей стране занимаются различные формы личных подсобных хозяйств граждан: личные подсобные хозяйства сельского населения, домашние хозяйства горожан, граждане, ведущие коллективное садоводство и огородничество в составе садоводческих товариществ, дачных кооперативов и другие.

В республике данный сектор экономики сохраняет свою значимость в обеспечении населения продовольствием. В нем производится более 20 % продукции сельского хозяйства.

В условиях экономической нестабильности при невысокой занятости сельского населения ведение личного подсобного хозяйства, приносящего дополнительный доход в семейный бюджет, становится весьма важным подспорьем для сельского жителя.

Преимущество индивидуальных предпринимателей, занимающихся сельскохозяйственным производством, и малых сельскохозяйственных организаций в сравнении с крупными сельскохозяйственными товаропроизводителями состоит в том, что для их становления и развития не требуется больших стартовых

Таблица 1. Динамика сравнительной экономической эффективности работы сельскохозяйственных предприятий и К(Ф)Х за 2011-2016 гг. [5]

Показатели	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Рентабельность реализованной продукции, товаров, работ и услуг, %							
Сельскохозяйственные организации	- 1,3	15,4	19,3	4,1	6,5	0,6	2,5
Крестьянские (фермерские) хозяйства	40,8	36,0	33,3	33,2	34,8	31,1	28,9
Рентабельность продаж, %							
Сельскохозяйственные организации	-1,1	12,0	14,6	3,5	5,5	0,5	2,2
Крестьянские (фермерские) хозяйства	22,1	24,7	22,7	22,7	23,5	21,8	20,5
Удельный вес просроченной кредиторской задолженности в общей сумме, %							
Сельскохозяйственные организации	18,3	18,0	16,9	19,6	23,2	25,3	34,5
Крестьянские (фермерские) хозяйства	7,2	7,0	7,1	7,9	7,0	7,8	9,9
Удельный вес убыточных организаций в общем их количестве, %							
Сельскохозяйственные организации	3,6	2,4	3,5	12,7	12,9	34,9	27,9
Крестьянские (фермерские) хозяйства	5,2	6,4	7,3	8,7	9,5	11,9	9,4

финансовых вложений, и при производстве продукции, пользующейся повышенным спросом, их материально-технические и финансовые ресурсы относительно быстро окупаются.

В условиях недостаточной вовлеченности субъектов малого предпринимательства в процессы агропромышленной интеграции основным инструментом повышения уровня конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции является их кооперация в сферах производства, распределения, обмена и потребления.

При ограниченности финансовых ресурсов, выделяемых на государственную поддержку хозяйствующих субъектов аграрной сферы, малые формы хозяйствования должны иметь равный доступ к ним, а также другим ресурсам, необходимым для ведения сельскохозяйственного производства. Оценивая социальную нагрузку на субъекты малого агробизнеса в рамках развития сельских территорий, органы государственного управления всех уровней должны эффективно использовать меры по защите интересов местных товаропроизводителей.

Важнейшим условием устойчивого развития субъектов малого предпринимательства является создание адекватной экономической среды для их самофинансирования, которая во многом зависит от условий сбыта производимой продукции. Поэтому важнейшим направлением аграрной политики государства является государственная поддержка сбыта производимой ими продукции. Для этого необходима реализация следующих мероприятий:

- создание условий для гарантированного сбыта сельскохозяйственной продукции и улучшение действующей системы государственных закупок. В этой связи государственным закупочным организациям целесообразно установить квоту для продукции, произведенной в К(Ф)Х;

- выделение ресурсов на развитие сбытовых кооперативов и логистических центров, создаваемых по инициативе фермеров.

