



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

# АГРОПАНОРАМА

№ 5/2008

*В номере:*

*Предпосевная обработка почвы агрегатами с пассивными и активными рабочими органами*

*Влияние различных методов интенсификации рыбоводства на рыбопродуктивность прудов*

*Защита трехфазных асинхронных электродвигателей комплексными универсальными средствами*



# **УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»**

**объявляет прием в аспирантуру в 2008 году по следующим специальностям:**

- 05.20.01 – «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».
- 05.20.02 – «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве».
- 05.20.03 – «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве».
- 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».
- 08.00.05 – «Экономика и управление народным хозяйством».
- 13.00.02 – «Теория и методика обучения и воспитания».

**Принимаются лица, имеющие высшее профессиональное образование и склонность к научным исследованиям.**

**Прием документов – с 15 октября по 15 ноября 2008 г.**

Вступительные экзамены по специальности, иностранным языкам и философии в объеме действующих учебных программ для вузов – с 1 по 15 декабря 2008 г.

**Зачисление – с 16 по 27 декабря 2008 г.**

***Поступающие в аспирантуру представляют в приемную комиссию следующие документы:***

- заявление на имя ректора университета по установленной форме;
- личный листок по учёту кадров;
- три фотографии размером 4 x 6 см;
- автобиографию;
- список и копии опубликованных работ, изобретений, список отчётов о научно-исследовательской работе. При отсутствии опубликованных работ представляется научный реферат по избранной теме в соответствии со специальностью;
- выписку из протокола заседания совета факультета высшего учебного заведения для лиц, рекомендованных в аспирантуру непосредственно после окончания высших учебных заведений;
- копию диплома о высшем образовании и копию приложения к диплому;
- медицинскую справку по форме, установленной Министерством здравоохранения РБ для поступающих в высшие учебные заведения;
- выписку из трудовой книжки (для работающих);
- удостоверение по форме 2.2. о сдаче (полностью или частично) кандидатских экзаменов;
- характеристику с последнего места работы или учебного заведения;
- лица, поступающие в аспирантуру по направлению организаций, дополнительно представляют проект договора между направляющей стороной и организацией, осуществляющей подготовку кадров высшей научной квалификации;
- контракт для иностранных граждан и лиц, обучающихся за личные средства или средства предприятий, организаций.

Паспорт и диплом об окончании высшего учебного заведения предъявляются лично поступающим в аспирантуру.

***Подробная информация на сайте БГАТУ: [www.batu.edu.by](http://www.batu.edu.by) и по телефону аспирантуры (017) 2672523.***

**Адрес приёмной комиссии:**

**220012, г. Минск, пр. Независимости, 99/1, каб. 327а.**

# АГРОПАНОРАМА 5`(69) 2008

Издается с апреля 1997 г.

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

Учредитель  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный  
аграрный технический университет»

## Редколлегия:

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

## Члены редколлегии:

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

Менеджер  
Леван В.Г.  
Компьютерная верстка  
Медведев В.С.

## Адрес редакции:

Минск, пр-т Независимости, д.99/1, к.333  
Тел. (017) 267-61-21, 267-22-14  
Факс (017) 267-34-74  
E-mail: [rva.nich@batu.edu.by](mailto:rva.nich@batu.edu.by)

БГАТУ, 2006, Издание университетское.  
Формат издания 60 x 84 1/8.  
Подписано в печать с готового оригинала-  
макета 21.10.2008 г.  
Печать офсетная. Тираж 500 экз.  
Зак. № 937 от 21.10.2008 г.  
Статьи рецензируются. Отпечатано в ИПЦ  
БГАТУ по адресу: г. Минск,  
пр-т. Независимости, 99, к.2  
Выходит один раз в два месяца.  
**Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.**

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

## ЧИТАЙТЕ В НОМЕРЕ

Н.Д. ЛЕПЕШКИН, А.А. ТОЧИЦКИЙ, С.Ф. ЛОЙКО Предпосевная обработка почвы агрегатами с пассивными и активными рабочими органами.....	2
Н.К. ЗАЙЦЕВА, К.Э. ГАРКУША, В.А. КОРОТИНСКИЙ, Е.В. ХОТКЕВИЧ, Н.П. ВОРОБЕЙ Обоснование выбора предизолированных труб для прокладки распределительных внутриквартальных тепловых сетей.....	5
З.В. ЛОВКИС, В.В. ЛИТВЯК, М.П. КУПЧИК, Е.В. РЕБЕНОК Изменение водородного показателя pH во время электро- химической модификации картофельного крахмала.....	9
Т.В. КОЗЛОВА, А.И. КОЗЛОВ, М.В. ШАЛАК Влияние различных методов интенсификации рыбоводства на рыбопродуктивность прудов.....	11
Н.Ф. БОНДАРЬ, Л.Л. КРУГОВА, Н.И. ГОЛУБЬ, А.Н. ДЫЛЬКО Новые методы оценки уровня и качества клетчатки в кормах.....	15
В.И. РУСАН, О.Ю. ПУХАЛЬСКАЯ Вероятностно-статистические модели ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения.....	20
В.П. СЧАСТНЫЙ Об эффективности функционирования комплекса технических средств в электрических сетях 0,38 кВ сельскохозяйственных объектов.....	24
В.В. ГУРИН, Е.В. ЛАВЦЕВИЧ Защита трехфазных асинхронных электродвигателей комплексными универсальными средствами.....	28
Ю.А. СИДОРЕНКО, Ю.А. ШИМКО Колонковые зерносушилки как объект автоматизированного управления влажностью зерна на выходе.....	33
А.С. ВОРОБЕЙ Состояние и перспективы развития картофелеводства.....	36
В.Г. АНДРУШ Выбор рационального режима обкатки двигателя после ремонта.....	39
А.М. ЗАЕЦ Обоснование и расчет параметров процесса сортирования корнеплодов моркови.....	44

## ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ АГРЕГАТАМИ С ПАССИВНЫМИ И АКТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Н.Д. Лепешкин, канд. техн. наук, А.А. Точицкий, канд. техн. наук, С.Ф. Лойко, инженер (РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»)

### Аннотация

*В статье выполнен анализ преимуществ и недостатков применения орудий с активными и пассивными рабочими органами для предпосевной обработки почвы в различных почвенно-климатических условиях республики в соответствии с агротехническими требованиями. Приведены новые технические решения, их характеристика и экономическая эффективность использования при предпосевной подготовке тяжелых почв.*

### Введение

Предпосевная обработка почвы является финишной и наиболее ответственной операцией. При ее проведении почве должны придаваться такие свойства, которые позволяют добиться оптимального сочетания необходимых для нормального развития растений факторов – воды, кислорода и тепла.

Агрономическими исследованиями установлено, что наилучшее сочетание этих факторов достигается при расположении семян на границе двух слоев – плотного (нижнего) и рыхлого (верхнего) [1]. В этом случае они снабжаются водой, которая поступает из глубины по капиллярам, кислородом и теплом, поступающими через верхний слой. При этом через верхний слой свободно удаляется углекислый газ. Для осуществления этих процессов нижний слой должен иметь плотность 1,1–1,3 г/см<sup>3</sup>, а в почве должны преобладать комки диаметром 1–2,5 мм (не менее 80%). Поверхность поля при этом должна быть выровненной, допустимая гребнистость – 3–4 см.

Таким образом, чтобы сформировать посевной слой в соответствии с агротехническими требованиями необходимо выполнить рыхление, крошение, выравнивание и подуплотнение почвы на глубину заделки семян.

### Основная часть

#### Анализ существующих машин для предпосевной обработки почвы

Для проведения предпосевной обработки почвы в мировой практике применяются комбинированные агрегаты с пассивными и активными рабочими органами. Агрегаты с пассивными рабочими органами в основном

состоят: из рыхлительных лап, установленных на пружинных S-образных стойках и расположенных в 3–5 рядов, и катков с трехрядным расположением (рис. 1). Рыхлительные рабочие органы располагаются между первым и вторым рядами катков, которые в рабочем положении агрегатов являются несущими. Катки применяют планчатые, трубчатые, кольчато-шпоровые.

В нашей стране и за ее пределами широкое применение для предпосевной обработки почвы нашли комбинированные агрегаты типа АКШ различной ширины захвата и их модификации, выполненные по вышеописанной схеме. Многочисленные испытания показали, что на почвах лёгкого и среднего механического состава (песчаные, супесчаные, суглинистые) они за один проход по полю формируют семенное

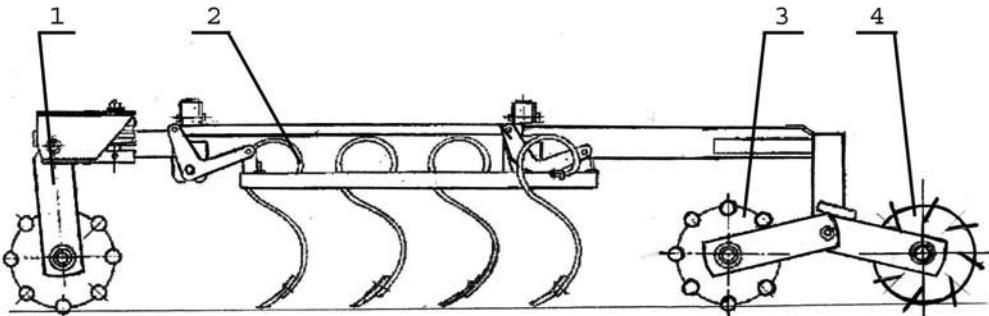


Рисунок 1. Состав агрегатов с пассивными рабочими органами:  
1 – каток первого ряда; 2 – S-образные стойки с рыхлительными рабочими органами; 3, 4 – катки второго и третьего рядов

ложе. Количество комков в посевном слое диаметром от 1–2,5 мм составляет 90–95%, плотность рыхлого (верхнего) слоя – 0,9–1,1 г/см<sup>3</sup>, семенного ложа – 1,1–1,3 г/см<sup>3</sup>, глубина расположения семенного ложа – 3–5 см и гребнистость поверхности – до 2 см.

Благодаря качественной обработке, при правильном применении этих агрегатов, как показали полевые опыты и широкая производственная проверка, урожайность зерновых повышается на 1,5–4,4 ц/га. Кроме этого, по сравнению с однооперационными машинами, их применение позволяет снизить расход топлива на 4–7 кг/га. Таким образом, сочетание пассивных рабочих

органов в агрегатах АКШ при обработке лёгких и средних по механическому составу почв полностью удовлетворяет агротехническим требованиям подготовки почвы к посеву.

При предпосевной обработке тяжелых суглинистых и глинистых почв орудиями с пассивными рабочими органами, для создания посевного слоя в соответствии с агротехническими требованиями, как показывает практический опыт, требуется не менее двух или трех проходов. Общий расход топлива при этом достигает 25-30 кг/га. Здесь оправданным становится использование агрегатов с активными рабочими органами, способными за один проход сформировать посевной слой.

Применение орудий с активными рабочими органами бывает особенно целесообразным в летний и осенний периоды, когда почва просыхает и становится комковатой. В таких случаях эти орудия способны крошить комковатую и глыбистую почву за один проход при расходе топлива 12-15 кг/га [2].

Машины с активными рабочими органами (приводимые в движение от ВОМ трактора) для обработки почвы также давно известны на практике. В 60-80 годах прошлого столетия в странах Западной Европы многими фирмами-производителями выпускались и имели широкое применение в хозяйствах почвенные фрезы, роторные (вертикально-фрезерные), ротационные (с горизонтальной осью вращения зубьев) и вибрационные бороны.

В настоящее время практически не применяются ротационные и вибрационные бороны и крайне ограничено используются почвенные фрезы. Только роторные бороны продолжают находить применение в силу ряда своих преимуществ перед другими орудиями с активными рабочими органами. Они более щадящие воздействуют на почву, обладают большей универсальностью при применении на различных агрофонах, имеют меньшую энергоёмкость, более высокую производительность за счёт большей поступательной скорости, и в меньшей степени передают вибрационные нагрузки на энергетическое средство.

При анализе технологических схем, конструкций и практического использования агрегатов с активными и пассивными рабочими органами можно выделить следующие преимущества и недостатки:

- активные рабочие органы позволяют более полно и эффективно использовать мощность энергетического средства, снизить потери на буксование;
- небольшие габариты агрегатов с активными рабочими органами позволяют на их базе составлять компактные комбинированные почвообрабатывающие-посевные агрегаты;
- орудия с пассивными рабочими органами вследствие большой длины требуют в 2,5 раза большую подъемную силу по сравнению с их массой, а орудия с активными рабочими органами – в 1,5 раза;
- из-за трудностей, связанных с приводом рабочих органов на складывающихся в транспортное положение орудиях, ширина захвата их не превышает 6 м, а орудия с пассивными рабочими органами на сегодняшний момент достигают ширины захвата до 18 метров;

– рабочая скорость орудий с активными рабочими органами не превышает 8 км/ч, современные орудия с пассивными рабочими органами могут работать со скоростью до 15 км/ч.

Таким образом, анализ используемых методов и технических средств обработки почвы показывает, что в существующих системах земледелия Республики Беларусь могут применяться на предпосевной обработке почвы машины с пассивными и активными рабочими органами. Учитывая почвенные условия нашей страны (68% пашни расположено на легких почвах, 5,2% - на торфяных, 26,2% - на тяжелых суглинистых и глинистых), в общем парке почвообрабатывающей техники машины с пассивными рабочими органами должны составлять не менее 70%, а с активными – до 30%.

### Направление решения задачи

В настоящее время в хозяйствах республики используются импортные орудия с активными рабочими органами. Как показали многочисленные испытания и производственная проверка других машин зарубежного производства для возделывания сельскохозяйственных культур, себестоимость их применения по сравнению с отечественными в 1,5-2 раза больше. Кроме этого, некоторые из них не адаптированы к почвенно-производственным условиям хозяйств республики.

В связи с этим создание отечественных агрегатов с активными рабочими органами является актуальной задачей.

В РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработаны комбинированные почвообрабатывающие агрегаты АКП-3, АКП-4 и АКП-6 с активными рабочими органами. В настоящее время освоение их серийного производства ведется в РУП «Сморгоньский завод оптического станкостроения», где также были изготовлены опытные образцы, которые в 2006 году успешно прошли государственные приемочные испытания.

Общее устройство агрегатов представлено на рис. 2. Агрегаты навешиваются на навесное устройство трактора при помощи навески 1 и присоединительной оси 2. Привод рабочих органов осуществляется от ВОМ тягового средства. Далее вращающий момент передается через карданный вал 3 на редуктор 4, установленный на секции роторов 5, а от него за счет конической зубчатой передачи на ведущий ротор 6. От ведущего ротора 6 приводятся в действие тринадцать ведомых роторов 7. Все роторы находятся в постоянном зацеплении между собой посредством цилиндрических зубчатых шестерен. На каждом роторе установлено по два рыхлительных зуба 12. Для изменения частоты вращения роторов предусмотрен рычаг 8, установленный на редукторе 4. За роторами установлен отражатель 9. К секции роторов 5 шарнирно крепится уплотнительный каток 10 с винтовыми механизмами 11 для регулировки глубины обработки почвы зубьями 12. Уплотнительный каток является несущим в рабочем положении агрегата.

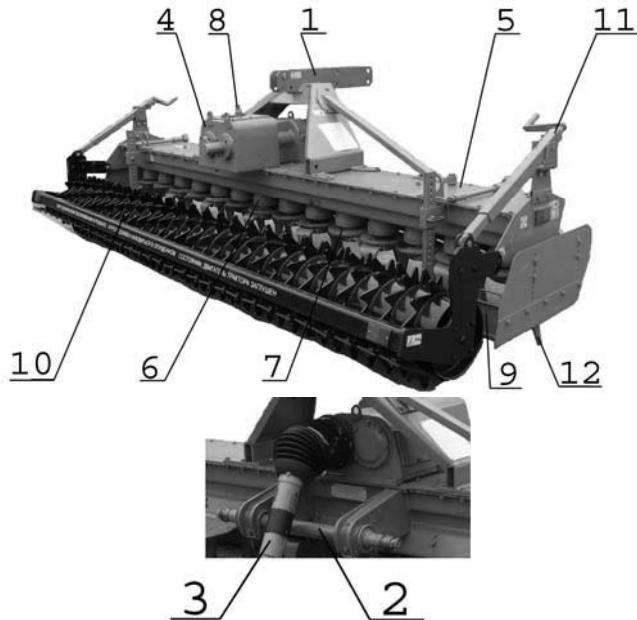


Рисунок 2. Агрегат комбинированный почвообрабатывающий АКП-4:

1 – наивеска; 2 – ось присоединительная; 3 – вал карданный; 4 – редуктор; 5 – секция роторов; 6 – ротор ведущий; 7 – ротор ведомый; 8 – рычаг; 9 – отражатель; 10 – каток; 11 – механизм винтовой; 12 – зуб рыхлительный

Агрегат комбинированный АКП-6 в отличие от АКП-4 выполнен трехсекционным, поэтому у него имеются две боковых секции с редукторами, которые получают привод от главного редуктора, установленного на центральной секции через два карданных вала, и передают крутящий момент на роторы боковых секций. На каждой секции АКП-6 установлены отражатель и уплотнительный каток с винтовым механизмом. Для складывания боковых секций этого агрегата предусмотрены гидроцилиндры.

Технологический процесс предпосевной обработки почвы агрегатами АКП происходит следующим образом (рис. 3). При вращении роторов, установленные на них зубья производят рыхление и крошение комков и глыб. Установленный за ними отражатель задерживает активный поток почвы от вылета за каток и выравнивает обработанную поверхность. Идущий за отражателем каток производит окончательное выравнивание и подуплотнение посевного слоя.

Техническая характеристика агрегатов комбинированных АКП представлена в таблице.

В результате государственных приемочных испытаний опытных образцов агрегатов АКП-4 и АКП-6 было установлено, что они качественно выполняют технологический процесс в соответствии с агротехническими требованиями на различных фонах [3, 4]: количество комков размером до 25 мм в обработанном слое 85-98,6%; гребнистость поверхности поля – 2-4 см; плотность почвы в слое 0-3 см – 0,8-1,1 г/см<sup>3</sup>, в слое 3-8 см – 1,0-1,2 г/см<sup>3</sup>.

Показатели экономической эффективности агрегатов АКП-4 и АКП-6 в сравнении с агрегатами KG-403 и KG-603 фирмы «Amazone» (Германия) следующие:

– себестоимость механизированных работ агрегатов АКП-4 и KG-403 составила 59,5 тыс.руб./га и 67,2 тыс.руб./га, агрегатов АКП-6 и KG-603 – 71,3 тыс.руб./га и 82,6 тыс.руб./га соответственно;

– сумма приведенных затрат (с учетом коэффициента Е=0,2) агрегатов АКП-4 и KG-403 составила 98,1 тыс.руб./га и 112,6 тыс.руб./га, агрегатов АКП-6 и KG-603 – 131,5 тыс.руб./га и 143,6 тыс.руб./га соответственно;

– годовой приведенный экономический эффект

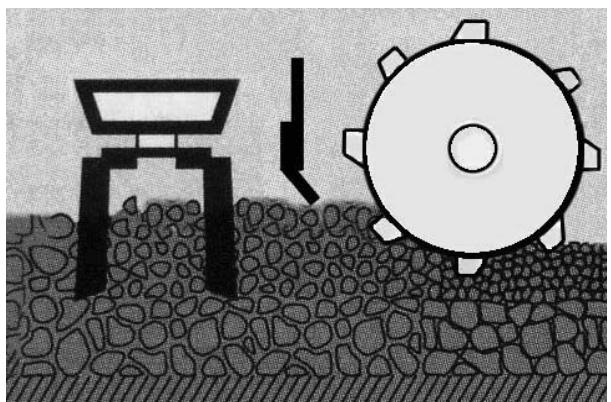


Рисунок 3. Технологический процесс обработки почвы агрегатами АКП

#### Техническая характеристика агрегатов комбинированных АКП

Наименование показателей	Значение	
	АКП-4	АКП-6
1. Тип агрегата	навесной	
2. Агрегатирование	Беларус 2022	Беларус 2522
3. Масса, кг	2300	4500
4. Рабочая скорость, км/ч	3-8	
5. Производительность за 1 час, га:		
- основного времени	1,2-3,2	1,8-4,8
- сменного времени	0,9-2,4	1,35-3,6
6. Ширина захвата, м	4	6
7. Глубина обработки, см	4-15	
8. Коэффициент использования сменного времени	0,75	
9. Удельный расход топлива за сменное время работы, кг/га:		
- при глубине обработки до 8 см	13,3	12,0
- при глубине обработки выше 8 см	32,4	28,6
10. Установочная частота вращения роторов, мин <sup>-1</sup> :		
- при оборотах ВОМ трактора 540 мин <sup>-1</sup>	172 и 221	-
- при оборотах ВОМ трактора 1000 мин <sup>-1</sup>	318 и 410	318 и 410

при применении агрегатов АКП-4 и АКП-6 составил 1299,4 тыс.руб. и 7861,1 тыс.руб.

Кроме этого, еще большей эффективности от применения агрегатов АКП можно достичь при их использовании в составе комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов. В связи с этим в настоящее время РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработаны и проходят государственные испытания опытные образцы этих агрегатов со сменными пассивными и активными почвообрабатывающими рабочими органами, адаптированными к различным почвенным условиям республики. Конструкциями АКП-4 и АКП-6 предусмотрена возможность их применения в составе почвообрабатывающе-посевных агрегатов в комплектации с клиновидными катками.

### **Выводы**

1. Анализ почвенно-климатических условий Беларуси, агротехнических требований к предпосевной обработке почвы и конструкций агрегатов показывает, что на легких (песчаных, супесчаных и легкосуглинистых) почвах высокого качества подготовки можно достичь орудиями с пассивными рабочими органами (типа АКШ). На тяжелых суглинистых и глинистых почвах лучшие пока-

затели эффективности достигаются применением орудий с активными рабочими органами (типа АКП).

2. Применение отечественных агрегатов на предпосевной обработке почвы сокращает себестоимость работ на 12-15%, что позволяет получить годовой приведенный экономический эффект равный 1299,4 тыс.руб. (АКП-4) и 7861,1 тыс.руб. (АКП-6).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ламан, Н.А. Потенциал продуктивности хлебных злаков: технологические аспекты реализации/ Н.А. Ламан, Б.Н. Янушкевич, К.И. Хмурец. – Минск: Наука и техника, 1987. – 224 с.

2. Обработка почвы при интенсивном возделывании полевых культур/ Т.Карповский, И.Касимов, Б.Ключков [и др.]; пер. с польск. Н.А. Чупеева; под ред. и с предисл. А.С. Кушнарева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 248 с.

3. Протокол №155-2006 приемочных испытаний опытного образца агрегата комбинированного почвообрабатывающего АКП-4. – Минск: ИЦ ГУ «Белорусская МИС», 2006. – 53 с.

4. Протокол №152-2006 приемочных испытаний опытного образца агрегата комбинированного почвообрабатывающего АКП-6. – Минск: ИЦ ГУ «Белорусская МИС», 2006. – 57 с.

УДК 699.86: 621.643 (075.8)

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.04. 2008

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРЕДИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВНУТРИКВАРТАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

**Н.К. Зайцева, канд. техн. наук, доцент, К.Э. Гаркуша, канд. техн. наук, доцент, В.А. Коротинский, канд. техн. наук, доцент, Е.В. Хоткевич, студент, Н.П. Воробей, студент (УО БГАТУ)**

### **Аннотация**

*Авторы статьи предлагают при прокладке внутридворовых тепловых сетей применять гибкие предизолированные трубы ввиду их долговечности, сокращения сроков монтажа и уменьшения объемов земляных работ.*

### **Введение**

Одним из основных пунктов программ по энергосбережению является использование в строительстве предизолированных труб, имеющих высокие теплотехнические характеристики. Выбор данной категории труб повышает надёжность работы тепловых сетей и их долговечность, а также сокращает сроки монтажа.

Наиболее подверженными коррозии являются распределительные внутридворовые тепловые сети систем отопления и горячего водоснабжения. Металлические трубы, по которым транспортируется горячая вода, в некоторых районах Республики Беларусь из-за коррозии выходят из строя в течение 2-5 лет, поэтому внедрение современных научноёмких

энергосберегающих технологий позволяет создать надёжную систему теплоснабжения с надлежащими тепловыми и гидравлическими характеристиками.

### **Основная часть**

Предизолированные трубопроводы выпускаются трёх видов: с использованием внутренней стальной трубы (ПИ-трубы), внутренней трубы из сшитого полиэтилена ПЭ-Х (Изопрофлекс) и внутренней трубы из модифицированного полиэтилена ПЭ-С (Изопекс). В качестве тепловой изоляции применяется пенополиуретан. Гидроизоляцией в трубах Изопрофлекс и Изопекс служит гофрированная, а у ПИ-трубы – гладкая, полиэтиленовая оболочка. Все трубы имеют высокие теплотехнические и гидравлические качества, прокладываются бесканально.

ПИ-трубы используются для прокладки тепловых сетей, диаметром от 20 до 1200 мм, с температурой теплоносителя до 150 °C. Трубы Изопэкс работают в диапазоне температур до 90°C (кратковременно до 100°C) при давлении 0,6 и 1,0 МПа и выпускаются диаметром от 16 до 110 мм. Трубы Изопрофлекс имеют диаметры от 25 до 160 мм и прокладываются при теплоносителе с температурой до 95°C (кратковременно до 115°C) и давлением 0,6 и 1,0 МПа.

Если при прокладке ПИ-труб предусматривают компенсацию температурных удлинений, то трубы Изопрофлекс и Изопэкс являются самокомпенсирующимися, а повороты трассы осуществляются за счёт гибкости самих труб. В отличие от ПИ-труб полимерные трубы Изопрофлекс и Изопэкс имеют малый вес и поставляются на объекты длинномерными отрезками в бухтах, благодаря чему облегчается их транспортировка, и сокращаются сроки и стоимость монтажных работ.

Использование труб Изопрофлекс и Изопэкс позволяет при соблюдении условий монтажа и эксплуатации увеличить срок службы до 50 лет.

Сравним теплотехнические, гидравлические и технико-экономические характеристики рассматриваемых предизолированных трубопроводов.

#### Тепловой расчет

Тепловой расчёт трубопроводов при заданной конструкции тепловой изоляции проводится с целью определения тепловых потерь. Для этого по стандартной методике [1] рассчитывается термическое

сопротивление несущей трубы, покровного слоя, теплоизоляции и грунта.

На рис. 1 указано расположение труб в траншее.

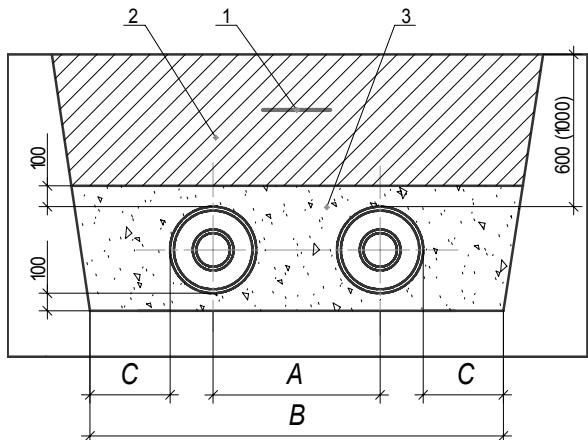


Рисунок 1. Расположение труб в траншее:  
1 – сигнальная лента; 2 – засыпка грунтом;  
3 – засыпка песком

Глубина заложения трубы принята 1м.

Температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах принята  $t_1 = 65^{\circ}\text{C}$  и  $t_2 = 50^{\circ}\text{C}$  соответственно [2], температура грунта на глубине залегания оси трубопровода –  $t_{\text{tp}} = 5^{\circ}\text{C}$ . Характерные размеры прокладки, регламентируемые техническими условиями производителей для разных типов труб, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Расстояние между трубами и размеры траншеи

ИЗОПЭКС	dy, MM	A, M	B, M	C, m	ИЗОПРОФЛЕКС	dy, MM	A, M	B, M	C, m	ПИ-ТРУБА	dy, MM	A, M	B, M	C, M
	12	0,370	0,66	0,1		20,4	0,275	0,75	0,2		25	0,240	0,93	0,3
16	0,370	0,66	0,1		26,2	0,275	0,75	0,2		32	0,240	0,97	0,3	
20,4	0,370	0,66	0,1		32,6	0,275	0,75	0,2		40	0,260	0,97	0,3	
26,2	0,370	0,66	0,1		40,8	0,290	0,8	0,2		50	0,260	1	0,3	
32,6	0,370	0,66	0,1		40,2	0,290	0,8	0,2		65	0,275	1,03	0,3	
32,6	0,390	0,7	0,1		51,4	0,310	0,85	0,2		80	0,290	1,07	0,3	
40,8	0,390	0,7	0,1		50,4	0,310	0,85	0,2		100	0,310	1,15	0,3	
40,8	0,405	0,73	0,1		61,4	0,325	0,85	0,2		125	0,450	1,3	0,3	
51,4	0,405	0,73	0,1		60,6	0,325	0,85	0,2		150	0,500	1,35	0,3	
51,4	0,420	0,76	0,1		73,6	0,340	0,9	0,2		–	–	–	–	
61,4	0,420	0,76	0,1		98	0,360	0,95	0,2		–	–	–	–	
73,6	0,480	0,84	0,1		114,4	0,400	0,105	0,2		–	–	–	–	
90	0,480	0,84	0,1		129,6	0,425	0,11	0,2		–	–	–	–	

Таблица 2. Определение теплопотерь трубопроводов

ИЗОПЭКС	dy, MM	q <sub>1</sub> , Вт/М	q <sub>2</sub> , Вт/М	ИЗОПРОФЛЕКС	dy, MM	q <sub>1</sub> , Вт/М	q <sub>2</sub> , Вт/М	ПИ-ТРУБА	dy, MM	q <sub>1</sub> , Вт/М	q <sub>2</sub> , Вт/М	q <sub>1</sub> <sup>норм</sup> , Вт/М	q <sub>2</sub> <sup>норм</sup> , Вт/М
	12	5,987	4,455		–	–	–		–	–	–	16,4	12,1
16	6,833	5,071			20,4	8,859	6,553		–	–	–	16,9	12,6
20,4	7,949	5,890			26,2	11,199	8,253		–	–	–	17,2	13
26,2	9,692	7,161			32,6	14,704	10,772		25	10,545	7,772	18	13,5
32,6	12,080	8,891			40,8	15,615	11,429		32	12,476	9,163	19,6	15
40,8	12,403	9,123			51,4	16,369	11,975		40	12,111	8,907	21,4	16,3
51,4	14,084	10,331			61,4	17,756	12,967		50	16,030	11,709	22	17
61,4	15,360	11,243			73,6	20,296	14,770		65	20,448	14,830	25	19
73,6	16,661	12,242			98	23,455	16,998		80	22,411	16,211	30,6	23,4
90	24,145	17,564			114,4	24,538	17,784		100	25,236	18,184	33	25,2
–	–	–			129,6	25,708	18,620		–	–	–	34,5	26,3
–	–	–			–	–	–		125	24,753	17,971	36,6	27,6
–	–	–			–	–	–		150	22,770	16,605	41,4	31,2

**Таблица 3. Определение экономии тепловой энергии**

ИЗОПЭКС	d <sub>y</sub> , мм	эконом. q <sub>1</sub> , %	эконом. q <sub>2</sub> , %	ИЗОПРОФЛЕКС	d <sub>y</sub> , мм	эконом. q <sub>1</sub> , %	эконом. q <sub>2</sub> , %	ПИ-ТРУБА	d <sub>y</sub> , мм	эконом. q <sub>1</sub> , %	эконом. q <sub>2</sub> , %
	12	63,49	63,19		—	—	—		—	—	—
	16	59,57	59,75		—	—	—		—	—	—
	20,4	53,78	54,69		20,4	48,50	49,59		—	—	—
	26,2	46,15	46,96		26,2	37,78	38,87		25	41,42	42,43
	32,6	38,37	40,73		32,6	24,98	28,19		32	36,35	38,91
	40,8	42,04	44,03		40,8	27,03	29,88		40	43,41	45,36
	51,4	35,98	39,23		51,4	25,59	29,56		50	27,14	31,12
	61,4	38,56	40,83		61,4	28,97	31,75		65	18,21	21,95
	73,6	45,55	47,68		73,6	33,67	36,88		80	26,76	30,72
	90	26,83	30,30		98	28,93	32,55		100	23,53	27,84
	—	—	—		114,4	28,88	32,38		—	—	—
	—	—	—		129,6	29,76	32,54		125	32,37	34,89
	—	—	—		—	—	—		150	45,00	46,78

Из табл. 1 видно, что при одинаковых диаметрах наименьший объём земляных работ характерен для гибких полиэтиленовых труб Изопэкс и Изопрофлекс. Согласно [2] примем нормируемые значения теплопотерь с поправкой на коэффициент, учитывающий изменение норм плотности теплового потока при применении теплоизоляционного слоя из пенополиуретана. Проведём сравнение полученных результатов и определим экономию теплоты за счёт применения предизолированных труб по сравнению с трубами, имеющими нормируемые значения теплопотерь. Результат расчёта сведём в таблицы 2 и 3.

Как следует из вышеприведенных таблиц, по техническим характеристикам надо отдать предпочтение трубам Изопэкс, имеющим наименьшие теплопотери, хотя для всех труб характерны теплопотери ниже нормируемых [2].

#### Гидравлический расчет

При определении гидравлических характеристик труб Изопрофлекс и Изопэкс удельные потери давления рассчитывались согласно рекомендациям [1], а для ПИ-труб – согласно справочным данным [2].

Во всех расчётах приняты: длина трубопровода 100 м, температура теплоносителя  $\tau = 95^{\circ}\text{C}$ . Падение давления в трубопроводе, Па, определяется как:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{л}} + \Delta p_{\text{м}},$$

где  $\Delta p_{\text{л}}$  – линейное падение давления;

$\Delta p_{\text{м}}$  – падение давления в местных сопротивлениях.

**Таблица 4. Результаты гидравлического расчёта труб Изопрофлекс и Изопэкс**

d <sub>y</sub> , мм	G, кг/ч	G, кг/с	R <sub>л</sub> , Па/м при тем-ре		$\lambda$ , при температуре		$\Delta R_{\text{л}}$ , Па при температуре		K <sub>э</sub> 10 <sup>3</sup> м, при температуре		S <sub>уд</sub> (95°C), Па·с <sup>2</sup> /(м·кг <sup>2</sup> )
			10	95	10	95	10	95	10	95	
61,4	5000	1,389	50	40	0,028	0,022	5000	4000	0,246	0,088	20,736
	10000	2,778	150	110	0,021	0,015	15000	11000	0,078	0,020	14,256
	15000	4,167	310	240	0,019	0,014	31000	24000	0,056	0,017	13,824
	20000	5,556	560	420	0,019	0,014	56000	42000	0,059	0,016	13,608
	25000	6,944	810	640	0,018	0,014	81000	64000	0,043	0,015	13,271
	30000	8,333	1120	900	0,017	0,013	112000	90000	0,037	0,013	12,960
	35000	9,722	1460	1220	0,017	0,013	146000	122000	0,031	0,013	12,907
40000	11,111	1880	1570	0,016	0,013		188000	157000	0,029	0,012	12,717

Так как при прокладке труб Изопрофлекс и Изопэкс не требуется установки компенсаторов, то падение давления на рассматриваемом участке будет равняться линейной составляющей. Для ПИ-труб предусматриваем один сильфонный компенсатор с местным сопротивлением  $\sum\xi = 0,3$ .

Коэффициент гидравлического трения можно выразить из формулы [3]:

$$R_{\text{л}} = 0,812 \cdot \lambda \cdot \frac{G^2}{d^5 \cdot \rho}, \quad \lambda = \frac{R_{\text{л}} \cdot d^5 \cdot \rho}{0,812 \cdot G^2},$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup> (при 10°C  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, при 95°C  $\rho = 965$  кг/м<sup>3</sup>);

$G$  – массовый расход воды, кг/с;

$R_{\text{л}}$  – удельное линейное падение давления, Па/м.

Определим абсолютную эквивалентную шероховатость  $k_{\text{э}}$ , м, выражая её из формулы:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{k_{\text{э}}}{d} \right)^{0,25}, \quad k_{\text{э}} = \frac{\lambda^4 \cdot d}{0,15}.$$

Удельное гидравлическое сопротивление  $S_{\text{уд}}$ , Па·с<sup>2</sup>/(м·кг<sup>2</sup>):

$$S_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{л}}}{G^2}.$$

Произведём гидравлический расчёт трубопроводов и его результат сведём в таблицы 4 и 5. В качестве примера рассмотрим трубы Изопрофлекс и Изопэкс диаметром 75 мм, ПИ-трубы – диаметром 76,1 мм (в таблицах обозначен соответствующий диаметр условного прохода).

**Таблица 5. Результаты гидравлического расчёта ПИ-труб**

$d_y$ , мм	G, кг/ч	G, кг/с	$R_{\text{п}}$ , Па/м	$\lambda$	$\Delta P_{\text{п}}$ , Па	$l_3$ , м	$\Delta P_{\text{м}}$ , Па	$\Delta P$ , кПа	$K_3 \cdot 10^3$ , м	$S_{\text{уд}}$ , Па·с <sup>2</sup> /(м·кг <sup>2</sup> )
65	1800	0,5	4,29	0,024	429	0,824	3,535	0,433	0,136	17,160
2880	0,8	10,7	0,023	1070	0,846	9,051	1,079	0,122	16,719	
4320	1,2	23,9	0,023	2390	0,852	20,364	2,410	0,119	16,597	
6480	1,8	55,3	0,024	5530	0,829	45,819	5,576	0,133	17,068	
8640	2,4	98,3	0,024	9830	0,829	81,455	9,911	0,133	17,066	
10800	3	154	0,024	15400	0,826	127,274	15,527	0,134	17,111	
12960	3,6	221	0,024	22100	0,829	183,274	22,283	0,132	17,052	
18000	5	426	0,023	42600	0,830	353,538	42,954	0,132	17,040	
21600	6	614	0,024	61400	0,829	509,095	61,909	0,133	17,056	

На основании расчетов можно сделать вывод, что по гидравлическим соображениям лучшими являются трубы Изопрофлекс и Изопэкс, т.к. у них при одном и том же расходе теплоносителя падение давления меньше, чем у ПИ-труб. В процессе расчёта для труб Изопрофлекс и Изопэкс были определены значения абсолютной эквивалентной шероховатости, которые в настоящий момент отсутствуют в справочной литературе. Следует отметить, что коэффициент эквивалентной шероховатости практически на порядок ниже, чем у ПИ-труб.

#### Технические, экономические и эксплуатационные преимущества систем гибких трубопроводов перед традиционными ПИ-трубами

Согласно данным СООО «Бел ЕвроТрубПласт», гибкие полиэтиленовые трубы Изопрофлекс имеют следующие преимущества по сравнению с металлическими ПИ-трубами:

1. Согласно статистике аварийных случаев, при использовании в Европе и России случается одно повреждение в год на 95 км трубопровода, тогда как на существующих сетях из ПИ-труб – 20-30 повреждений на 100 км.

#### Сравнительный анализ сметной стоимости объекта и сроков монтажа трубопроводов отопления при применении гибких труб и стальных предизолированных труб. Длина теплотрассы – 1000 м

МАТЕРИАЛЫ	Стоимость только трубы	Гибкая труба Ø63/110		ПИ-труба Ø57/125
		Длина трассы - 1000 м		
СТОИМОСТЬ ВИДОВ РАБОТ	Общая стоимость материалов	115,038200	47,200000	76,589932
Земляных работ		18,300000	32,560000	
Монтажа		2,891886	29,977286	
ОБЩАЯ СТОИМОСТЬ		136,589886	139,127218	
ПРИВЕДЁННАЯ СТОИМОСТЬ НА ГОД ЭКСПЛ.		2,731798	5,565089	
СРОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ (1 БРИГАДА)		8 дней	45 дней	

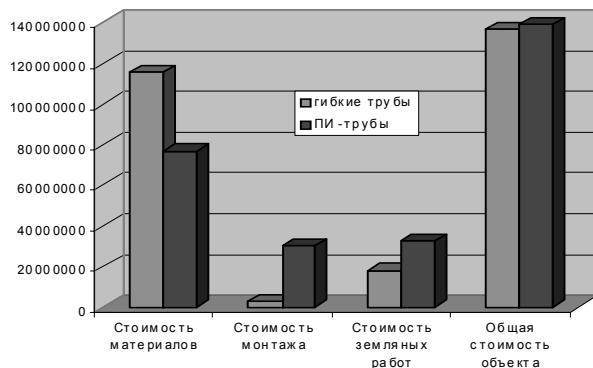


Рисунок 2. Сравнительная характеристика стоимости материалов и видов работ для рассматриваемых труб (руб.) [4]

2. Срок эксплуатации трубопроводов Изопрофлекс составляет не менее 50 лет, а металлических труб горячего водоснабжения – 5-15 лет.

3. Скорость монтажа труб Изопрофлекс в 5-10 раз выше, чем металлических. Система позволяет производить замену трубопровода с отключением потребителя за 2-3 часа, что даёт возможность ремонтировать сети в любое время года.

4. Объём земляных работ для гибких труб в несколько раз меньше, чем у ПИ-труб, за счет исключения операций по устройству компенсаторов и опор; стоимость монтажа в 5-10 раз ниже. Ремонтно-эксплуатационные расходы сокращаются в 2-3 раза, затраты на благоустройство в 3-4 раза ниже.

5. Трубы Изопрофлекс самокомпенсирующиеся, не подвержены внешней и внутренней коррозии, их пропускная способность сохраняется в течение всего срока эксплуатации.

6. Годовые приведенные эксплуатационные затраты примерно в 2-7 раз ниже, чем у традиционных ПИ-труб. Теплопотери составляют менее 2% (статистика Европы).

Сравнительная характеристика стоимости материалов и прокладки трубопровода с учётом срока эксплуатации представлены на рис. 2 и 3.