Данное направление будет способствовать организации единой системы производства, заготовки, хранения, переработки и реализации сельхозпродукции и может осуществляться путем:

- оказания стартовой помощи на организационное обустройство К(Ф)Х;

- выделения дотаций на производимую продукцию;

- передачи государственными органами управления имущества обанкротившихся перерабатывающих, агросервисных предприятий и сельскохозяйственных организаций;

- развития ярмарочных форм торговли и рынков выходного дня, что позволяет обеспечить больший доступ товаропроизводителей к потребителю;

- поощрения развития инфраструктуры кооперативной системы посредством создания кооперативов, союзов и ассоциаций кооперативов;

- стимулирования интеграционной деятельности коммерческих компаний, заключивших с К(Ф)Х контракты на производство сельхозпродукции, поставку ресурсов, услуг и покупку их продукции;

- стимулирования развития кредитных и снабженческих кооперативов для обеспечения К(Ф)Х новой техникой и запчастями, а также племенным скотом и инновационными технологиями производства сельскохозяйственной продукции через предоставление им субсидируемых долгосрочных кредитов;

- реализации региональных программ утилизации подержанной сельскохозяйственной техники;

- субсидирования процентной ставки по кредитам для развития К(Ф)Х;

- создания сети информационно-консультационного обслуживания К(Ф)Х, состоящей из специализированных подразделений в районных информационно-консультационных центрах, а также самостоятельных ИКЦ, созданных самими владельцами К(Ф)Х;

- формирования государственной инновационной программы подготовки, переподготовки и повышения квалификации работников К(Ф)Х с использованием современных форм обучения (стационарных, дистанционных, мобильных и Интернета). В учебные планы учреждений дополнительного образования аграрного профиля целесообразно включить специальные курсы по организации малого бизнеса на селе и дополнять их выпуском специальной методической и справочной литературы.

Особое значение для эффективной работы К(Ф)Х по-прежнему имеет прямая государственная поддержка. Однако осуществлять ее целесообразно в виде фиксированных, обязательных и гарантированных дотаций на один га фактических посевов сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений или на одну голову крупного рогатого скота.

Специфическими мерами поддержки вновь создаваемых К(Ф)Х могут быть:

- предоставление единовременных выплат или беспроцентной «подъемной» ссуды (специального гранта) для хозяйственного обзаведения (покупка сельхозтехники, животных, семян и др. материально-технических ресурсов, строительство доступного жилья и объектов социальной инфраструктуры);

- компенсация понесенных затрат на инженерное обустройство (водоснабжение, электроснабжение, газоснабжение, медицинские учреждения, связь, дороги и др.).

Опыт развитых стран доказал эффективность интеграции субъектов крупного и малого агробизнеса в рамках разделения труда и специализации на отдельных звеньях технологических цепочек. Модернизация системы интеграционных отношений позволит создать условия формирования локальных продуктовых кластеров как инновационной формы интеграции, позволяющей снизить остроту конкуренции сельскохозяйственных производителей за счет их включения в единую технологическую цепочку и обеспечения баланса интересов всех участников объединения кластерного типа [4].

Преимущества производственной потребительской кооперации для более эффективного развития малых форм хозяйствования не вызывают сомнения,

но в условиях дефицита финансовых ресурсов государство должно стать инициатором ее создания и оказать содействие в формировании ее материально-технической базы. Действенную помощь в повышении эффективности производства отдельных видов продукции могут оказать отраслевые союзы, значимость которых может реально возрасти лишь при формировании продуктовых кластеров.

Перспективы развития малых форм агробизнеса определяются их способностью конкурировать с корпоративными структурами на товарных рынках. В этой связи целесообразно выделить три основных направления наращивания их конкурентного потенциала:

первое связано с использованием ресурсов, поддержки которых от вовлечения в хозяйственный оборот превышают возможный эффект в условиях крупномасштабного производства;

второе – с развитием отраслей сельского хозяйства с высоким удельным весом затрат ручного труда, или уровень рисков в которых делает их непривлекательными для крупного бизнеса;

третье – с производством продукции с эксклюзивными потребительскими качествами [6].

По мнению авторов, в перспективе гарантом обеспечения продовольственной безопасности страны будут оставаться крупнотоварные сельскохозяйственные предприятия и объединения, агрофирмы и агрохолдинги, адаптированные к рыночным условиям хозяйствования, способные обеспечить устойчивое развитие АПК и конкурентоспособность продовольствия на мировых агропродовольственных рынках.

Основная часть личных подсобных хозяйств (ЛПХ) обладает ограниченными возможностями автономного развития и может наращивать объемы производства сельскохозяйственной продукции преимущественно за счет интеграции с крупнотоварным производством. Поэтому и одним из основных направлений развития личного подворья является укрепление интеграционных связей подсобных хозяйств с субъектами агропромышленного комплекса (предоставление населению денежных авансов и кредитов, выделение дополнительных участков под кормовые культуры и выпасы, оказание помощи в реализации произведенной продукции) [3].