#### Заключение

Проведённые исследования предизолированных труб показали, что в системе теплоснабжения согласно тепловому расчёту целесообразнее применять трубы Изопэкс, т.к. они обладают наименьшими тепловыми потерями. Однако следует отметить, что согласно СНиП [3] теплопотери для всех вышеприведённых труб не выходят за нормативные значения. По гидравлическим показателям трубы Изопэкс и Изопрофлекс имеют преимущество перед ПИ-трубой,

т.к. при одном и том же расходе теплоносителя они имеют меньшее падение давления, что ведёт к уменьшению расходов электроэнергии на транспортировку теплоносителя.

Технико-экономическое сравнение показало, что, несмотря на значительно меньшую стоимость отдельно взятой металлической ПИ-трубы, общая стоимость проекта её прокладки выше, чем при использовании гибких труб.

В процессе расчётов были найдены значения абсолютной эквивалентной шероховатости гибких труб, данные по которым в настоящий момент отсутствуют в справочной литературе.

## ЛИТЕРАТУРА

- Копко, В.М. Тепловая изоляция трубопроводов теплосетей: уч.- метод. пособ./ В.М. Копко. – Минск: ТехноПринт, 2002. – 172 с.

- Справочник по теплоснабжению сельского хозяйства/ Л.С. Герасимович, А.Г. Цубанов, Б.Х. Драганов, А.Л. Синяков [и др.].– Минск: Ураджай, 1993. – 368 с.

- СНиП 2.04.14 – 88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – Москва, 1989. – 28 с.

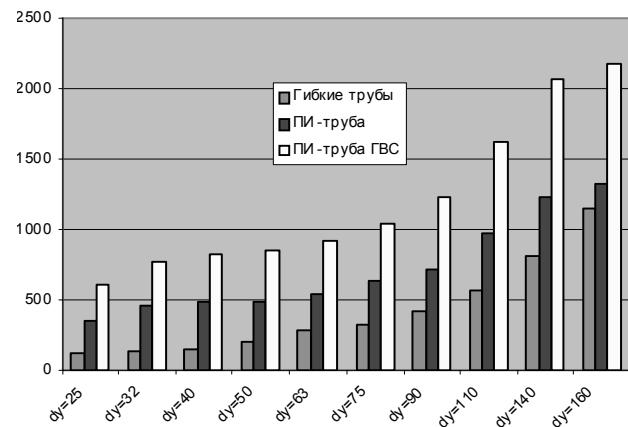


Рисунок 3. Стоимость прокладки трубопровода с учётом срока эксплуатации, у.е./год [4] (расчётный срок службы ПИ-трубы – 25 лет, гибкой – 50 лет)

- Технические рекомендации по проектированию и бесканальной прокладке трубопроводов из гибких ПЭ-С (PEX-A) труб с теплоизоляцией из пенополиуретана в гофрированной полиэтиленовой оболочке: изд. 3-е. – Санкт-Петербург, 2004. – 32 с.

УДК 664.282

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.06.2007

## ИЗМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ рН ВО ВРЕМЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

**З.В. Ловкис, докт. техн. наук, профессор, генеральный директор, В.В. Литвяк, канд. хим. наук (РУП «НПЦ НАН Беларусь по продовольствию»); М.П. Купчик, докт. техн. наук, профессор, Е.В. Ребенок, аспирант (Украинский Национальный университет пищевых технологий)**

### Аннотация

*Исследовано изменение водородного показателя рН при электрохимическом окислении крахмала. Установлено, что электрохимическая обработка картофельного крахмала способствовала снижению уровня рН, особенно в первые 3 минуты. При увеличении силы тока отмечалось более интенсивное понижение водородного показателя. Уменьшение рН анолита обусловлено образованием неорганических кислот в растворе и образованием кислотных (карбоксильных) групп в крахмале.*

### Введение

Физико-химические свойства нативного крахмала во многом зависят от особенностей крахмалсодержащего сырья и не всегда соответствуют требованиям потребителей. В настоящее время применяют разнообразные способы целенаправленного изменения свойств крахмала [1-3]. Одним из перспективных является электрохимическая модификация крахмала [4]. На изменение свойств крахмала во время модификации оказывает влияние и водородный показатель рН.

Цель работы – исследование изменения водородного показателя рН при электрохимическом окислении крахмала.

### Объект и методы исследования

Нативный картофельный крахмал производства ЧМП «Вимал» г. Чернигова (Украина) согласно ГОСТ 7699-78 [5] подвергался электрохимической обработке при прокачивании крахмальной суспензии через электролизер. Принципиальная схема установки для электрохимической модификации показана на рис. 1. Основной элемент установки – электролизер, в котором ионообменной мембранный разделается анодное и катодное пространство. В качестве анолита выступала 30%-ая крахмальная суспензия, в качестве католита – 2%-ый раствор NaCl. Электрохимическая обработка проводилась в течение 0,1–55,0 мин. при

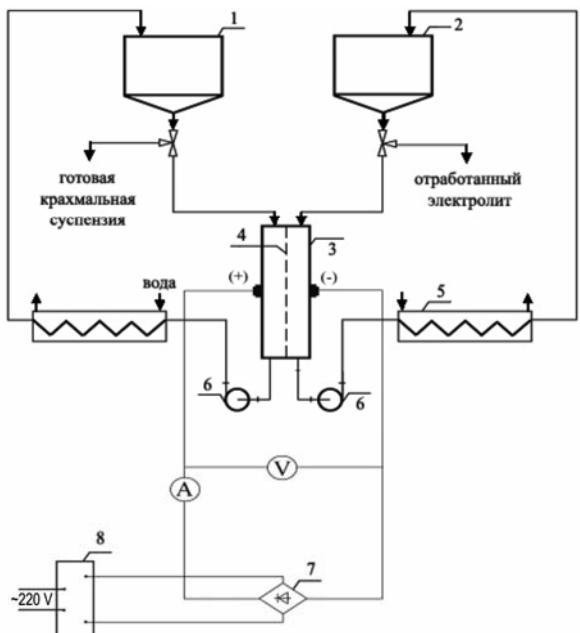


Рисунок 1. Принципиальная схема получения крахмала модифицированным электрохимическим способом: 1 – емкость для крахмального молочка; 2 – емкость для электролита; 3 – электролизер; 4 – ионообменная мембрана; 5 – холодильник; 6 – насос; 7 – диодный мостик; 8 – автотрансформатор; V – вольтметр; A – амперметр

разной силе тока: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 и 7,0A (при площади электрода, покрытого электролитом, 0,01 м<sup>2</sup> и плотности тока соответственно: 20; 40; 60; 80; 100; 150; 200 и 700 A/m<sup>2</sup>). Поддержание постоянного значения силы тока в течение 60 мин. достигалось благодаря постепенному уменьшению напряжения на электродах от 220 до 50V. Электролиз осуществлялся при постоянной температуре электролитов.

Водородный показатель pH определялся при помощи pH-метра.

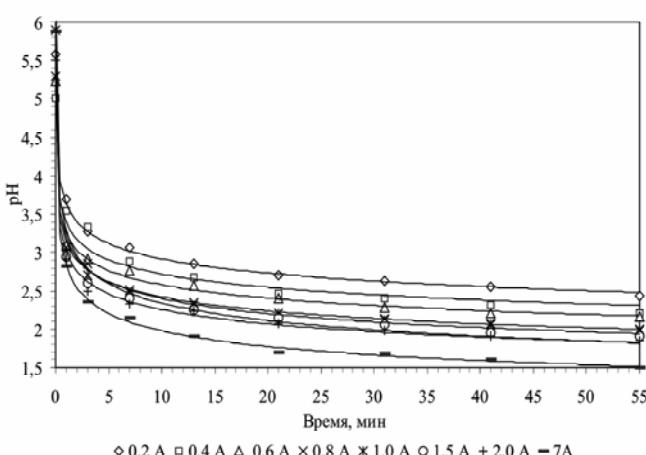


Рисунок 2. Изменение водородного показателя при электрохимическом окислении картофельного крахмала

Первая серия опытов была проведена с дистиллированной водой. Для каждого значения силы тока делались по три опыта, а на основании полученных значений рассчитывались средние значения pH.

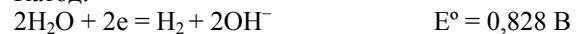
### Основная часть

В процессе электролиза pH дистиллированной воды снижается. Например, при силе тока 2A, за 41 мин. начальное pH уменьшилось с pH=5,6 до pH=1,9. При последующем пропускании тока, значение pH существенно не уменьшается.

Так же, как и в опыте с дистиллированной водой, пропускание тока через крахмальное молоко приводит к снижению его pH, хоть и не так сильно (рис. 2). Наиболее интенсивно pH суспензии уменьшается в первые 3 минуты. Особенно ярко это можно увидеть в опытах с большой силой тока. Например, при токе 7,0A, за первую минуту pH уменьшилось на 3,06 единиц, в то время как за следующие 54 минуты pH изменилось лишь на 1,32 единице.

При пропускании тока через установку, на электродах протекают следующие процессы [6]:

Катод:

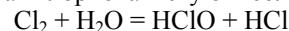


Анод:

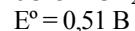


Реакция разложения воды на аноде является нежелательной, поскольку увеличивает расход электрической энергии, несмотря на то, что атомарный кислород, который при этом образуется, также способен окислять крахмал. Уменьшить количество кислорода позволяет использование анода, изготовленного из графита, – материала, имеющего высокое значение перенапряжения кислорода и проведение процесса при pH > 7.

Кроме этих электрохимических реакций, происходят и другие: хлор частично растворяется, образовывая хлорноватистую и соляную кислоты:

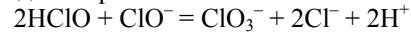


В анолите протекают также два побочных необратимых процесса – электрохимическое окисление иона  $\text{ClO}^-$  на аноде до хлорат-иона  $\text{ClO}_3^-$ :

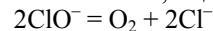


Ионы  $\text{ClO}^-$  разряжаются при значительно меньших потенциалах анода, чем ионы  $\text{Cl}^-$ , поэтому на аноде происходит общая разрядка ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{ClO}^-$ .

Второй процесс – химическое окисление иона  $\text{ClO}^-$  до хлорат-иона:



Возможна также нежелательная химическая реакция разложения гипохлорита, особенно в присутствии ионов железа, меди, никеля:

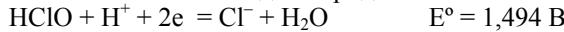


Поскольку процесс прямого окисления органических веществ на аноде происходит в адсорбируемом состоянии, наиболее вероятным является то, что крахмал окисляется кислородсодержащими соединениями хлора и непосредственно не окисляется током [6].

Как отмечено выше, в процессе электролиза об-

разуется ряд соединений – окислителей, способных окислять крахмал. Очевидно, что все они будут восстанавливаться крахмалом.

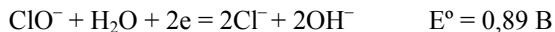
Хлорноватистая кислота – сильный окислитель, о чем свидетельствует значение стандартного окислительно-востановительного потенциала реакции восстановления иона  $\text{ClO}^-$  до хлорид-иона:



Причем кислота более сильный окислитель, чем  $\text{Cl}_2$  (в реакции восстановления молекулярного хлора величина  $E^\circ$  меньше):

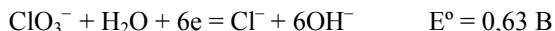
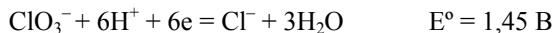


Также  $\text{HClO}$  (кислая среда) проявляет более сильные окислительные свойства, чем ее соли:



Большая величина  $E^\circ$  хлорноватистой кислоты связана с сильным деформирующим влиянием протона на связь  $\text{Cl}-\text{O}$ , что делает его менее стабильным, а саму кислоту – более сильным окислителем.

Сильными окислителями также являются и хлораты:



Как видно из значения  $E^\circ$ , в кислой среде окислительные свойства хлоратов выражены сильнее, чем в щелочной, приближаясь по силе к хлорноватистой кислоте [6].

### Заключение

В результате электрохимической обработки наблюдалось снижение pH крахмальной суспензии, особенно в первые 3 минуты. При увеличении силы

тока отмечалось более интенсивное понижение водородного показателя.

Уменьшение pH амолита обусловлено образованием неорганических кислот в растворе и образованием кислотных (карбоксильных) групп в крахмале.

### ЛИТЕРАТУРА

- Крахмал и крахмалопродукты / Н.Г. Глюк, А.И. Жушман, Т.А. Ладур, Е.А. Штыркова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 240 с.
- Технология крахмала и крахмалопродуктов/ Н.Н. Трегубов [и др.]; под общ. ред. Н.Н. Трегубова. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1981. – 472 с.
- Уистлер, Р.Л. Химия и технология крахмала. Промышленные вопросы; пер. с англ. / Р.Л. Уистлер, Э.Ф. Пашаль. – М.: Пищ. пром-сть, 1975. – 360 с.
- Ребенок, Е.В. Изучение физико-химических свойств модифицированного картофельного крахмала, полученного электрохимическим способом/ Е.В. Ребенок, В.В. Литвяк// Инновационные технологии в производстве пищевых продуктов: тез. докл. V Межд. научно-практик. конф., Минск 5–6 октября 2006 г. – С. 128-155.
- Крахмал картофельный. Технические условия: ГОСТ 7699-78. – Введ. пост. Государственного комитета СССР по стандартам от 18.10.1978. №2709. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1978. – 5 с.
- Байзер, М. Органическая электрохимия: в двух книгах: кн. 2 / М. Байзер, Х. Лунда; пер. с англ.; под ред. В.А. Петросяна, Л.Г. Феоктистова. – М.: Химия, 1988. – С. 497-498.

УДК 574. 5 (081)

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 5.08.2007

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РЫБОВОДСТВА НА РЫБОПРОДУКТИВНОСТЬ ПРУДОВ

Т.В. Козлова, канд. биолог. наук, доцент, А.И. Козлов, докт. с.-х. наук, доцент,  
М.В. Шалак, докт. с.-х. наук, профессор (УО БГСХА)

### Аннотация

*Удобрение прудов, наряду с кормлением и уплотнением посадок рыб, относится к основным средствам интенсификации рыбоводства. Более 30 лет назад учеными бывшего Советского Союза установлены разовые дозы и нормы внесения минеральных удобрений в пруды за сезон для различных рыбоводных зон. В настоящее время, когда выращивание рыбы в Беларуси осуществляется по интенсивной технологии, назрела необходимость пересмотра существующих норм удобрений, вносимых за сезон.*

### Введение

Реформирование аграрного производства и преодоление его спада предполагают развитие энерго- и ресурсосберегающих технологий в производстве сельскохозяйственной продукции. В этом аспекте развитие сельскохозяйственной аквакультуры является одним из наиболее перспективных направлений.

Применение минеральных удобрений для повышения уровня развития естественной кормовой базы рыб и улучшения гидрохимического режима прудов почти на протяжении полувека являлось обязательным элементом интенсификации прудового рыбоводства. Удобрения используются практически всеми рыбоводными хозяйствами. Внесение азотно-фосфорных и органических удобрений, как правило, стимулирует об-

разование первичной продукции и увеличивает биопотенциал экосистемы прудов в целом. Поэтому сложилось представление о наличии прямой пропорциональной связи между дозами удобрений и величиной рыбопродуктивности, которую многие авторы отмечали как положительную [1, 2, 3]. Однако уже в девяностых годах прошлого столетия стали появляться публикации, в которых говорилось о том, что не всегда внесение значительных доз минеральных удобрений и высокий уровень первичного продуцирования влечёт за собой соответствующее этому повышение рыбопродуктивности [4, 5]. Как показали сравнительно недавние исследования [3, 6, 7, 8], повышение рыбопродуктивности прудов связано не только с внесением в них высоких доз удобрений, но и с увеличением плотностей посадки рыб, использованием поликультуры, количеством и качеством кормов и другими абиотическими и биотическими факторами.

Не всегда использование дорогостоящих, а в настоящее время и дефицитных, органо-минеральных удобрений и внесение их в пруды в больших дозах (для интенсификации рыбоводных процессов) оправдано и экономически выгодно. Неэффективное применение удобрений приносит хозяйствам значительный экономический ущерб. Поэтому особую практическую значимость приобретает разработка таких ресурсосберегающих и малоотходных технологий в рыбоводстве, при которых наиболее полно используются природные ресурсы водоёма организмами различных трофических уровней. Это позволяет не только увеличить биопродуктивность прудовых экосистем без дополнительных затрат и нарушения в них экологического равновесия, но и повысить экономическую эффективность производства рыбы [9].

Известно, что в водоёмах трофические цепи или цепи питания представляют собой взаимоотношения организмов при переносе энергии пищи от её первоисточника (зелёных растений) через ряд организмов путём поедания одних другими, принадлежащими к более высокому трофическому уровню. Эффективность использования естественной кормовой базы рыбами в водоёме напрямую связана со структурой пищевых цепей. Пастицные трофические цепи, основу которых составляют автотрофные организмы, вслед за которыми идут консументы, всегда более эффективны, так как потери энергии в них меньше, чем в детритных трофических цепях. Детритные цепи питания начинаются от детрита и идут к микроорганизмам, а затем к детритофагам и их потребителям – хищникам. Чем длиннее трофическая цепь, тем меньше продукция её последнего звена по отношению к продукции начального.

### **Основная часть**

Авторами статьи представлен анализ результатов исследований по влиянию различных методов интенсификации рыбоводства на эффективность использо-

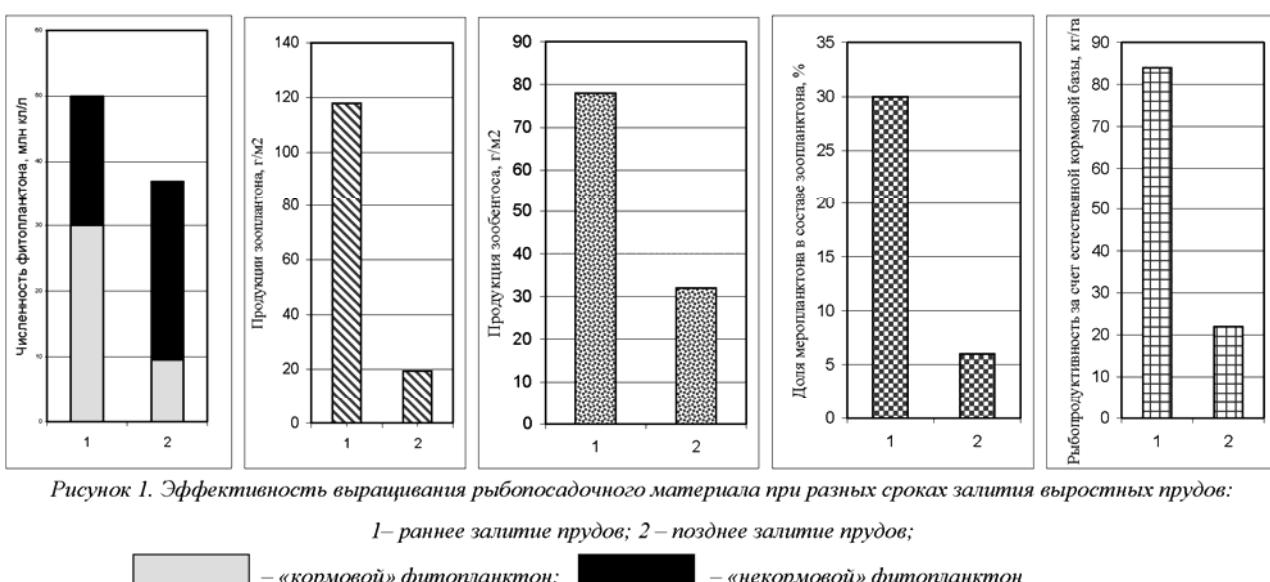
вания естественной кормовой базы рыбами в выростных и нагульных прудах III зоны рыбоводства в регионах Среднего Поволжья и Беларуси. При этом рассматривали количественные показатели фитопланктона, зоопланктона, меропланктона и зообентоса, которые подвергались воздействию следующих интенсификационных мероприятий: раннее залитие прудов, многократное внесение удобрений (минеральные + органические) и дозы вносимых удобрений.

Влияние разных сроков заполнения прудов на уровень развития естественной кормовой базы изучали на четырёх производственных прудах, расположенных в Среднем Поволжье, из которых два были залиты в третью декаде мая, а два других – во второй декаде июня, при этом разница в сроках залития составила 20 дней.

Исследования воздействия многократного внесения удобрений на организмы естественной кормовой базы изучали в рыбоводных хозяйствах Среднего Поволжья и Беларуси. Многократным считали внесение удобрений шесть раз за сезон, и сравнивали его с однократным.

О влиянии на рыбопродуктивность уровня интенсификационных мероприятий на выростных и нагульных прудах Беларуси судили по дозе вносимых удобрений. На выростных прудах сравнивали уровень развития естественной кормовой базы при средних дозах внесения 72 и 140 кг/га, а на нагульных – при 130 и 175 кг/га.

Известно, что внедрение научно обоснованных методов интенсификации рыбоводных процессов позволяет увеличивать биопродуктивность прудовых экосистем без дополнительных затрат и повышать экономическую эффективность производства рыбы. Тщательный анализ действия различных интенсификационных мероприятий на уровень развития естественной кормовой базы рыб в выростных и нагульных прудах III зоны рыбоводства в регионах России и Беларуси показал, что не всегда высокая численность автотрофов и высокий уровень первичной продукции в прудах соответствует адекватному повышению рыбопродукции. Например, при таком методе интенсификации, как раннее залитие прудов, в планктоне водоёмов численность фитопланктона была выше на 24%, и в его составе преобладали «кормовые» водоросли (протококковые, вольвоксовые и диатомовые). Это не только обеспечивало пищевые потребности зоопланктона, но и увеличивало его продукцию, способствовало повышению доли меропланктона в составе зоопланктона до 30% (в поздно залитых прудах она была в пять раз ниже). Показатели продукции зообентоса в рано залитых прудах были выше в 2,4 раза, а рыбопродуктивность за счёт естественной кормовой базы в 3,8 раза выше, чем в поздно залитых прудах (рис. 1). В ранозалитых прудах преобладали пастицные цепи питания и организмы зоо- и меропланктона были лучше обеспечены кормовыми организмами.



Многократное внесение удобрений в пруды являлось более эффективным по сравнению с одноразовым. Анализ результатов наших исследований, как в зоне Среднего Поволжья, так и в Беларуси, показал, что при многократном внесении удобрений в составе фитопланктона также преобладали «кормовые» водоросли, хотя общая численность фитопланктона была в среднем ниже, чем в прудах с одноразовым внесением удобрений. В последних преобладали сине-зелёные водоросли,

а на долю «кормового» фитопланктона приходилось 8 % от общей численности водорослей. Это способствовало преобладанию детритных пищевых цепей в водоёме, что снижало долю меропланктона до 5 %, продукцию зообентоса в 2,6 раза, а рыбопродуктивность – в 1,8 раза. Причём, выявленная закономерность четко проявилась как в рыбоводных водоёмах Среднего Поволжья, так и Беларуси (рис. 2).

Дозы вносимых удобрений по-разному влияли на

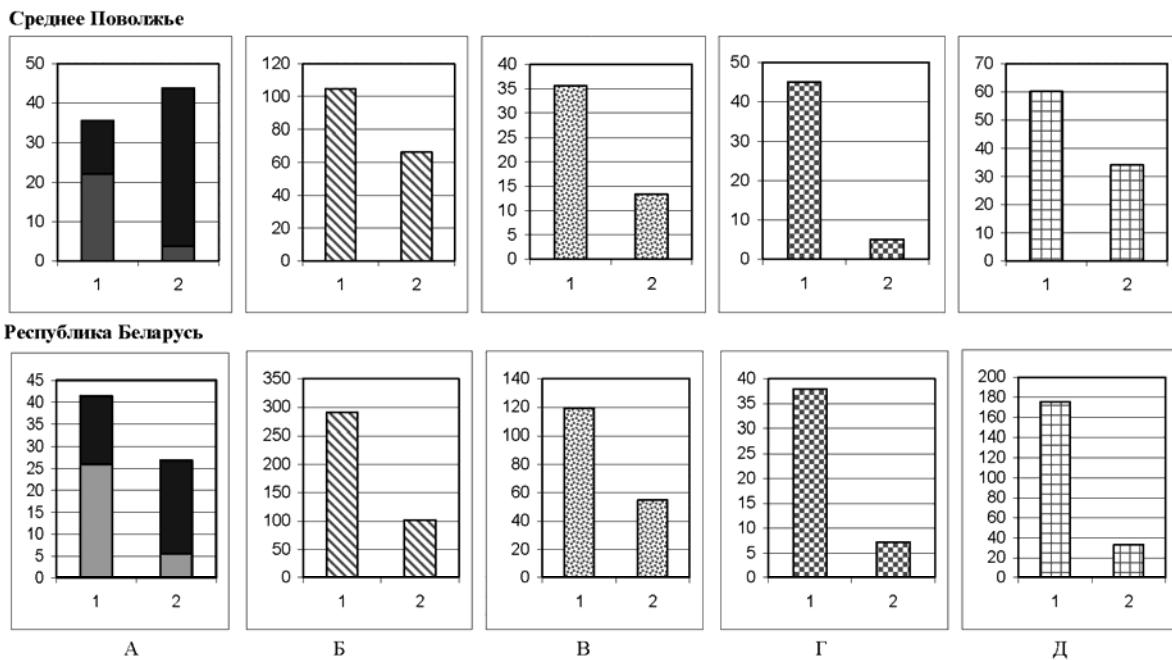


Рисунок 2. Эффективность выращивания рыбопосадочного материала при однократном и многократном удобрении выростных прудов: 1 – многократное внесение удобрений; 2 – однократное внесение удобрений;

— «кормовой» фитопланктон; — «некормовой» фитопланктон;

А – численность фитопланктона, млн кл/л; Б – продукция зоопланктона, г/м²; В – продукция зообентоса, г/м²; Г – доля меропланктона в составе зоопланктона, %; Д – рыбопродуктивность за счет естественной кормовой базы, кг/га

эффективность функционирования прудовых экосистем. Так, в исследованных нами выростных прудах Беларуси, наиболее эффективным оказалось внесение удобрений в количестве от 33 до 132 кг/га (в среднем 72 кг/га), при котором уровень валового фотосинтеза колебался от 589405 до 928619 кДж/га, что соответствовало 3,95 – 4,47 мгО<sub>2</sub>/л · сут. При таком уровне интенсификационных мероприятий средняя рыбопродуктивность выростных прудов составила 1492 кг/га, что в денежном выражении в среднем по прудам соответствовало сумме 2984 у.е. с 1 га водной площади. В выростные пруды с высоким уровнем интенсификации рыбоводства вносили минеральных удобрений в 1,94 раза больше по сравнению с прудами с низким уровнем интенсификации. Однако это приводило к увеличению только лишь валового фотосинтеза почти в 3 раза, но в 2,9 раза снижало степень утилизации первичной продукции рыбами, которая в высоко интенсифицированных прудах составляла 0,85 %.

При этом средняя рыбопродуктивность в прудах с низким уровнем интенсификации была на 8,0 % выше. В денежном выражении с каждого гектара низкоинтенсифицируемых прудов получали на 226 у.е. больше, чем с аналогичной площади прудов с высоким уровнем интенсификации.

Таким образом, в выростных прудах при уровне фотосинтеза 3,95 – 4,47 мгО<sub>2</sub>/л · сут усвоение энергии продуцентов консументами было выше, а производство рыбопосадочного материала – более эффективным по сравнению с прудами, в которых уровень фотосинтеза был в пределах от 6,47 до 14,76 мгО<sub>2</sub>/л · сут (рис. 3).

В нагульных прудах при среднем уровне интен-

сификации, когда в пруды вносили в среднем 130 кг/га минеральных удобрений, показатели валовой первичной продукции за сезон колебались от 937601 до 1001246 кДж/га, или 6,04 – 6,45 мгО<sub>2</sub>/л · сут. При этом средняя рыбопродуктивность по прудам составляла 1560 кг/га, что в денежном выражении равнялось 3120 у.е. с каждого гектара используемой площади.

При высоком уровне интенсификации в пруды вносили в среднем 174 кг/га, показатели валовой первичной продукции находились в пределах 1325681 – 2252416 кДж/га, или 8,54 – 14,51 мгО<sub>2</sub>/л · сут. Средняя рыбопродуктивность по прудам составляла 1341 кг/га, или 2682 у.е. в денежном выражении с каждого гектара пруда. В прудах, в которые вносили в 1,34 раза больше минеральных удобрений, степень утилизации первичной продукции рыбами была в 2,0 раза ниже, чем в прудах со средним уровнем интенсификации, рыбопродуктивность ниже на 10,5 %, а с каждого гектара прудов со средним уровнем интенсификации получали на 440 у.е. больше (табл.).

### Эффективность интенсификационных мероприятий при выращивании товарной рыбы

Количество внесенных удобрений, кг/га	Валовая первичная продукция за сезон, кДж/га	Утилизация первичной продукции рыбами, %	Рыбопродуктивность, кг/га
Валовый фотосинтез – 937601–1001246 кДж/га (6,04–6,45 мгО <sub>2</sub> /л · сут)			
130	975892	2,0	1560
Валовый фотосинтез – 1325681 – 2252416 кДж/га (8,54 – 14,51 мгО <sub>2</sub> /л · сут)			
174	1730836	1,0	1341

### Выходы

Таким образом, использование минеральных удобрений для целей интенсификации экономически выгодно и экологически обосновано в тех случаях, когда их вносят в среднем в дозах до 70 кг/га. Более высокие до-

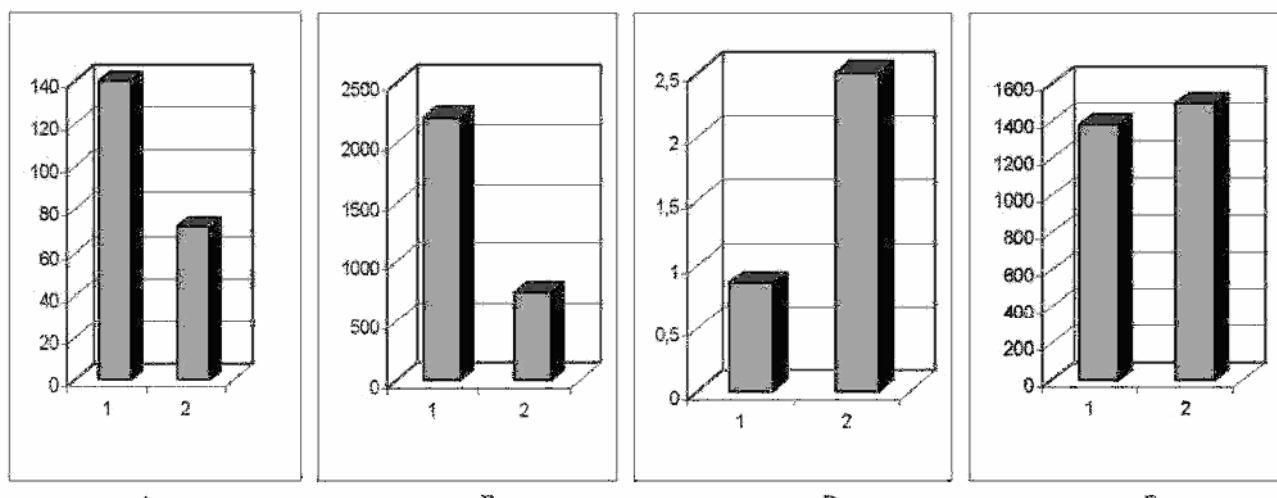


Рисунок 3. Эффективность интенсификационных мероприятий при выращивании рыбопосадочного материала:

1 – внесение удобрений в дозе 140 кг/га; 2 – внесение удобрений в дозе 72 кг/га;

А – внесено минеральных удобрений; Б – валовая продукция, кДж/га; В – утилизация первичной продукции рыбами, %;

Г – рыбопродуктивность, кг/га

зы внесения удобрений, несмотря на то, что способствуют повышению уровня первичного продуцирования, не влекут за собой адекватного повышения эффективности работы экосистемы пруда в целом, так как в этих случаях степень утилизации первичной продукции рыбами снижается. В выростных прудах степень утилизации первичной продукции рыбами несколько выше, чем в нагульных. Это связано с тем, что в выростных прудах водоросли более интенсивно потребляются организмами зоопланктона, а зоопланктон – молодью карпа. Уровень валового фотосинтеза в выростных водоёмах в пределах 3,95–4,47 мгО<sub>2</sub>/л сут., а в нагульных – 6,04–6,45 мгО<sub>2</sub>/л сут. оптимальен для производства рыбопосадочного материала и товарной рыбы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астапович, И.Т. Повышение естественной кормовой базы рыбоводных прудов / И.Т. Астапович // Проблемы развития рыбоводства в Белорусской ССР и Прибалтийских республиках: тезисы докл. науч.-практ. конф., 1–2 июля 1981 г. – Минск, 1981. – С. 52–54.
2. Воронова, Г.П. Перспективные способы повышения естественной продуктивности рыбоводных прудов / Г.П. Воронова // Сб. докл. респ. науч.-практ. семинара по проблемам выращивания рыбопосадочного материала. – Минск, 1995. – С. 33–42.
3. Гидрохимический режим и естественная кормовая база прудов при пастбищном выращивании посадочного материала прудовых рыб. / Г.П. Воронова, Л.А. Кузко, Г.Г. Адамчик, В.Д. Сенникова, Н.Н. Гад-

левская // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. трудов. – Минск, 2005. – Вып. 21. – С. 141–148.

4. Козлова, Т.В. Влияние периодичности внесения удобрений на фитопланктон и первичную продукцию выростных прудов / Т.В. Козлова // Сб. науч. трудов Госуд. науч.-исслед. ин-та озерн. и реч. рыбного х-ва. – 1981. – Т. 170. – С. 38–44.

5. Лаврентьева, Г.М. Соотношение продукции фитопланктона и рыб в зависимости от режима удобрения озер / Г.М. Лаврентьева, Е.В. Авинская, А.Я. Тесля // Материалы V съезда Всесоюзного гидробиологического общества, 15 – 19 сент. 1986 г. – Тольятти, 1986. – Ч. II. – С. 90–91.

6. Камлюк, Л.В. Рыбопродуктивность и средства интенсификации прудового рыбоводства Республики Беларусь за послевоенный период / Л.В. Камлюк // Соврем. сост. и перспективы развития аквакультуры: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 7–9 дек. 1999 г. – Горки, 1999. – С. 20–21.

7. Камлюк, Л.В. Влияние средств интенсификации на кислородный режим рыбоводных прудов / Л.В. Камлюк // Стратегия развития аквакультуры в условиях XXI века: материалы Междунар. науч.-практич. конф., 23 – 27 августа 2004 г. – Минск, 2004. – С. 299–300.

8. Козлова, Т.В. Первичная продукция планктона рыбоводных прудов с разным уровнем интенсификации / Т.В. Козлова // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. трудов УО «БГСХА». – Горки, 2007, вып. 10, ч. 2. – С. 132–140.

9. Козлов, А.И. Использование природных ресурсов в рыбоводстве / А.И. Козлов // Сельскохозяйственный вестник, №6, 2003. – С. 22–23.

УДК 636.085 (035.5)

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 2.09.2008

## НОВЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ И КАЧЕСТВА КЛЕТЧАТКИ В КОРМАХ

**Н.Ф. Бондарь, канд. хим. наук, Л.Л. Кругова, вед. инженер, Н.И. Голубь, лаборант,  
А.Н. Дылько, лаборант (УО БГАТУ)**

### Аннотация

*Рассмотрены новые методы оценки уровня и качества клетчатки в кормах. Разработаны лабораторные методики количественного определения содержания в кормах нейтрально-дегидратной клетчатки (НДК) и кислотно-дегидратной клетчатки (КДК) и определено содержание НДК и КДК в различных видах кормов с использованием разработанных методик.*

### Введение

Корма являются одним из важнейших факторов внешней среды, оказывающих решающее влияние на обмен веществ в организме, рост и развитие, продуктивность и воспроизводительные функции животных. Основу пищи сельскохозяйственных животных составляют корма растительного происхождения.

Для достижения высокой молочной продуктивности коров особое значение приобретают тип и уро-

вень кормления, соотношение отдельных кормов в рационе, сбалансированность рационов по отдельным питательным веществам – протеину, углеводам, витаминам и питательным веществам, а также качество кормов, производимых в хозяйстве. Только полноценным кормлением можно обеспечить высокую продуктивность сельскохозяйственных животных, а также эффективное использование кормов [1, 2].

В Республике Беларусь в настоящее время наиболее распространенным способом определения качества

корма является зоотехнический анализ, по результатам которого оценивают питательность кормов, несмотря на то, что информация, которую он дает, часто не отражает истинный состав корма. В соответствии со схемой анализа корм разделяют на шесть фракций: воду, сырой жир, сырую клетчатку, сырой протеин, золу и безазотистые экстрактивные вещества [3, 4]. Однако данная схема определения групп различных веществ в кормах не является, как это иногда ошибочно считают, анализом питательных веществ корма. Каждый из этих компонентов, за исключением воды, представляет собой комбинацию веществ, часть которых является питательными веществами или сочетаниями питательных веществ, а часть вообще не представляет никакой питательной ценности для животного.

### **Основная часть**

Один из первостепенных показателей оптимального содержания того или иного питательного вещества в рационе – переваримость, которая в значительной мере зависит от соотношения питательных веществ корма. Даже незначительное изменение соотношения питательных веществ может существенно снизить переваримость и использование компонентов не только одного вида корма, но и рациона в целом.

В настоящее время предлагаются новые схемы анализа, которые учитывают современные представления о химическом составе и свойствах растительных кормов, их питательной ценности; разрабатываются аналитические методы, которые выделяют группы веществ, сходных по химическому составу и по физиологическому действию, как в кормовых продуктах, так и в процессе их пищеварения.

Сумма сырой клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ представляет собой общие углеводы корма. Известно, что от качества углеводов и их химической природы зависит не только питательность кормов, но и степень использования животными содержащихся в них азотистых и минеральных веществ.

Клетчатка является необходимым элементом питания для всех сельскохозяйственных животных и, прежде всего, для жвачных. Она обеспечивает нормальную моторику желудочно-кишечного тракта и образование в рубце уксусной кислоты и других летучих жирных кислот, необходимых для синтеза молочного жира. Недостаток углеводов приводит к расщеплению жиров тела с образованием повышенного количества ацетоуксусной и бета-оксимасляной кислот, что вызывает заболевание животных кетозом. Малое количество структурных веществ и легкогидролизуемых углеводов в траве служит причиной нарушения обмена веществ у животных. В то же время избыточное количество клетчатки снижает переваримость питательных веществ, что тормозит процесс освобождения рубца от корма.

Согласно новым подходам к характеристике кормов представляет интерес определять в кормах не обезличенную «сырую клетчатку», а конкретно:

– углеводы, заключенные внутри растительных клеток (неволокнистые или неструктурные углеводы);

– углеводы оболочек растительных клеток (структурные углеводы).

К первой группе в основном относятся сахара и крахмал, сравнительно легко растворимые в воде, слабых кислотах и щелочах. Эта группа веществ определенной химической природы с хорошо известной питательной ценностью.

Из веществ, составляющих оболочку растительных клеток, выделяются целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин. Целлюлоза и гемицеллюлозы имеют много общего по химической природе и происхождению, по переваримости и растворимости, по действию на них микрофлоры (образование сходных продуктов гидролиза – главным образом органических кислот). Лигнин – сложное, полимерное органическое соединение, имеющее отличную от истинных углеводов химическую природу и очень низкую переваримость.

Учитывая важный вклад клетчатки, современные подходы к определению качества корма и его питательности предлагают введение новых параметров для характеристики качества кормов. Согласно этим подходам стандартный анализ корма в настоящее время должен включать следующие критерии: сырой протеин, содержание сухого вещества (СВ) и вместо общепринятой «сырой клетчатки» нейтрально-детергентную клетчатку (или фракцию, не растворимую в нейтральном детергенте – НДК) и кислотно-детергентную клетчатку (или фракцию, не растворимую в кислотном детергенте – КДК) [4, 5].

Нейтрально-детергентная клетчатка (НДК) состоит из медленно перевариваемой волокнистой части растения: гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина. Установлено, что уровень НДК в корме связан с потреблением сухого вещества. Когда уровень нейтрально-детергентной клетчатки сильно увеличен, усвояемость корма имеет тенденцию снижаться. Однако, если уровень нейтрально-детергентной клетчатки слишком низок, наступают расстройства желудочно-кишечного тракта, типа ацидоза. Значение НДК в настоящее время все чаще используется в практике кормления для балансирования рационов.

Кислотно-детергентная клетчатка (КДК) является подфракцией НДК, состоящей из лигнина и целлюлозы, и представляет собой часть корма, которая не растворяется в кислом растворе детергента (катионноактивного ПАВ). Существует обратная зависимость полной усвояемости корма от данного показателя. Показатель КДК связан с переваримостью. С увеличением количества КДК в корме усвояемость корма снижается, т. е. снижается и качество корма.

Уровень структурных углеводов в кормах и рационах оказывает существенное влияние на потребление сухого вещества жвачными животными. Снижение НДК в кормах до оптимального уровня обеспечивает соответственное повышение потребления сухого вещества рациона жвачными животными. Показателем качества НДК в корме является удельный вес в ней кислотно-детергентной клетчатки. Чем выше уровень КДК, тем ниже переваримость и в целом качество НДК и, как следствие, ниже потребление сухого вещества корма.

Оптимальное содержание структурообразующих углеводов в корме – одно из основных условий нормальной работы пищеварительного тракта, а также улучшения переваримости и использования органических веществ рациона жвачными животными.

Если в соотношении легкодоступных углеводов (крахмал и сахар) к клетчатке превалируют легкодоступные (при содержании НДК 24–36%), то в микробной популяции рубца преобладают амилолитические и протеолитические бактерии. При содержании в корме 36–42% НДК в рубце увеличивается содержание целлюлозолитических бактерий, а, следовательно, и переваримость клетчатки [6].

Однако чрезмерно высокое содержание структурных углеводов в рационах (НДК 42% и выше) снижает переваримость целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. При этом каждый корм имеет свою степень расщепляемости НДК в рубце. Трудно расщепляемая НДК остается в рубце дольше, снижая общее потребление корма. Корма с быстро деградируемой НДК проходят через желудочно-кишечный тракт с большей скоростью, способствуя повышенному потреблению корма.