Субъекты малого агробизнеса должны занять достойную нишу и сыграть ключевую роль в решении проблемы производства экологически чистых продуктов питания, спрос населения на которые постоянно возрастает.

В ближайшей перспективе, даже несмотря на рост цен на продукты питания и падение реальных доходов сельского населения, объемы производства сельскохозяйственной продукции в хозяйствах населения будут устойчиво снижаться вследствие старения села и ускоряющегося оттока трудоспособного населения в город. Эта тенденция соответствует общемировым и приведет к выведению из хозяйственного оборота значительной части продуктивных земель, поскольку приусадебные участки не представляют реального интереса для крупных земледельцев.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать выводы о том, что в ближайшей перспективе основными приоритетными направлениями развития малого агробизнеса должны быть:

- развитие партнерства и кооперации малых форм хозяйствования с крупнотоварными сельскохозяйственными организациями;

- развитие кредитно-финансовых инструментов и мер государственной поддержки субъектов малого агробизнеса за счет повышения доступности финансовых ресурсов, предоставления в аренду и продажи неиспользуемого государственного имущества;

- устранение необоснованного вмешательства государственных органов управления в деятельность субъектов малого агробизнеса;

- выделение дополнительных земельных угодий из состава смежных землепользований;

- развитие нетрадиционных отраслей и видов деятельности (агротуризм, органическое сельское хозяйство, пчеловодство, кролиководство, козоводство, овцеводство, пушное звероводство и другие).

В контексте современной аграрной политики и стратегии развития сельских территорий малые формы хозяйствования будут развиваться в качестве дополнения к крупнотоварному производству, позволяющего компенсировать его недостатки и минимизировать возможные негативные последствия. В частности, с помощью развития малых форм агробизнеса в значительной мере решается проблема скрытой безработицы на селе, которую на практике крупнотоварное производство за счет высокой интенсификации чаще всего лишь усугубляет. Существенно расширяется ассортимент продовольственных товаров в целях полного удовлетворения потребностей в них населения, увеличиваются объемы производства экологически чистой сельскохозяйственной продукции.

Незначительный масштаб производства и необходимость минимизировать затраты на реализацию функций организации производства и управления при отсутствии возможности их аутсорсинга приводят к определенным трудностям развития малых форм хозяйствования. Необходимость повышения качества менеджмента и активизации маркетинговой деятельности обуславливают передачу части управленческих функций (учет и статистическая отчетность, подготовка кредитных заявок, предложений на участие в различных программах, анализ рынков сельскохозяйственной продукции и покупка необходимых ресурсов, оценка перспективных технологий, прогнозирование и т.д.) на принципах аутсорсинга специализированным структурам. Это позволит не только повысить эффективность принимаемых решений, но и существенно сократить объем текущих затрат по менеджменту. При этом важнейшим условием повышения качества управления является непрерывное повышение квалификации сельских предпринимателей [2].

В перспективе ЛПХ должны сыграть большую роль в трудоустройстве безработного сельского насе-

ления. Для этого на законодательном уровне необходимо решить вопрос об учете времени работы населения, занятого в ЛПХ при определении стажа работы для установления размера государственных пенсий.

Предопределение ряда деструктивных тенденций в развитии аграрного сектора экономики страны и выход на траекторию стабильного экономического роста будет во многом зависеть от эффективного функционирования всех субъектов хозяйствования, включая и малые формы. По мнению автора, с учетом реализации Указа Президента Республики Беларусь от 04.07.2016 № 253 «О мерах по финансовому оздоровлению сельскохозяйственных организаций», малые формы хозяйствования могут стать переходной моделью финансового оздоровления неплатежеспособных сельскохозяйственных организаций.

Реализация комплекса вышеуказанных предложений будет способствовать переходу форм малого агробизнеса на инновационную модель развития. В результате этого значительно повысится конкурентоспособность и роль фермерства в обеспечении регионов дефицитными видами продовольствия, особенно экологически чистыми, создании новых рабочих мест в сельской местности и повышении уровня доходов сельского населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы и внесении изменений в постановление Совета

Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585: пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 11 марта 2016 г., № 166 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «Юр-Спектр», Нац. Центр правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2016.