Согласно выводам ученых США показатели содержания в кормах НДК и КДК являются наиболее достоверными и информативными для характеристики кормов. Пользуясь этими новыми параметрами, они рассчитывают такие показатели как сумма переваримых питательных веществ корма (СППВ) и относительное значение усвояемости корма.

Первый показатель используется при составлении рационов. Полностью переваримое питательное вещество корма или СППВ – сумму переваримых питательных веществ – общее количество суммы всех легкоусвояемых органических питательных веществ (белок и энергия) корма, которые являются доступными для животного, рассчитывают, пользуясь данными о содержании в корме КДК, по формуле:

$$\text{СППВ} = 82.38 - (0.7515 \times \% \text{КДК}) \quad \text{– в процентах на сухое вещество.}$$

Относительное значение усвояемости корма – это коэффициент, который объединяет переваримое сухое вещество (**ПвСВ**) и потребленное сухое вещество (**ПтСВ**). Этот показатель не применяется для балансирования рационов, однако используется в маркетинге.

Международная кормовая рекомендация для коэффициента относительного значения усвояемости – 100. Высокий коэффициент (выше 100) указывает на более высокое качество корма. Относительное значение усвояемости может также использоваться, чтобы определить качественные стандарты, используемые в маркетинге корма. Как видим, новые показатели качества кормов рассчитываются из данных по содержанию в кормах НДК и КДК [7].

К настоящему времени уже предлагались различные подходы к методам определения содержания НДК и КДК в кормах. Однако в странах СНГ этот анализ проводится только отдельными

учеными в рамках исследовательских работ [8], а зарубежные методики во многом не соответствуют требованиям отечественных нормативных документов. Сотрудниками научно-исследовательской аналитической лаборатории БГАТУ были разработаны методики определения в кормах и комбикормах нейтрально-детергентной и кислотно-детергентной клетчатки.

Содержание нейтрально-детергентной клетчатки НДК определяли при расщеплении образца корма путем кипячения его в нейтральном растворе детергента в присутствии термостойкой альфа-амилазы.

Нейтральный раствор детергента (анионного поверхности-активного вещества – ПАВ) использовался, для того, чтобы растворить легко перевариваемые пектины и содержимое клетки растения (протеины, сахара и липиды), оставляя нерастворенным остаток клетчатки (НДК). Состав раствора многокомпонентный. Поверхностно-активное вещество – детергент (натрий додецилсульфат) способствует растворению протеинов, сульфит натрия помогает удалять азотистые вещества корма, двунатриевая соль этилендиаминетрауксусной кислоты необходима для хелатирования кальция и удаления пектинов при температуре кипения воды. Гриэтиленгликоль помогает удалять некоторые неволокнистые вещества; амилаза, устойчивая к нагреванию, используется, чтобы расщепить крахмал и облегчить удаление его из анализируемой пробы. Прибавление амилазы не дает возможности крахмалу клейстеризоваться и облегчает фильтрование в ходе анализа. Кроме того, термоустойчивая альфа-амилаза используется в горячих растворах, чтобы инактивировать потенциально загрязняющие ферменты, которые могли бы разлагать волокнистые составные части клетчатки.

Содержание кислотно-детергентной клетчатки КДК определяли при расщеплении образца корма кипячением его в кислом растворе детергента. В отличие от методики определения НДК, где использовался анионный ПАВ, при определении содержания КДК в качестве детергента необходимо использовать катионный ПАВ. В предлагаемой нами методике – это соль четвертичного аммониевого основания – цетилтриметиламмоний бромид.

Подкисленный раствор соли четвертичного аммониевого основания используется, чтобы расщепить растворимую часть клетки, гемицеллюлозу и растворимые минералы, оставляя в остатке целлюлозу, лигнин и частично поврежденный при нагревании протеин стенки клетки, а также минералы, то есть золу. КДК определяется гравиметрически как остаток, остающийся после экстракции образца корма кислым раствором детергента.

По разработанным методикам нами были проведены испытания образцов различных видов кормов хозяйств Минской области, среди которых – зеленые корма, сено, сенаж, силос, зерно и комбикорма.

Результаты испытаний приведены в таблице.

**Содержание структурных углеводов в кормах**

№ П.п.	Шифр образ- ца	Образцы кормов	Показатели (содержание в абсолютно сухом веществе)					
			Сод. сухого в-ва, %	Сырая клетчатка %	НДК, %	КДК, %	Гемицел- люлоза, %	СППВ, %
<b>сенаж</b>								
1	134	Сенаж разнотравье	19,33	28,0	58,8	38,9	19,9	52,4
2	135	Сенаж разнотравье	27,28	29,9	56,6	43,1	13,5	50,0
4	234	Сенаж разнотравье	25,60	34,7	56,7	41,1	15,6	51,5
5	236	Сенаж разнотравье	32,20	33,6	58,2	42,5	15,7	50,4
6	29/84	Сенаж многол. травы	37,30	38,1	67,9	41,5	26,4	51,2
7	159	Сенаж многол. травы	23,62	27,8	62,4	41,6	20,8	51,1
8	238	Сенаж многол. травы	21,8	34,2	53,4	40,9	12,5	51,6
9	147	Сенаж злаковый	19,36	28,3	65,5	43,6	17,0	54,1
9	149	Сенаж злаковый	23,80	31,9	54,6	37,5	17,1	54,1
10	166	Сенаж злаковый	29,50	29,9	55,3	35,3	20,0	55,8
11	194	Сенаж злаковый	58,01	30,2	60,6	40,9	19,7	51,6
12	1856	Сенаж злаковый	41,59	29,4	60,3	35,2	25,1	55,9
13	139	Сенаж: злаковые 80%, солома 20 %	23,42	31,9	58,5	36,7	21,8	54,8
14	140	Сенаж: злаковые 80 %, солома 20 %	21,61	30,0	49,3	40,3	9,0	52,1
15	142	Сенаж: злаковые 50%, люцерна-50%	21,79	30,9	58,9	41,1	17,8	51,5
16	145	Сенаж: злаковые 40%, люцерна 60 %	21,00	29,3	57,8	40,3	17,5	45,5
17	144	Сенаж: злаковые 30%, люцерна 70 %	24,18	28,5	54,1	36,9	17,3	54,7
18	146	Сенаж: злаковые 30%, люцерна 70 %	20,63	32,3	57,8	39,8	14,3	52,5
<b>силос</b>								
19	193	Силос кукурузный	23,60	23,2	46,2	28,2	18,0	61,2
20	1858	Силос кукурузный	29,37	22,6	44,4	29,4	15,0	60,3
21	29/85	Силос кукурузный	21,90	29,9	48,5	28,6	19,9	60,9
22	226	Силос кукурузный молоч- ной спелости	25,30	25,3	42,9	27,9	15,0	61,4
23	225	Силос кукурузный молоч- ной спелости	23,20	23,5	43,5	26,1	17,4	62,8
24	141	Силос кукурузный воско- вой спелости	32,58	17,4	32,7	20,0	12,7	67,3
25	222	Силос кукурузный воско- вой спелости	29,3	17,5	32,0	22,5	9,5	65,5
26	223	Силос кукурузный воско- вой спелости	30,11	17,2	32,7	20,7	12,0	66,8
27	230	Силос кукурузный воско- вой спелости	35,71	19,1	32,6	23,6	9,0	64,6
28	237	Силос кукурузный воско- вой спелости	31,39	17,9	31,0	20,0	11,0	67,4
29	29/85	Силос кукурузный бутони- зация	21,90	29,9	48,5	34,4	14,1	56,6
30	1859	Силос кукурузный + со- лома	34,67	25,2	44,5	28,4	16,1	60,7
31	158	Силос: клевер 75%, многолетние травы 25%	23,53	29,2	59,6	41,1	18,5	51,5
<b>сено</b>								
32	138	Сено	87,39	29,8	57,5	32,4	25,1	58,0
33	195	Сено злаковое 100 %	84,36	32,5	67,9	36,7	31,2	54,8
34	1284	Сено тимофеевка + кле- вер	80,32	34,1	60,6	43,7	16,9	49,5
35	1322	Сено тимофеевка	85,45	30,2	63,2	39,8	23,4	52,5
36	154	Сено ежа сборная	79,98	33,0	63,2	36,7	26,5	54,8
37	156	Сено ежа сборная	80,89	32,5	60,8	35,4	25,4	55,8
38	1682	Сено тимофеевка	78,34	30,6	53,2	31,2	22,0	58,9
<b>солома</b>								
39	155	Солома ячменная	68,64	35,0	80,3	49,08	59,9	37,4

**продолжение таблицы**

№ П.п.	Шифр образ- ца	Образцы кормов	Показатели (содержание в абсолютно сухом веществе)					
			Сод. сухого в-ва, %	Сырая клетчатка %	НДК, %	КДК, %	Гемицел- люлоза, %	СППВ, %
<b>зеленая масса</b>								
40	143	Зеленая масса: злаковые 50%, кукуруза 50 %	19,45	31,1	58,5	40,2	18,3	52,2
41	157	Зеленая масса: овес 60%, пельюшка 20%, кукуруза 10 %	15,11	27,1	49,5	32,6	16,9	57,9
42	165	Зеленая масса: вика, горох, рапс, ячмень	12,20	28,3	44,1	34,2	9,9	51,0
43	102/40	Зеленая масса многолетние травы	13,40	33,0	59,5	32,0	27,5	53,5
44	102/41	Зеленая масса многолетние травы	16,75	32,5	59,5	31,4	28,1	54,1
45	102/42	Зеленая масса многолетние травы	16,60	29,4	56,1	30,7	25,4	59,3
46	103/43	Зеленая масса многолетние травы	13,60	32,4	54,9	32,5	22,4	57,9
47	103/45	Зеленая масса многолетние травы	14,30	28,6	58,8	32,5	26,3	58,0
48	243/34	Зеленая масса многолетние травы	16,10	33,2	63,2	36,5	26,7	55,0
49	1673	Зеленая масса кукуруза	28,04	25,1	40,3	23,4	16,9	64,9
<b>зерно</b>								
50	160	овес	86,73	14,9	31,34	10,13	21,2	74,7
51	161	ячмень	86,53	5,0	17,5	9,6	7,9	75,0
52	163	рожь	89,50	3,2	14,7	3,8	10,9	79,3
53	162	Ячмень+ овес	87,53	8,5	25,5	10,4	15,1	74,6
54	2202	кукуруза	85,15	2,6	8,0	1,6	6,4	81,2
55	2200	тритикале	84,44	3,0	10,8	2,3	8,5	80,7

**Выводы**

Разработанные методики определения в кормах НДК и КДК отвечают требованиям количественного химического анализа и могут быть использованы для определения качества кормов. Они не требуют применения специального оборудования и могут быть воспроизведены в условиях любой лаборатории, занимающейся испытаниями кормов.

Зная значения НДК и КДК, можно рассчитать содержание в кормах отдельных структурных углеводов:

$$\% \text{Гемицеллюлозы} = \text{НДК} - \text{КДК};$$

$$\% \text{Целлюлозы} = \text{КДК} - \% \text{ лигнина}.$$

Возможность определять параметры (НДК и КДК) позволяет по-новому характеризовать корма. Особенно важно знание содержания отдельных составляющих клетчатки при составлении рационов для крупного рогатого скота.

Рассчитав сумму переваримых питательных веществ из данных по содержанию в корме КДК, можно с помощью уравнения регрессии определять обменную энергию:

$$\text{ОЭ}_{\text{кpc}}(\text{МДж}/\text{кг}) = \text{СППВ г}/\text{кг} \cdot 0,018143 \cdot 0,82.$$

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Дурс, Л. Кормление сельскохозяйственных животных/ Л. Дурс, М Виттман. – Винница: Нова книга, 2003. – 384 с.

2. Яковчик, Н.С. Кормопроизводство. Современные технологии/ Н.С Яковчик. – Барановичи: РУПП «Баранов. укрупн. тип.», 2004. – 278 с.

3. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справоч. пособ. / под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. – М.: Урожай, 2003. – 196 с.

4. Руководство по производству молока, выращиванию и откорку молодняка крупного рогатого скота: отраслевой регламент/ А. М. Лапотко [и др.]; под ред. А. М. Лапотко. – Несвиж: МОУП «Несв. укрупн. тип. им. С. Будного», 2006. – 368 с.

5. Hall, M. Forage Quality Testing: Why, How, and Where/ M. Hall, V. Ishler // Agronomy Facts. – 1994. – Vol. 44. – P. 1-4.

6. Мошкина, С.Б. Переваримость клетчатки в рубце лактирующих коров. / С.Б. Мошкина, В. Дрохнер, М. Тафай // Животноводство России, №9, 2005. – С. 45 – 46.

7. Lammers, B. A Simple Method for the Analysis of Particle Sizes of Forage and Total Mixed Rations / B. Lammers [et al] // J. Dairy Sci. – 1996. – Vol. 79, N4. – P. 922-928.

8. Воробьева, С. В. Влияние уровня НДК в кормах на потребление сухого вещества у бычков/ Воробьева С.В./ Тезисы доклада на конференции «Актуальные проблемы биологии в животноводстве», г. Боровск, 2006. – Боровск, 2006. – С. 91 – 93.

## ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЛ 10 кВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**В. И. Русан, докт. техн. наук, профессор (УО БГАТУ); О. Ю. Пухальская, аспирантка  
(УО ГГТУ им. П.О. Сухого)**

### Аннотация

*В статье проанализированы конфигурации ВЛ 10 кВ РУП “Гомельэнерго” и в зависимости от количества участков магистральной части линии, количества и сложности ответвлений построены модели трех типов: I – модель ВЛ 10 кВ с ответвлениями I-го порядка; II – модель ВЛ 10 кВ с ответвлениями I-го и II-го порядка; III – модель ВЛ 10 кВ с ответвлениями I-го, II-го и III-го порядка.*

*Для всех типов моделей рассчитаны основные вероятностно-статистические характеристики структурных параметров ВЛ 10 кВ: протяженности магистральной части и ответвлений ВЛ, количество ответвлений, участков магистрали и ТП, подключенных к одной линии, и доверительные интервалы для математического ожидания с надежностью  $\beta=0.95$ , подобраны теоретические кривые распределения основных характеристик ВЛ.*

### Введение

Математическое моделирование распределительных сетей используется при решении различных технических и технико-экономических задач, связанных с передачей и распределением электрической энергии. Модели распределительных сетей применяются для определения и прогнозирования потерь электроэнергии в сетях, при анализе надежности электроснабжения, некоторых показателей качества электроэнергии, работы релейной защиты и автоматики и решении других вопросов. Моделирование схем упрощает решение задачи в общем виде и позволяет проанализировать всю совокупность вариантов схем электроснабжения без значительных затрат времени.

Модель ВЛ строится на основании установленных статистических характеристик параметров ВЛ. Определение основных параметров схем электроснабжения потребителей АПК выполняется вероятностно-статистическим методом.

Работы по определению статистических характеристик сельского электроснабжения проводились рядом исследователей. В их работах, на основании анализа, в основном фактических данных, по существующим сетям получены основные статистические характеристики структурных параметров распределительных сетей [1, 2].

Исследование параметров сельских электрических сетей должно проводиться систематически, так как с изменением нагрузок сельскохозяйственных потребителей меняются и основные характеристики сетей в сельской местности.

В работах [3, 4, с. 91-101] установлены статистические закономерности параметров ВЛ и на их основе построены модели ВЛ 10 кВ.

Моделированию сельских распределительных сетей посвящены публикации [5, 6].

Следует учесть, что в данных работах предлагаются модели сельских распределительных сетей для различных районов. В зависимости от рельефа местности, климатических условий и других факторов схемы, и, следовательно, модели сетей будут отличаться.

Целью данной работы является исследование основных структурных характеристик и построение моделей ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения РУП “Гомельэнерго”.

### Основная часть

#### Основные структурные характеристики ВЛ 10 кВ

Исследование основных параметров сельских электрических сетей проводилось на основе вероятностно-статистических методов. Математическая обработка статистических данных проводилась в следующей последовательности [7-9]:

1. Составление статистических таблиц;
2. Вычисление основных статистических характеристик (математического ожидания ( $M$ ), среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ));
3. Построение по опытным данным гистограмм распределения случайных величин;
4. Выдвижение гипотезы о функции плотности распределения;
5. Выравнивание эмпирических кривых распределения случайных величин теоретическими кривыми;
6. Проверка по критериям согласия Пирсона и Колмогорова;
7. Выбор функций, дающих наилучшие согласования.

Для выполнения расчетов использовалась программа STATISTICA 6.0.

Для построения моделей ВЛ 10 кВ было исследовано 150 ВЛ 10 кВ. В качестве исходного материа-

ла были использованы данные по линиям электропередачи 10 кВ РУП “Гомельэнерго”.

По всем исследуемым линиям были получены следующие параметры:

- общая протяженность одной ВЛ 10 кВ  $L_{10}$ , км;
- протяженность магистральной части одной ВЛ 10 кВ  $L_{10M}$ , км;
- общая протяженность ответвлений одной ВЛ 10 кВ  $L_{10,0}$ , км;
- протяженность ответвлений одной ВЛ 10 кВ I-го порядка  $L_{10,01}$ , II-го порядка  $L_{10,02}$ , III-го порядка  $L_{10,03}$ , км;
- общее количество ответвлений на одной ВЛ 10 кВ  $n_0$ , шт;
- количество ответвлений на одной ВЛ 10 кВ I-го порядка  $n_{01}$ , II-го порядка  $n_{02}$ , III-го порядка  $n_{03}$ , шт;
- количество трансформаторных подстанций (ТП) 10/0,4 кВ, подключенных к одной ВЛ 10 кВ  $n_{TP}$ , шт;
- суммарная установленная мощность ТП 10/0,4 кВ подключенных к одной ВЛ 10 кВ  $S_{\Sigma TP}$ , кВ·А.

Магистральная линия определялась наибольшим сечением провода. Если сечения проводов одинаковые при разветвлении линии, то учитывалась наибольшая протяженность, а если и протяженность одинаковая – то наибольшая мощность потребительских подстанций.

#### Моделирование ВЛ 10 кВ

##### сельскохозяйственного назначения

При рассмотрении конфигурации линий 10 кВ из выбранных 150 линий было выделено несколько типов ВЛ в зависимости от количества участков магистральной части линии, количества и сложности ответвлений.

Ответвления сети, отходящие от магистральной линии, классифицировались как ответвления I порядка, отходящие от ответвлений I порядка, как ответвления II порядка, аналогично определяются ответвления III порядка (рис.1).

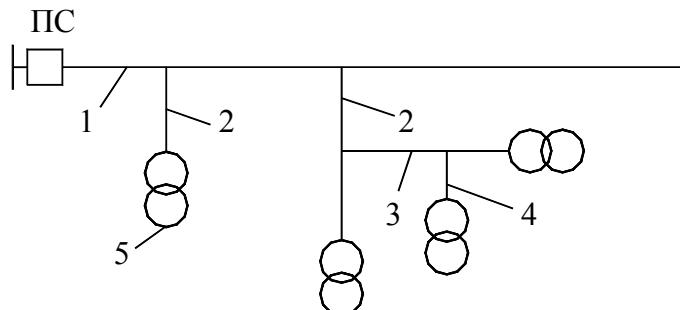


Рисунок 1. Классификация ответвлений ВЛ 10 кВ:

1 – магистральная часть ВЛ; 2 – ответвление I-го порядка; 3 – ответвление II-го порядка; 4 – ответвление III-го порядка; 5 – ТП 10/0,4 кВ

ления II порядка, аналогично определяются ответвления III порядка (рис.1).

В соответствии с типом линии было предложено 3 типа моделей:

I – модель ВЛ 10 кВ с ответвлениями I-го порядка;

II – модель ВЛ 10 кВ с ответвлениями I-го и II-го порядка;

III – модель ВЛ 10 кВ с ответвлениями I-го, II-го и III-го порядка.

Для всех типов моделей были рассчитаны основные вероятностно-статистические характеристики указанных выше структурных параметров ВЛ 10 кВ и доверительные интервалы для математического ожидания с надежностью  $\beta=0,95$  [9, с. 21-22].

Результаты статистической обработки данных сведены в таблицы 1-3.

**Таблица 1. Структурные характеристики модели ВЛ 10 кВ I типа**

Наименование показателей	M	$\sigma$	Доверительный интервал	Плотность распределения соответствующих показателей *
Общая протяженность одной ВЛ 10 кВ $L_{10}$ , км	7,3	4,98	(5,88;8,71)	$0,106+0,06x-0,015x^2+$ $+1,2 \cdot 10^{-3}x^3-2,9 \cdot 10^{-5}x^4$
Протяженность магистральной части одной ВЛ 10 кВ $L_{10M}$ , км	6,45	4,54	(5,15;7,74)	$0,135+0,050x-0,014x^2+$ $+1,1 \cdot 10^{-3}x^3-2,9 \cdot 10^{-5}x^4$
Общая протяженность ответвлений одной ВЛ 10 кВ $L_{10,0}$ , км	0,85	1,3	(0,48;1,22)	$0,943-1,193x+0,545x^2-$ $-0,103x^3+6,8 \cdot 10^{-3}x^4$
Общее количество ответвлений на одной ВЛ 10 кВ $n_0$ , шт.	2,71	2,38	(2,03;3,38)	$0,548-0,384x-0,121x^2-$ $-0,016x^3-7,8 \cdot 10^{-4}x^4$
Количество участков магистрали одной ВЛ 10 кВ $n_{\text{уч}}$ , шт.	4,52	2,77	(3,72;5,30)	$0,452-0,172x-0,037x^2-$ $-3,8 \cdot 10^{-3}x^3+1,3 \cdot 10^{-4}x^4$
Количество ТП 10/0,4 кВ, подключенных к одной ВЛ 10 кВ $n_{TP}$ , шт.	4,25	2,91	(3,43;5,08)	$0,821-0,446x+0,102x^2-$ $-0,010x^3+3,5 \cdot 10^{-4}x^4$
Суммарная установленная мощность ТП 10/0,4 кВ, подключенных к одной ВЛ 10 кВ $S_{\Sigma TP}$ , кВ·А	1137,4	863,67	(891,87; 1382,88)	$0,474-8,7 \cdot 10^{-4}x-$ $-7,2 \cdot 10^{-7}x^2-2,6 \cdot 10^{-10}x^3+$ $+3,2 \cdot 10^{-14}x^4$

\* ) где  $x$  – соответствующий показатель электрических сетей

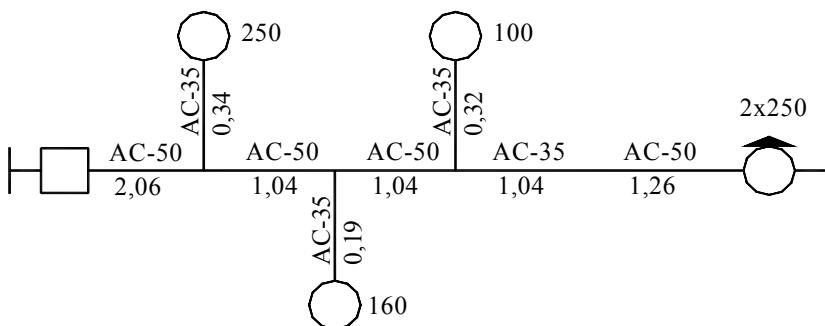


Рисунок 2. Структурная модель ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения I типа

В соответствии с данными, приведенными в таблице 1, модель ВЛ 10 кВ I типа представляет собой линию с пятью участками магистральной части, тремя ответвлениями I-го порядка и четырьмя ТП 10/0,4, подключенными к линии, с суммарной установленной мощностью 1137 кВ·А. Магистральная часть ВЛ выполнена проводами сечением 50 и 35 мм<sup>2</sup>, ответвления – проводами сечением 35 мм<sup>2</sup>. Модель ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения I типа показана на рисунке 2.

Таблица 2. Структурные характеристики модели ВЛ 10 кВ II типа

Наименование показателей	M	$\sigma$	Доверительный интервал	Плотность распределения соответствующих показателей *
Общая протяженность одной ВЛ 10 кВ $L_{10}$ , км	13,49	7,07	(11,41;15,56)	$-0,295+0,132x-0,010x^2+$ $+2,5 \cdot 10^{-4}x^3-2,1 \cdot 10^{-6}x^4$
Протяженность магистральной части одной ВЛ 10 кВ $L_{10M}$ , км	10,24	6,22	(8,42;12,06)	$-0,204+0,152x-0,014x^2+$ $+4,6 \cdot 10^{-4}x^3-4,2 \cdot 10^{-6}x^4$
Общая протяженность ответвлений одной ВЛ 10 кВ $L_{10O}$ , км	3,24	2,04	(2,65;3,85)	$0,120+0,068x-0,022x^2+$ $+1,4 \cdot 10^{-3}x^3$
Протяженность ответвлений I-го порядка одной ВЛ 10 кВ $L_{10\text{O}_1}$ , км	2,95	1,80	(2,43;3,48)	$0,125+0,048x-0,019x^2+$ $+1,5 \cdot 10^{-3}x^3$
Протяженность ответвлений II-го порядка одной ВЛ 10 кВ $L_{10\text{O}_2}$ , км	0,29	0,39	(0,18;0,41)	$0,799-3,880x+7,159x^2-$ $-5,492x^3+1,468x^4$
Общее количество ответвлений на одной ВЛ 10 кВ $n_0$ , шт	7,62	2,95	(6,76;8,49)	$1,480-0,768x+0,152x^2-$ $-0,012x^3+3,5 \cdot 10^{-4}x^4$
Количество ответвлений I-го порядка на одной ВЛ 10 кВ $n_{01}$ , шт	5,77	2,65	(4,99;6,55)	$-0,121+0,214x-0,059x^2+$ $+0,060x^3-2,5 \cdot 10^{-4}x^4$
Количество ответвлений II-го порядка на одной ВЛ 10 кВ $n_{02}$ , шт	1,85	1,17	(1,51;2,20)	$1,759-1,479x-0,449x^2-$ $-0,058x^3+2,6 \cdot 10^{-3}x^4$
Количество участков магистрали одной ВЛ 10 кВ $n_{yч}$ , шт	7,52	3,23	(6,57;8,47)	$0,131-0,127x+0,062x^2-$ $-0,010x^3+7,1 \cdot 10^{-4}x^4+$ $+1,7 \cdot 10^{-5}x^5$
Количество ТП 10/0,4 кВ, подключенных к одной ВЛ 10 кВ $n_{TP}$ , шт.	9,60	3,67	(8,53;10,68)	$-0,928+0,426x-0,058x^2+$ $+3,2 \cdot 10^{-3}x^3-6,5 \cdot 10^{-5}x^4$
Суммарная установленная мощность ТП 10/0,4 кВ, подключенных к одной ВЛ 10 кВ $S_{\Sigma TP}$ , кВ·А	2022,56	1012,97	(1725,57; 2319,55)	$0,474-8,7 \cdot 10^{-4}x-$ $-7,2 \cdot 10^{-7}x^2-2,6 \cdot 10^{-10}x^3+$ $+3,2 \cdot 10^{-14}x^4$

\*) где x – соответствующий показатель электрических сетей

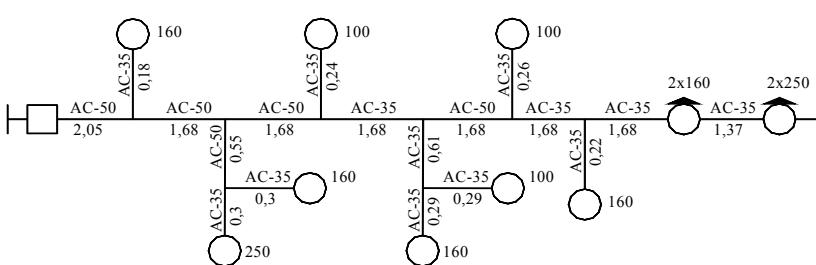


Рисунок 3. Структурная модель ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения II типа

В соответствии с данными, приведенными в таблице 2, модель ВЛ 10 кВ II типа представляет собой линию, магистральная часть которой состоит из восьми участков. На линии имеется шесть ответвлений I-го порядка и два II-го. Магистральная часть ВЛ и ответвления выполнены проводами сечением 50 и 35 мм<sup>2</sup>. К линии подключено 10 ТП 10/0,4, с суммарной установленной мощностью 2023 кВ·А. Модель ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения II типа представлена на рисунке 3.

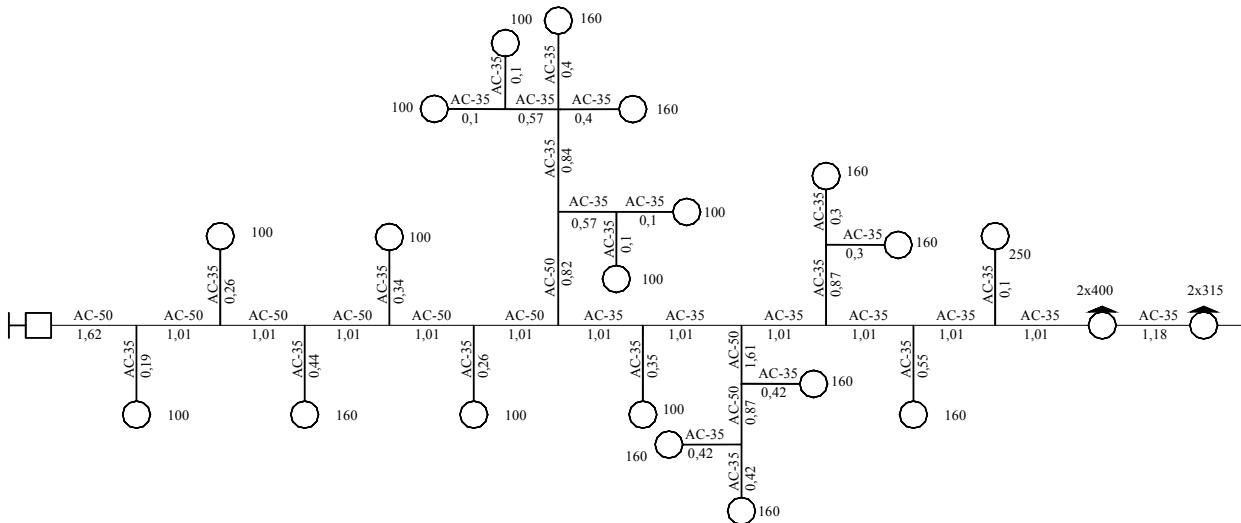
**Таблица 3. Структурные характеристики модели ВЛ 10 кВ III типа**

Наименование показателей	M	$\sigma$	Доверительный интервал	Плотность распределения соответствующих показателей *
Общая протяженность одной ВЛ 10 кВ $L_{10}$ , км	25,57	12,16	(21,39;29,74)	$-0,742+0,136x+6,6 \cdot 10^{-3}x^2+$ $+1,3 \cdot 10^{-4}x^3-8,4 \cdot 10^{-7}x^4$
Протяженность магистральной части одной ВЛ 10 кВ $L_{10M}$ , км	13,90	5,44	(12,03;15,77)	$4,6 \cdot 10^{-3}+0,035x-1,8 \cdot 10^{-3}x^2-$ $-1,7 \cdot 10^{-5}x^3+1,3 \cdot 10^{-6}x^4$
Общая протяженность ответвлений одной ВЛ 10 кВ $L_{10o}$ , км	11,70	8,06	(8,93;14,46)	$-0,167+0,151x-0,017x^2+$ $+6,7 \cdot 10^{-4}x^3-8,3 \cdot 10^{-6}x^4$
Протяженность ответвлений I-го порядка одной ВЛ 10 кВ $L_{10\text{01}}$ , км	8,62	6,18	(6,50;10,74)	$0,384-0,170x+0,046x^2-$ $-5,1 \cdot 10^{-3}x^3+2,4 \cdot 10^{-4}x^4-$ $-2,8 \cdot 10^{-6}x^5$
Протяженность ответвлений II-го порядка одной ВЛ 10 кВ $L_{10\text{02}}$ , км	2,88	2,95	(1,87;3,89)	$0,480-0,072x-0,016x^2+$ $+4,4 \cdot 10^{-3}x^3-3,6 \cdot 10^{-4}x^4+$ $+8,3 \cdot 10^{-6}x^5$
Протяженность ответвлений III-го порядка одной ВЛ 10 кВ $L_{10\text{03}}$ , км	0,20	0,42	(0,05;0,34)	$1,274-6,078x+10,835x^2-$ $-9,058x^3+3,583x^4-0,541x^5$
Общее количество ответвлений на одной ВЛ 10 кВ $n_0$ , шт.	19,00	8,98	(15,92;22,08)	$-4,501+1,290x-0,132x^2+$ $+6,3 \cdot 10^{-3}x^3-1,4 \cdot 10^{-4}x^4+$ $+1,2 \cdot 10^{-6}x^5$
Количество ответвлений I-го порядка на одной ВЛ 10 кВ $n_{01}$ , шт.	10,58	5,27	(8,77;12,39)	$-0,389+0,232x-0,034x^2+$ $+2,3 \cdot 10^{-3}x^3-7,8 \cdot 10^{-5}x^4+$ $+1,0 \cdot 10^{-6}x^5$
Количество ответвлений II-го порядка на одной ВЛ 10 кВ $n_{02}$ , шт.	6,17	4,06	(4,77;7,56)	$0,637-0,151x+0,017x^2-$ $-1,0 \cdot 10^{-3}x^3+2,2 \cdot 10^{-5}x^4$
Количество ответвлений III-го порядка на одной ВЛ 10 кВ $n_{03}$ , шт.	2,25	2,69	(1,33;3,17)	$3,054-1,994x+0,491x^2-$ $-0,057x^3+3,1 \cdot 10^{-3}x^4-6,4 \cdot 10^{-5}x^5$
Количество участков магистрали одной ВЛ 10 кВ $n_{\text{уч}}$ , шт.	12,50	4,98	(10,79;14,21)	$5,392-2,031x-0,292x^2-$ $-0,020x^3+6,4 \cdot 10^{-4}x^4-8,3 \cdot 10^{-6}x^5$
Количество ТП 10/0,4 кВ, подключенных к одной ВЛ 10 кВ $n_{\text{TP}}$ , шт.	21,39	9,60	(18,09;24,68)	$3,055-0,518x+0,033x^2-$ $-8,9 \cdot 10^{-4}x^3+8,3 \cdot 10^{-6}x^4$
Суммарная установленная мощность ТП 10/0,4 кВ, подключенных к одной ВЛ 10 кВ $S_{\Sigma\text{TP}}$ , кВ·А	4193,56	1663,31	(3622,82; 4764,29)	$-0,626-6,0 \cdot 10^{-4}x-$ $-1,4 \cdot 10^{-7}x^2+1,1 \cdot 10^{-11}x^3-$ $-2,7 \cdot 10^{-16}x^4$

\*) где  $x$  – соответствующий показатель электрических сетей

Согласно данным, представленным в таблице 3, модель III типа представляет собой ВЛ, магистральная часть которой состоит из тринадцати участков. На линии имеется одиннадцать ответвлений I-го порядка, шесть – II-го и два – III-го. Магистральная

часть ВЛ и ответвления выполнены проводами сечением 50 и 35 мм<sup>2</sup>. К линии подключена 21 ТП 10/0,4 кВ, с суммарной установленной мощностью 4194 кВ·А. Модель ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения III типа представлена на рис. 4.



**Рисунок 4. Структурная модель ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения III типа**

### **Заключение**

В работе исследованы основные структурные характеристики и построены вероятностно-статистические модели ВЛ 10 кВ сельскохозяйственного назначения РУП “Гомельэнерго”. Если обратиться к работам по исследованию параметров сельских электрических сетей, выполненным ранее [1, 3-5], то можно отметить тенденции к снижению общей протяженности ВЛ 10 кВ, увеличению сечений проводов магистральной части линии и ответвлений, увеличению суммарной установленной мощности ТП 10/0.4 кВ, подключенных к одной ВЛ.

Модели могут быть использованы для задач, связанных с анализом надежности схем электроснабжения потребителей АПК.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Зуль, А.М. Вероятностно-статистическое исследование основных параметров сельских электрических сетей / А.М Зуль., А.А. Халфен // Научные труды по электрификации сельского хозяйства / Всесоюзн. науч.-исслед. ин-т электрификац. сельск. хоз-ва; редкол. И. А. Будзко [и др.] – М., 1968. – Т. XXI. – С. 78-92.
2. Куценко, Г.Ф. Структурные характеристики ВЛ 6-10 кВ сельских электрических сетей / Г.Ф. Куценко, А.А. Парfenov // Энергетика. – Изв. вузов. – 2002. – №2. – С. 10-15.

УДК 621.311.1

3. Акимцев, Ю.И. Вероятностно-статистические модели сельских распределительных сетей / Ю.И. Акимцев, В.В. Афанасьев // Труды Волгоградского сельскохоз. ин-та. – Волгоград, 1985. – Т. 92. – С. 80-87.

4. Поспелов, Г.Е. Надежность электроустановок сельскохозяйственного назначения / Г.Е. Поспелов, В.И. Русан. – Минск: Ураджай, 1982. – 166 с.

5. Крушельницкий, А.З. Модели электрических распределительных сетей / А.З. Крушельницкий, В.А. Попов // Электрические сети и системы: респ. межвед. науч.-техн. сб. – Львов: Вища школа, 1980. – Вып. 16. – С. 75-84.

6. Куценко, Г.Ф. Моделирование распределительных сетей напряжением 6-10 кВ / Г.Ф. Куценко, А.А. Парфенов // Энергосбережение. Электроснабжение. Автоматизация: материалы междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 22-23 ноябр. 2001 г. / Гомельский гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого; редкол.: Б. И. Кудрин [и др.]. – Гомель, 2001. – С. 84-86.

7. Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 511 с.

8. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В.П. Тарасик. – М.: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.

9. Методика статистической обработки эмпирических данных (РТМ-44-62). – М.: Изд – во стандартов, 1966. – 100 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.01.2008

## **ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,38 кВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

**В.П. Счастный, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ)**

### **Аннотация**

*Для конструктивного взаимодействия между энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии в сельских электрических сетях 0,38 кВ требуется применение комплекса технических средств (КТС), обеспечивающих как надежное и качественное электроснабжение сельскохозяйственных объектов, так и способных регистрировать и архивировать значения параметров и режимов работы этих сетей. Предложены функции КТС и направления их оптимизации при определении оценки эффективности его функционирования.*

### **Введение**

В структуре электропотребления Республики Беларусь производственные сельскохозяйственные потребители и сельское население составляют 15-17 %. Взаимоотношения между электроснабжающей организацией и потребителями строятся на договорной основе и регламентируются «Правилами пользования

электрической и тепловой энергией» [1]. Не вдаваясь в детальный анализ разработанного более 10 лет назад вышеупомянутого нормативного документа, по мнению большинства руководителей энергетических служб предприятий, он не соответствует современным экономическим отношениям. Фактически, несмотря на имеющие место констатации ответственности сторон, энергоснабжающая организация, являю-

щаяся монополистом, не несет ответственности за качество электроэнергии, надежность электроснабжения и т.д. Не работают механизмы реализации ряда программ, направленных на стимулирование внедрения технических средств по поддержанию качества напряжения, снижение потерь и рациональному использованию электроэнергии.

К основным причинам «однобокости» исполнения договора в части «ответственности сторон», невозможности предъявления иска к энергоснабжающей организации, относятся:

- отсутствие у потребителей технических средств регистрации и архивирования параметров электрических сетей 0,38 кВ, перерывов в электроснабжении и других нарушений договорных отношений;

- недостаточность технических средств у энергоснабжающей организации для регистрации и архивирования параметров сети на шинах подстанций, сетевых секционирующих пунктах, от которых отходят распределительные сети к подстанциям 10/0,38 кВ сельскохозяйственных объектов, что не позволяет анализировать претензии потребителей;

- несовершенство законодательства, что дает возможность энергоснабжающей организации выступать в роли продавца электроэнергии, контролера, законодателя и фактически арбитра спорных вопросов.

В связи с принятием «Концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь и Государственной комплексной программы модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006-2010 гг.» [2], ситуация меняется в сторону конструктивного взаимодействия между производителями электроэнергии, энергоснабжающими организациями и потребителями по выработке взаимовыгодных отношений.

## Основная часть

Для решения задачи энергосбережения, рационального использования электроэнергии сельскохозяйственными потребителями необходимо обеспечить их надежным электроснабжением и качественной электроэнергией. Для этого требуется сделать правильный выбор схемных и режимных параметров сельских электрических сетей 0,38 кВ, обеспечить их эффективными и, в оптимальном количестве, техническими средствами, в том числе способных регистрировать и архивировать параметры и режимы этих сетей.

В качестве критерия оценки эффективности функционирования КТС для обеспечения управления режимами работы, надежности электроснабжения и поддержания качества электроэнергии в сельских электрических сетях 0,38 кВ принимаем минимум суммарных дисконтированных затрат за расчетный период эксплуатации КТС, равного  $T_p$  годам:

$$Z_d \Sigma = \sum_{t=0}^{T_p} Z_t (1+E)^{-t}, \quad (1)$$

где  $Z_t$  – годовые затраты на комплекс технических средств, включающие капитальные вложения и текущие издержки, руб.;

$E$  – принятая ставка дисконтирования (норма дисконта) в относительных единицах.

Определимся с функциями комплекса технических средств, которые наиболее характерны для электрических сетей 0,38 кВ:

- поддержание в допустимых пределах уровней напряжения;

- обеспечение в допустимых пределах синусоидальности и симметрии трехфазной системы напряжения 0,38 кВ;

- оптимальная компенсация реактивной мощности;

- контроль и ограничения режима суточного графика нагрузки;

- обеспечение режимов отключения недогруженных трансформаторов и линий электропередачи 0,38 кВ с оптимизацией схемы электроснабжения, обеспечивающей надежность электроснабжения объекта;

- регистрация и архивирование параметров напряжения на стороне высшего напряжения потребительских подстанций 10/0,38 кВ;

- регистрация и архивирование параметров напряжения, режима суточного графика нагрузки на стороне низшего напряжения потребительских подстанций 10/0,38 кВ;

- многоуровневый тарифный учет потребления активной и реактивной энергии;

- регистрация и архивирование времени и длительности перерывов электроснабжения объекта.

Вышеперечисленные функции для комплекса технических средств могут быть приняты для сельскохозяйственного объекта первой категории по надежности электроснабжения и являются начальной постановкой задачи оптимизации дисконтированных затрат, по мере решения которой, могут вводиться другие функции, например, изменение установленной мощности объекта и т.д.