2. Рошка, Т.Б. Проблемы функционирования и перспективы развития крестьянских (фермерских) хозяйств в АПК Республики Беларусь / Т.Б. Рошка, Н.Л. Кулакова, А.Г. Король // Молодой ученый. – 2014. – № 5. – С. 307-311.

3. Иванова, С.А. Развитие малых форм бизнеса в системе кластеров / С.А. Иванова // Академический вестник. – 2010. – № 5. – С. 20-28.

4. Лисин, М.Н. Формирование кластера малых форм хозяйствования регионального АПК: автореф.... дис. канд. экон. наук: 08.00.05 / М.Н. Лисин. – М., 2013. – 21 с.

5. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / ред. кол.: И.В. Медведева (предис.) [и др.] / Нац. стат. комитет Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 232 с.

6. Яковчик, Н.С. Современное состояние, проблемы и перспективы развития малого агробизнеса в Республике Беларусь: материалы XI Междунар. научно-практич. конф., Минск, 13-14 октября 2016 г. / Н.С. Яковчик, Н. Мысливец. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2017. – С. 242-245.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28.09.2017

Микропроцессорная система кормления свиней

Предназначена для оперативного изменения доз кормления, контроля процесса кормления, учета расхода сухого и жидкого корма.

Разработанная система позволяет автоматизировать процесс кормления свиней, повысить эффективность и снизить издержки производства свинины.

Основные технические данные

1. Полная совместимость с типовым технологическим оборудованием КПС-54, КПС-108.
2. Нормированное кормление, оперативное изменение норм кормления.
3. Расчет фактических объемов замеса и раздачи жидкого корма без остатков.
4. Сокращение времени кормления в 1,5...2 раза.
5. Значительно дешевле и лучше западных аналогов.



Правила для авторов

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

Приказом ВАК от 4 июля 2005 г. № 101 (в редакции приказа ВАК от 2.02.2011 г. № 26) журнал «Агропанорама» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным (зоотехния) наукам.

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, представляемая в редакцию, 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, используются 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 и рисунки должны быть представлены в электронном виде в отдельных файлах формата *.tif или *.jpg с разрешением 300 dpi.

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

индекс УДК;

название статьи;

фамилию и инициалы, должность, ученую степень и звание автора (авторов) статьи;

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

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 освещать содержание исследований, проведенных авторами.

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

Дополнительно в структуру статьи может быть включен 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 образования, организации, предприятия, ученую степень и ученое звание (если есть), а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный или домашний) каждого автора.

8. Авторы несут ответственность за направление в редакцию статей, опубликованных ранее или принятых к печати другими изданиями.

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

10. Право первоочередного опубликования статей предоставляется лицам, осуществляющим послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство), в год завершения обучения.

Авторские материалы для публикации в журнале «Агропанорама» направляются в редакцию по адресу:

*220023, г. Минск, пр-т Независимости, 99,
корп. 5, к. 602; 608. БГАТУ*

Устройство для сдваивания колес тракторов «БЕЛАРУС»

Предназначено для улучшения агроэкологических свойств тракторов при выполнении сельскохозяйственных и транспортных работ. Устройство позволяет значительно снизить давление на почву ходовой части трактора, нагрузки на передачи и полуоси ведущих мостов тракторов, а также трансмиссию в целом, повысить транспортную скорость, уменьшить расход топлива, улучшить управляемость и поворотливость агрегатов. Эффективность достигается благодаря периодическому отключению и переводу в ведомый режим наружных колес трактора. Для перевода наружных колес на необходимый режим используется имеющаяся на тракторе пневмосистема. Конструкция защищена патентом Республики Беларусь №16282.



Основные технические данные

<i>Максимальные габаритные размеры, мм</i>	420x550
<i>Масса комплекта, кг</i>	90...200
<i>Способ управления включением наружного колеса</i>	периодически от пневмосистемы трактора
<i>Рабочее давление в пневмокамерах, МПа</i>	0,8
<i>Время включения/выключения пневмопривода, с</i>	100/60
<i>Снижение давления на почву ходовой части тракторов, %</i>	25...40