Суммарные годовые затраты для комплекса технических средств сельскохозяйственного объекта представим в виде трех взаимозависящих составляющих:

$$Z_{\Sigma} = X + Y + Z; \quad (2)$$

где  $X$  – стоимость комплекса технических средств с установленными нормативными отчислениями, руб.;

$Y$  – стоимость суммарных потерь энергии на объекте, руб.;

$Z$  – суммарный ущерб, связанный с ухудшением качества электроэнергии, несоблюдением режимов работы и перерывов в электроснабжении, руб.

Первую составляющую представим выражением:

$$X = \left[ \sum_{e=0}^p \left( K_{Ye} + \sum_{i=0}^n K_{Ti} \right) + \sum_{j=0}^m \left( K_{Yj} + K_{Tj} \right) + \sum_{f=0}^w K_{Tbf} \right] \cdot k_o + z_n, \quad (3)$$

где  $K_{Ye}$  – стоимость средства единого управления для  $n$  технических средств, руб.;

$K_{Yj}$  – стоимость средства управления для  $j$  технического средства, руб.;

$K_{Ti}$ ,  $K_{Tj}$ ,  $K_{Tbf}$  – стоимость технических средств, соответственно, имеющих единое для нескольких технических средств средство управления, индивидуальное средство управления и без средства управления, руб.;

$k_o$  – коэффициент отчислений на амортизацию, ремонт и техническое обслуживание комплекса технических средств;

$z_n$  – заработка плата персонала, обслуживающего комплекс технических средств, руб.

Очевидно, что для выполнения КТС вышеперечисленных функций потребуются инвестиции не только в аппараты управления, защиты, установок компенсации реактивной мощности, средств регулирования напряжения, но и дополнительные инвестиции в электрические сети. Выполнение отдельных видов работ (при отсутствии необходимого количества специалистов в сельскохозяйственном производстве) потребует привлечение дополнительного квалифицированного персонала. Поэтому, введение в выражение (3) затрат на заработную плату обслуживающего персонала (как правило, при определении суммарных годовых затрат не учитывают) может при определенных условиях существенно влиять на величину суммарных затрат.

С развитием микропроцессорной техники появляется возможность уменьшения количества средств управления и регулирования при решении комплексной задачи. Используя многофункциональность микропроцессоров, возможно одним микропроцессором одновременно осуществлять контроль параметров сети, качества напряжения, производить регистрацию и архивирование полученных данных, управлять установкой компенсации реактивной мощности и т.д. [3,4,5]. При этом основные критерии оценки принимаемых технических и организационных решений, оптимизации параметров целевой функции замены  $j$  индивидуальных средств управления на единое средство  $e$  должны увязываться между собой с возможностью выполнения единым средством управления  $n$  объединенных функций и изменение степени надежности работы КТС.

Стоимость суммарных потерь энергии в общем виде представим:

$$Y = (\Delta W_a + \Delta W_{k\omega} + \Delta W_p + \Delta W_t + \Delta W_{tc}) \cdot \beta, \quad (4)$$

где  $\Delta W_a$  – потери активной энергии в электрических сетях, кВт·ч;

$\Delta W_{k\omega}$  – потери энергии от превышения допустимых норм показателей качества электроэнергии кВт·ч;

$\Delta W_p$  – потери энергии из-за перетоков активной мощности в электрических сетях, кВт·ч;

$\Delta W_t$  – потери энергии в технических средствах, кВт·ч;

$\Delta W_{tc}$  – потери энергии в силовых трансформаторах, кВт·ч;

$\beta$  – удельная стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч.

Для решения многомерной задачи дискретного программирования оптимизации потерь энергии рассматриваемого объекта с КТС, необходимо провести оптимизацию отдельных дискретных параметров. В общем виде критерий оптимальности задачи представим как

$$Y = Y(\Delta \bar{W}, t) \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$\text{где } - \Delta \bar{W} = \{\Delta \bar{W}_1, \Delta \bar{W}_2, \dots, \Delta \bar{W}_n\},$$

$$\Delta \bar{W}_1 \in \Omega_1, \Delta \bar{W}_2 \in \Omega_2, \dots, \Delta \bar{W}_n \in \Omega_n. \quad (6)$$

Количество векторов  $\Delta \bar{W}_n$  принимается в зависимости от характеристик КТС, характера нагрузки и принятых ограничений.

Суммарный ущерб, связанный с ухудшением качества электроэнергии, несоблюдением режима работы и перерывов в электроснабжении представим в общем виде как

$$Z = G_{bg} + G_{oh} + G_{hh} + G_{pp} + G_{ne}, \quad (7)$$

где  $G_{bg}$  – ущерб от высших гармоник, руб.;

$G_{oh}$  – ущерб от отклонений напряжения, руб.;

$G_{hh}$  – ущерб от несимметрии напряжения, руб.;

$G_{pp}$  – ущерб (штрафные санкции) от несоблюдения режима работы, руб.;

$G_{ne}$  – ущерб (штрафные санкции) от перерывов в электроснабжении объекта, руб.

Электромагнитная составляющая ущерба  $G_{bg}$ , обусловленная несинусоидальностью напряжения и токов, широко рассмотрена в [6]. Выражения для оценки ущерба состоят из дополнительных потерь мощности, что учитываем в  $\Delta W_{k\omega}$ , и сокращения срока службы изоляции оборудования. На сокращение службы изоляции воздействуют и другие факторы. Вместе с тем, при значительных превышениях допустимых значений уровней высших гармоник и отклонений напряжения выходит из строя электрооборудование, появляются ложные срабатывания защит. Поэтому наступление ущерба от  $G_{bg}$ ,  $G_{oh}$  и  $G_{hh}$  считаем выход из строя электроприемников, в том числе и оборудования КТС, ложные срабатывания защиты при определенных уровнях высших гармоник или уровнях напряжений выше предельно допустимых. Вероятность наступления ущерба  $P$  описываем интегральной функцией распределения:

$$F(K_U) = P(K_U < K'); \quad (8)$$

$$F(\delta U) = P(\delta U < K''), \quad (9)$$

где  $K'$ ,  $K''$  – значения, соответственно, коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения ( $K_U$ ) и установившегося отклонения напряжения ( $\delta U$ ), при которых выходит из строя оборудование или появляются ложные срабатывания защиты.

Ущерб от невыполнения режима работы электрических сетей 0,38 кВ  $G_{pp}$  и перерывов в электроснабжении  $G_{пз}$  обусловлен невыполнением договорных отношений между электроснабжающей организацией и потребителем электроэнергии. Для подтверждения двухсторонних обязательств требуется представить уровни потребления электроэнергии, продолжительность перерывов в электроснабжении, зарегистрированных техническими средствами [1]. При этом  $G_{пз}$  может возникнуть как по вине энергоснабжающей организации, так и потребителя. Потребитель уплачивает штрафные санкции как за нарушение режима работы электрических сетей 0,38 кВ, так и за «упущенную» выгоду в результате перерыва в электроснабжении объекта по вине потребителя. Оплата ущерба энергоснабжающей организацией производится с учетом: превышения согласованного времени длительности перерывов в электроснабжении по категории надежности электроснабжения потребителей; совпадения перерыва в электроснабжении с технологическим циклом работы объекта; стоимости простоев оборудования и рабочей силы; недополученной выгоды; прямых убытков от гибели животных, птиц и порчи продукции с учетом затрат на утилизацию.

Существующие методики определения ущерба весьма противоречивы, а расчетный реальный ущерб – субъективен. Учитывая эти обстоятельства, а также соизмеримость потребления электроэнергии на объектах отдельных групп потребителей (птицефабрики, фермы, агрогородки и т.п.) необходима разработка упрощенной методики определения ущерба. Ущерб должен отображаться ежемесячно техническими средствами в результате регистрации параметров электрических сетей и длительности перерывов в электроснабжении. Выражение ущерба примет вид:

$$Z = \beta \cdot \sum_{i=1}^n K_{yi}^* \cdot W_{cp}, \quad (10)$$

где  $\beta$  – удельная стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч;

$K_{yi}^*$  – усредненный коэффициент по каждой из составляющих (7), выраженный в относительных единицах;

$W_{cp}$  – усредненное количество электроэнергии, потребляемой за месяц, кВт·ч.

$K_{yi}^*$  определяется из типовых монограмм объектов, строящихся относительно принятой за базовую величину (установленную мощность оборудования объекта, средний уровень потребления электроэнергии и т.п.) и

учитывающих время превышения допустимых пределов (величину превышения допустимых пределов).

В выражение (10) не входит ущерб от гибели животных и птиц, порчи продукции, так как это исключительные случаи, и они определяются, как правило, при расследовании в рамках уголовных дел. Не входит также моральный ущерб.

При оптимизации критериев оценки эффективности функционирования КТС составляющая ущерба должна стремиться к нулю.

### Заключение

Предложенные функции, выражения определения минимума суммарных дисконтированных затрат, критерии оптимизации их составляющих необходимо использовать при разработке математической модели сельскохозяйственного объекта с применением КТС и решения многомерной задачи дискретного программирования оптимизации затрат.

### ЛИТЕРАТУРА

- Правила пользования электрической и тепловой энергией. – Минск: Ред. Журн. «Тыдзень», 1996. – 178 с.
- Указ Президента Республики Беларусь от 25 августа 2005 г. № 399 «Об утверждении Концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь и Государственной комплексной программы модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергоснабжения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006 – 2010 годах».
- Счастный, В.П. Цифровой регулятор-измеритель реактивной мощности / В.П. Счастный, А.И. Жуковский //Агропанорама. – 2000. – №1. – С. 25–27.
- Устройство для управления регулируемым источником реактивной мощности: пат 3341 Респ. Беларусь, МПК Н 02j 3/16, 3/18, Н 02H 3/18, 3/20, G 05F 1/70 / В.П. Счастный [и др.]; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № 970347; заявл. 30.06.97; опубл. 30.06.00 //Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2000. – № 2. – С. 146.
- Устройство для управления оборудованием трансформаторной подстанции: пат 882 Респ. Беларусь, МПК Н 02j 3/18, Н 01F 21/00, G 05B 13/02 / В.П. Счастный [и др.]; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № 20020245; заявл. 27.08.02; опубл. 30.06.03 //Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 2. – С. 227.
- Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий / И.В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.

## **ЗАЩИТА ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСНЫМИ УНИВЕРСАЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ**

**В.В. Гурин, канд. техн. наук, доцент, Е.В. Лавцевич, аспирантка (УО БГАТУ)**

### **Аннотация**

*Приведен анализ использования параметров асинхронного электродвигателя для контроля его аварийных состояний. Приведены характеристики комплексных универсальных устройств защиты электродвигателей, используемых в Беларуси и соседних странах.*

### **Введение**

В известной литературе [1] описаны разнообразные устройства защиты электродвигателей, выпускаемые до 90-х годов прошлого столетия. В них принцип комплексности и универсальности не раскрыты. В последние годы на рынках Беларуси и в соседних странах появилось более десятка комплексных и универсальных устройств защиты. Их особенности не систематизированы и не раскрыты в достаточной мере. Далее в статье показана возможность построения комплексных универсальных защит с выбором основного параметра контроля и приведена характеристика комплексных универсальных устройств защиты, имеющихся на рынках Беларуси и в соседних странах.

### **Основная часть**

К устройствам защиты электродвигателей в сельском хозяйстве предъявляются следующие требования:

- комплексность, т.е. способность защищать электродвигатель комплексно, во многих аварийных состояниях;
- универсальность, т.е. возможность применения для многих электродвигателей, например, имеющих номинальные токи от 10 до 127 А;
- модульность, т.е. устройство должно состоять из основного и дополнительных функциональных модулей защиты, контролирующих определенное аварийное состояние электродвигателя. Изъятие из устройства определенного модуля защиты не должно нарушать функционирования других модулей. Это позволит, во-первых, выбирать модули защиты в зависимости от аварийных состояний электродвигателя на данной рабочей машине; во-вторых, повысить ремонтопригодность устройства защиты;
- диагностировать перед пуском электродвигателя полнофазность сетевого напряжения и порядок

переводования фаз, а также состояние изоляции электродвигателя;

– наличие индикации о причине аварийного отключения;

– степень защиты устройства должна быть IP 65 при индивидуальном монтаже и IP 31 – при монтаже в оболочке комплектного низковольтного устройства со степенью защиты IP 54.

Анализ изменения параметров асинхронного электродвигателя в аварийных режимах показал, что контролем одного параметра невозможно обеспечить полную защиту электродвигателя от всех аварийных режимов. Такой же вывод находим в работах [1,2]. Возможность контроля аварийных состояний через параметры электродвигателя изображена в табл. 1.

Из табл. 1 следует:

1) контроль наибольшего числа аварийных режимов обеспечивают параметры, ток и температура;

2) состояние изоляции обмотки можно контролировать только отдельной защитой по ее сопротивлению постоянному току. Этот же параметр контроля рекомендуется в ПУЭ;

3) виброускорение ( $\text{м}/\text{с}^2$ ) электродвигателя можно контролировать только с помощью датчика вибрации. Этот датчик косвенно контролирует также износ подшипников;

4) нарушение охлаждения электродвигателя и частые пуски можно контролировать только температурной защитой.

Таким образом, в основу построения простейшей комплексной модульной защиты первого уровня должен быть положен модуль контроля тока. Этот модуль должен быть обязательно дополнен следующими модулями:

– предпускового контроля неполнофазного режима питающей сети;

**Таблица 1. Возможность контроля аварийных состояний трехфазного асинхронного электродвигателя**

№	Аварийное состояние или режим работы	Параметр контроля*									
		U, В	I, А	P <sub>1</sub> , Вт	θ, °C	γ, град	cos, о.е.	ΔQ, Дж	R <sub>из</sub> , кОм	Φ <sub>рас</sub> , В·с	δ, м/с <sup>2</sup>
1	Неполнофазное питание перед включением и обратное чередование фаз	+	-	-	-	⊕	-	-	-	-	-
	Неполнофазное питание при работе	±	⊕	±	+	+	-	±	-	±	-
2	Перегрузка технологическая (неравномерная и пульсирующая)	-	+	+	⊕	-	±	+	-	±	-
3	Стопорный режим	-	⊕	±	±	-	±	±	-	+	-
4	Отклонение напряжения выше нормы **	⊕	±	±	±	-	±	±	-	±	-
5	Несимметрия напряжения выше нормы	+	⊕	±	+	±	±	±	-	±	±
6	Увлажнение обмотки	-	-	-	-	-	-	-	⊕	-	-
7	Износ подшипников	-	±	±	+	-	-	-	-	±	⊕
	Разрушение подшипников	-	⊕	±	+	-	-	±	-	±	-
8	Вибрация электродвигателя выше нормы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	⊕
9	Нарушение охлаждения	-	-	-	⊕	-	-	-	-	-	-
10	Частые пуски	-	±	±	⊕	-	-	±	-	±	-

Примечания: "+" – возможен контроль; "±" – возможен контроль при некоторых условиях (ограничен контроль);  
"–" – невозможен контроль;  $\oplus$  – наиболее приемлемый параметр контроля.

\*U – напряжение, В; I – ток, А; P<sub>1</sub> – потребляемая мощность, Вт; θ – температура, °C; γ – фазовый угол между напряжениями, град; cosφ – коэффициент мощности, о.е.; ΔQ – количество теплоты в тепловом реле, Дж; R<sub>из</sub> – состояние изоляции, кОм; Φ<sub>рас</sub> – магнитное поле рассеяния обмотки статора, В·с; δ – виброускорение, м/с<sup>2</sup>.

\*\*Отклонение напряжения опасно только при увеличении тока выше номинального значения.

– предпускового контроля обратного чередования фаз;

– предпускового контроля сопротивления изоляции.

В более сложной комплексной защите второго уровня, при пульсирующих нагрузках, частых пусках и возможности нарушения охлаждения электродвигателя используются модули первого уровня, и добавляется модуль контроля температуры обмотки электродвигателя.

Комплексная защита третьего уровня дополнительно к модулям второго уровня контролирует износ подшипников и имеет модуль контроля вибрации.

В отдельных случаях комплексные защиты указанных уровней могут иметь дополнительные модули, обусловленные особенностями использования электродвигателя на данной рабочей машине, осо-

бенностями окружающей среды, управления и автоматизации. Дополнительные модули следующие: защиты обмоток электродвигателя от импульсных перенапряжений; контроля тока утечки; защиты обмоток от увлажнения во время технологических пауз; сушки обмоток во время технологических пауз; контроля минимальной нагрузки; внешнего управления от технологических датчиков; коммутации (при переключениях в силовой цепи); интерфейса связи с ПЭВМ высшего уровня.

На рис.1 (а) приведена структурная схема комплексной модульной защиты первого уровня, а на рис.1 (б) – третьего уровня.

Как же реализуются указанные выше требования в комплексных универсальных защитах асинхронных

электродвигателей, известных на рынке Беларуси и других стран? Для ответа на этот вопрос проведем

анализ известных в Беларуси и в других странах комплексных универсальных устройств защиты (табл. 2).

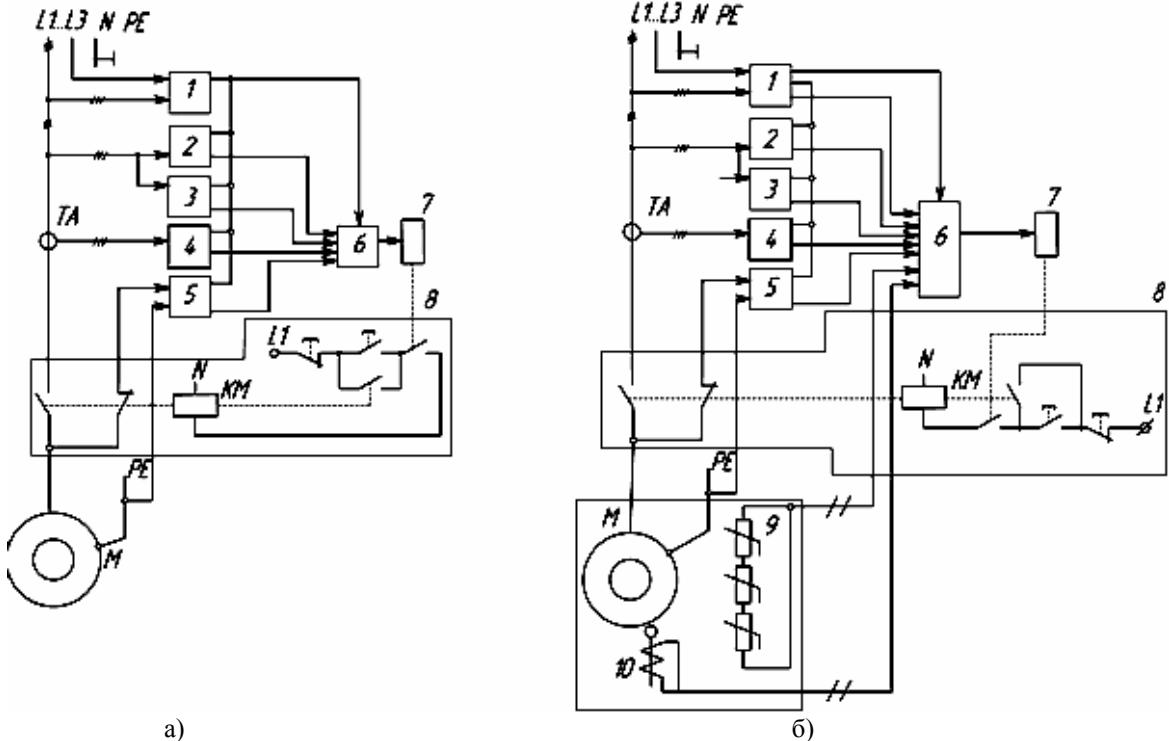


Рисунок 1. Структурные схемы комплексной универсальной защиты первого уровня (а) и третьего уровня (б):  
 1 – блок питания; 2 – модуль контроля обратного чередования фаз; 3 – модуль контроля неполнофазного режима;  
 4 – модуль контроля тока; 5 – модуль контроля сопротивления изоляции; 6 – микропроцессорный блок;  
 7 – исполнительный орган; 8 – блок коммутации; 9 – термодатчики;  
 10 – датчик вибрации; ТА – датчики тока

**Таблица 2. Характеристика комплексных универсальных устройств защиты асинхронного электродвигателя, имеющихся на рынках Беларуси и соседних стран**

Марка защитного устройства, страна-изготовитель	Вид устройства по основному параметру защиты	Защищаемые аварийные состояния АД	Примечания
Си ЭЗ, Беларусь, завод «Мегом», НПП «БИНАР», г. Витебск	Токовое электронное	Неполнофазный режим, стопорный режим, перегрузка. По заказу – контроль температуры	На токи 8-25 А; 20-80 А. При перегрузке 1,5 лн время срабатывания – 20 с, при 3,5 лн – 5 с. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя. Степень защиты IP40. Цена: 140 400 бел. руб.
РЗД-3М, Россия, ОАО «ВНИИР», г. Чебоксары	Токовое электронное	Неполнофазный режим, перегрузка, КЗ, стопорный режим	На ток от 2,5 до 800 А (с ТТ). При 1,2 лн $t_{ср}=120\ldots150$ с, При 6 лн $t_{ср}=10\ldots12$ с. Степень защиты IP40. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя.
АЗД, Украина, г. Донецк	Токовое электронное	Перегрузка, стопорный режим, неполнофазный режим	На токи от 50 до 2500 А (с ТТ). Контролируется ток 2-х фаз. Степень защиты IP40. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя.
РЗД-1, Россия, ОАО «ВНИИР», г. Чебоксары	Токовое электронное и, возможно, температурное	Неполнофазный режим, перегрузка, стопорный режим, контроль изоляции перед пуском. Возможен контроль температуры с помощью полупроводниковых датчиков СТ-14.	На ток от 0,2 до 100 А и более с внешними ТТ. Дополнительно – контроль технологического параметра. Информационный выход. Степень защиты IP30.

**продолжение таблицы 2**

Марка защитного устройства, страна-изготовитель	Вид устройства по основному параметру защиты	Защищаемые аварийные состояния АД	Примечания
РЭЗЭ-6, РЭЗЭ-7, ООО «Тетра, Ltd», Украина, Харьков	Токовое электронное (РЭЗЭ-7), токовое электронное и тепературное (РЭЗЭ-6)	Перегрузка, несимметрия, неполнофазный режим, перегрев обмотки. Минимальная нагрузка (х.х.), контроль изоляции (РЭЗЭ-6).	На токи до 6 А (РЭЗЭ-7), от 1 до 625 А в 4-х диапазонах (РЭЗЭ-6). *Цена: 140 070 бел.руб.(РЭЗЭ-7); 240 990 бел.руб.(РЭЗЭ-6). Степень защиты IP30.
БТ31-1У, Россия, ОАО «Рикор электроникс», ООО «Приборы и механизмы», г.Чебоксары	Токовое электронное	Неполнофазный, перегрузка, КЗ, снижение Rиз	На токи 2...500 А. В дежурном (отключенном) положении контролируется Rиз и наличие напряжения по фазам, производится профилактическая сушка обмоток электродвигателя. Цена : 487 200 бел.руб. Степень защиты IP31.
УЗ-ЭД, Россия, ОАО»Старорусприбор», г.Старая Русса, Новгородской обл.	Токовое электронное	Предпусковой контроль сопротивления изоляции, перегрузка, неполнофазный режим, ассиметрия токов.	На токи от 2 до 165 А с шагом 1 А, от 20 до 680 А с шагом 4 А, от 5 до 37,4 А с шагом 0,2 А. Контроль двух фаз. Диапазон уставок времени срабатывания при 1,3н от 2 до 15 с, с шагом 1 с. Выдержка времени на повторный пуск. Переключение «звезда-треугольник». Степень защиты IP40.
3RB10, Германия, «Siemens»	Токовое электронное	Неполнофазный режим, перегрузка с характеристиками класса 5,15,25.	Собственное энергоснабжение, токи до 100 А. Степень защиты IP31. Цена: 360 000 бел.руб.
РДЦ-01, Украина, ОАО «Электротехнический завод», г.Киев	Токовое микропроцессорное	Неполнофазный режим, несимметрия токов, чередование фаз, перегрузка, отклонение напряжения	На токи от 5 до 500 А (с ТТ). Диапазон уставок по току 0,1 А; 1 А; 10 А. Время запуска АД 1...10 с, задержка при х.х.– до 255 с. Степень защиты IP30. Повторные пуски 0...5 через 15 с. Цифровой индикатор. Цена: 202 140 бел.руб.
УБЗ-301, Россия, НПП «Новатек-Электро», Санкт-Петербург	Токовое микропроцессорное	Неполнофазный, перегрузка, несимметрия, предпусковой контроль напряжения, обратного чередования фаз, сопротивления изоляции. Контроль сопротивления изоляции при работе электродвигателя.	На токи от 5 до 600 А (5-50 А; 10-100 А; 63-630 А). Точная установка тока уставки. Контроль токов двух фаз. Тепловая модель электродвигателя. Без цифрового индикатора. Степень защиты прибора IP40, клемника IP20. Через отдельный блок обмена – связь по интерфейсу RS-485. Цена: 327 990 бел.руб.
БЗ (БЗ-3,БЗ-5,БЗ-6), Россия, ООО «Спецэлектро», Смоленская обл., г.Рудня	Токовое микропроцессорное	Неполнофазный, перегрузка, несимметрия, контроль минимальной нагрузки, предпусковой контроль изоляции	На токи от 5 до 630 А. Цифровой индикатор. Встроенная тепловая модель. Интерфейсы: RS-232, RS-485; USB. Счетчик часов активной и реактивной энергии (токов), индикатор $\cos \varphi$ . Возможность подключения датчиков температуры, вибрации и т.п. Степень защиты IP31. Цена: 504 000 бел.руб.

**продолжение таблицы 2**

Марка защитного устройства, страна-изготовитель	Вид устройства по основному параметру защиты	Защищаемые аварийные состояния АД	Примечания
РЗ-03-07, Беларусь, ОАО «Энситех», г.Минск	Токовое микропроцессорное	Трехступенчатая максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени, асимметрия тока, предпусковой контроль сопротивления изоляции, неполнофазный режим.	Ток 0,1...75 А. Архив событий, учет моторесурса, учет электроэнергии. Переносной пульт оператора. Интерфейсы RS-485, RS-232, цифровой индикатор в пульте оператора. Степень защиты IP31. Цена: 944 000 бел.руб. Пульт управления – 1 200 000 бел.руб.
EOCR-3M420, Ю.Корея, «EOCR»	Токовое микропроцессорное	Перегрузка, стопорный режим, несимметрия тока, неполнофазный режим	На токи 0,5...60 А. Цифровая индикация . Архивация последних трех событий. Класс защитных характеристик 10, 20, 30 с. Степень защиты IP31. Цена: 690 000 бел.руб.

\*Цена определена по прайс-листам производителей на 20.12.2007 г.

Из табл. 2 можно сделать следующие выводы:

- 1) комплексные универсальные защиты являются токовыми;
- 2) наиболее простые комплексные универсальные защиты имеют проходные датчики тока (СиЭЗ, РЗД-3М, АЗД). Они защищают асинхронные электродвигатели в неполнофазном режиме, при перегрузке и в стопорном режиме. Питание их электронных схем организовано от токовых цепей защищаемого электродвигателя. Это позволяет включить электродвигатель на заведомо неполнофазную сеть, без проверки сопротивления изоляции обмотки перед пуском. В этом их недостаток;
- 3) большие функциональные возможности имеют токовые электронные реле в сочетании с температурной защитой и дополнительно с контролем сопротивления изоляции перед пуском (РЗД-1, РЭЗ-6, БТЗ1-1У, УЗ-ЭД);
- 4) наибольшие функциональные возможности обеспечивают токовые микропроцессорные защиты. Они позволяют формировать время-токовые характеристики во всем диапазоне перегрузок, изменять вид время-токовых характеристик по классам защит (5, 10, 15 и т.д.), что означает время срабатывания при шестикратной перегрузке, иметь повышенный диапазон регулирования тока уставки, моделировать тепловое состояние электродвигателя, иметь интерфейсы связи с компьютерными системами высшего уровня, обеспечивать индикацию текущих значений, уставок, аварийных режимов, память событий. Некоторые из них, например, РЗ-03-07, представляют собой мониторы сети, позволяющие измерять напряжение, токи, электрическую энергию,  $\cos\varphi$ , моторесурс и др. величины. Такие устройства защиты, как РЗ-03-07, характеризуются избыточностью контролируемых параметров;
- 5) известные комплексные универсальные устройства защиты построены не на модульном принципе;
- 6) ни одно известное устройство защиты не контролирует вибрацию электродвигателя и не обеспечивает защиты обмоток электродвигателя от импульсных перенапряжений;
- 7) большинство известных токовых устройств защиты АД рассчитаны на средние и большие токи, а

в сельском хозяйстве используются электродвигатели малой мощности;

8) все известные устройства защиты имеют низкую степень защиты от воздействия окружающей среды и не пригодны для работы в сельском хозяйстве без специальных защитных оболочек.

### Выводы

1. Устройство защиты асинхронного электродвигателя для условий сельскохозяйственного производства должно быть комплексным, модульным, микропроцессорным (без индикатора), универсальным (хватывать в нескольких габаритах токи от 0,1 до 127 А), иметь степень защиты IP65 для индивидуального монтажа и IP31 – для монтажа в НКУ.

2. В основу построения комплексного, универсального и модульного устройства защиты должен быть положен параметр контроля тока. Этот основной модуль должен быть дополнен следующими модулями (для первого уровня защиты): предпускового контроля неполнофазного режима; предпускового контроля обратного чередования фаз; предпускового контроля сопротивления изоляции обмоток. Для второго уровня защиты, кроме указанных модулей, добавляется модуль контроля температуры обмотки. Для третьего уровня защиты, кроме указанных модулей, добавляется модуль контроля вибрации (контроля износа подшипников) и модули дополнительных возможностей.

3. Ни одно известное устройство защиты асинхронного электродвигателя не соответствует этим требованиям.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Грундулис, А.О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве/ А.О. Грундулис. – 2-е изд. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 111с.
2. Данилов, В.Н. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей, используемых в сельскохозяйственном производстве, электронными средствами защиты: автореф.... дис. д-ра техн. наук: 05.20.02/ В.Н. Данилов. – Челябинск, 1991. – 36 с.

## **КОЛОНКОВЫЕ ЗЕРНОСУШИЛКИ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТЬЮ ЗЕРНА НА ВЫХОДЕ**

**Ю.А. Сидоренко, канд. техн. наук, доцент, Ю.А. Шимко, аспирант (УО БГАТУ)**

### **Аннотация**

*Проведен анализ колонковой зерносушилки как объекта автоматизации. В результате проведенного анализа выявлены управляемые величины, управляющие и возмущающие воздействия на зерносушилку как объект управления влажностью зерна на выходе из зерносушилки и температурой зерна. Предложены функциональные схемы систем, обеспечивающие автоматизированное управление влажностью зерна на выходе из зерносушилки и температурой зерна.*

### **Введение**

Автоматизация управления процессом сушки зерна на протяжении десятков лет уделяется большое внимание. Связано это, прежде всего с тем, что рассматриваемый объект является сложным объектом управления, включающим биологическую составляющую – зерно и техническую – зерносушильный комплекс. Центральным звеном зерносушильного комплекса является зерновая сушилка, которая должна обеспечить разнообразные режимы сушки в зависимости от вида культуры зерна и его целевого назначения (семенное зерно, продовольственное зерно, фуражное зерно). В процессе сушки влажность и температура зерна на входе в зерносушилку существенно колеблются [1]. Параметры сушилки, как динамического объекта управления, не остаются постоянными с изменением режимов. Все это приводит к тому, что оператор при ручном управлении не в состоянии обеспечивать близкий к оптимальному ход технологического процесса.

При ручном управлении колебания температуры теплоносителя составляют 15...20 °C, колебания температуры зерна – 5...7 °C, колебания влажности зерна – 4...6% от требуемых значений. Производительность зерносушильных комплексов при этом не превышает 70% номинальной, а удельные затраты энергии на сушку увеличиваются [2, 3].

### **Основная часть**

#### **Исходные требования к результатам сушки, процессу сушки и объекту управления**

Стандарты предусматривают четыре состояния зерна по влажности (в %): сухое – 13...14; влажное – 15,6...17; сырое – свыше 17. Для длительного хранения пригодно только сухое зерно. Таким образом, конечная влажность качественного зерна должна составлять 13...14%. Влажность зерна на выходе зерносушилки может рассматриваться как цель управления, а точность ее поддерживается в качестве крите-

рия оптимальности системы, но это еще не гарантирует действительное качество сухого зерна. Для обеспечения качества зерна должны быть обеспечены необходимые режимы сушки. С точки зрения управления, соблюдение этих режимов можно рассматривать как ограничения. Съем влаги за один проход не должен превышать 6% для злаковых и 3...4% для бобовых культур, кукурузы, риса, проса и гречихи [3, 4]. Максимальная допустимая температура теплоносителя и зерна ограничена для различных культур и целей сушки (семенное зерно, продовольственное зерно, фуражное зерно). Соблюдение этих ограничений непосредственно обеспечивает качество зерна: всхожесть и развитие растений для семенного зерна; пищевую ценность для продовольственного и фуражного зерна [2, 5]. В то же время, снижение температуры теплоносителя существенно повышает удельную энергоемкость технологического процесса [2, 4, 6]. Поэтому, с точки зрения оптимальности системы, этот показатель желательно поддерживать на максимальном допустимом уровне. Следует отметить взаимосвязь между температурами зерна и теплоносителя. Поэтому снижение температуры теплоносителя следует проводить только в случаях, если температура зерна превышает допустимый уровень.

Для успешного синтеза любой системы управления необходимо, чтобы объект был подготовлен к автоматизации. Объект должен обеспечивать режимы близкие к оптимальным по своим эксплуатационным возможностям. Он должен обеспечивать возможность управления режимами работы при отклонении управляемых переменных от требуемых значений. Немаловажное значение имеет предварительное информационное обеспечение для выбора номинальных режимов работы. Например, для колонковой зерносушилки СЗК-8 в инструкции по эксплуатации приведена таблица для выбора производительности сушилки в зависимости от культуры, исходной влажности зерна и целей сушки (семенное зерно, продовольственное

зерно, фуражное зерно). Приведены также ограничения на температуру теплоносителя и зерна для каждого режима. Такие рекомендации позволяют выбрать исходный режим работы системы на программном уровне, что существенно облегчает синтез алгоритма управления.

### **Анализ возможности управлением режимами работы зерносушилок. Управляющие и возмущающие воздействия**

Влажность зерна  $W$  на выходе из зерносушки (влагосъем) и температура  $\Theta$  зерна зависят от температуры теплоносителя  $\Theta_T$ , количества теплоносителя  $L$ , подаваемым в зерносушилку, относительной влажности теплоносителя  $\varphi$ , скорости  $V$  движения и времени  $t$  пребывания зерна в сушильной камере, конструктивных параметров  $N$  сушилки, исходной влажности  $Wo$  зерна, подаваемого в сушилку, и исходной температуры зерна  $\Theta o$  [2, 5, 7]:

$$\Theta, W = \psi(\Theta_T, L, \varphi, V, t, N, Wo, \Theta o).$$

По литературным данным [2, 5, 7], наиболее сильная корреляционная связь наблюдается между начальной  $Wo$  и конечной  $W$  влажностью зерна, начальной  $\Theta o$  и конечной  $\Theta$  температурами зерна. Таким образом, начальная влажность и температура зерна являются основными возмущающими воздействиями. Сильная корреляционная связь существует между скоростью  $V$  движения и конечной влажностью  $W$  зерна [2, 3, 7]. Поскольку скорость  $V$  и время  $t$  пребывания зерна в сушильной камере однозначно связаны через конструктивные параметры зерносушки с ее производительностью, основным управляющим воздействием, обеспечивающим влажность зерна на выходе, является производительность (изменение производительности).

Управлять влажностью  $W$  зерна на выходе путем изменения температуры теплоносителя нецелесообразно, поскольку снижение температуры теплоносителя ведет к потере энергоэффективности процесса сушки. Температуру теплоносителя целесообразно снижать, если температура зерна превысила допустимый уровень. Это значит, что температуру теплоносителя следует использовать в качестве управляющего воздействия на объект только по каналу управления температурой зерна.

Остальные переменные слабо коррелированы с конечной влажностью  $W$  и температурой  $\Theta$  зерна, поэтому их можно рассматривать как неосновные возмущающие воздействия.

Рассмотрим зерновую зерносушилку СЗК-15, работающую в составе комплекса ЗСК-15 (ОАО “Амкодор”, год внедрения 2007), с точки зрения возможностей управления технологическим режимом. Сушилка снабжена позиционной системой автоматического регулирования степени заполнения сушилки, воздухонагревателем с системой регулирования температуры теплоносителя (агента сушки), поступающего в

зерносушилку при работе на жидкое топливо, или газе (ВУ-Ж-2,0 или ВУ-Г-2,0). Количество нагретого воздуха, поступающего в зерносушилку, не регулируется. Производительность сушилки обеспечивается производительностью выгрузного устройства, которая регулируется вручную путем поднятия или опускания шторок. Сушилка снабжена датчиками температуры зерна. Датчик температуры теплоносителя входит в состав системы регулирования температуры теплоносителя. Для управления зерносушильным комплексом применен контроллер марки Mitsubishi Glofa-GM7U, сопряженный с ПЭВМ.

Проведенный анализ показывает, что зерновая сушилка СЗК-15, как объект управления влажностью зерна на выходе и температурой зерна, не полностью подготовлена к автоматизации. Производительность сушилки регулируется вручную. Сушилка не снабжена датчиками влажности зерна, позволяющими оперативно контролировать влажность. Положительным является наличие регулятора температуры теплоносителя (система стабилизации). Также положительным является применение в системе управления контроллера, что позволяет реализовать сложные алгоритмы управления.

Наиболее просто, с точки зрения синтеза системы, может быть решен вопрос о подготовке объекта к автоматизации. Для обеспечения управления производительностью выгрузное устройство может быть снабжено регулируемым приводом. В настоящее время ОАО “Амкодор” проводит работы по разработке и внедрению выгрузного устройства с частотно-регулируемым приводом. Сушилка должна быть снабжена датчиками влажности. Например, хорошо себя зарекомендовали поточные влагомеры, производимые предприятием “Микрорадар” [8].

### **Структура системы управления**

При выработке предложений по структуре системы следует учитывать следующее. По каналу влажности “ $Wo$  зерна на входе – влажность  $W$  зерна на выходе” объект управления обладает большим транспортным запаздыванием. Физические соображения позволяют предполагать, что объект можно приблизительно считать звеном чистого запаздывания, причем запаздывание зависит от производительности. В таких условиях, на наш взгляд, управление может быть обеспечено комбинированной системой управления: по основному возмущающему воздействию – изменению влажности зерна  $Wo$  на входе, и по ошибке – отклонению действительной влажности  $W$  на выходе от заданной  $W_3$ . Система должна быть снабжена программатором, обеспечивающим выбор и формирование предлагаемой номинальной производительности, исходя из влажности зерна на входе, культуры зерна, целевого назначения зерна (продовольственное, семенное или фуражное зерно) и регулятором, обеспечивающим изменение производительности в зависимости от ошибки. В связи с существенными изменениями параметров

объекта при изменении режимов работы системы должна быть адаптивной. Функциональная схема системы управления представлена на рис. 1.

Другой подсистемой должна быть система связанного управления температурой зерна и теплоносителя. Функциональная схема связанной системы управления температурой зерна и теплоносителя представлена на рис. 2.

Функцией программатора является формирование программы изменения температуры  $Q_{zt}$  теплоносителя. Функцией регулятора является поддержание температуры  $\theta_t$  теплоносителя на уровне, заданном программатором.

### Заключение

В результате проведенного анализа выявлены управляемые величины, управляющие и возмущающие воздействия на зерносушилку как объект управления влажностью зерна на входе из зерносушки и температурой зерна. Предложены функциональные схемы систем, обеспечивающих автоматизированное управление влажностью зерна на выходе из зерносушки и температурой зерна.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Анатазевич, В.И. Сушка зерна/ В.И. Анатазевич. – М.: Лабиринт, 1997. – 245 с.
2. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – Москва: Колос, 2003. – 344 с.
3. Андианов, Н.М. Особенности работы зерносушилок / Н.М. Андианов// Техника в сельском хозяйстве, 2006. – №4.
4. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Н.М. Неделько. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 386 с.
5. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск: БГАТУ, 2007. – 592 с.
6. Голубович, В.Д. Оптимизация технологии двухэтапной сушки зерна в условиях переменных режимов / А.В. Голубович, К.А. Белобородов, Д.С. Ламкин, А.Д. Галкин, В.Д. Галкин// Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – №4.
7. Андианов, Н.М. Повышение эффективности процесса сушки путем совершенствования рабочих органов, системы контроля и управления зерновых сушилок: автореф. ... дис. канд. техн. наук/Н.М. Андианов. – Санкт-Петербург, Пушкин, 2005. – 38 с.
8. Влагомеры. Раздел: Микроволновые поточные влагомеры и уровнемеры. Автоматизация технологических процессов [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.microradartest.com>. – Дата доступа: 12.04.08.

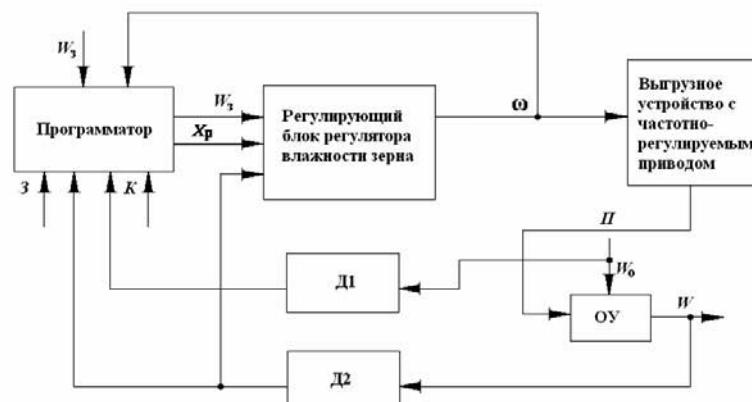


Рисунок 1. Функциональная схема системы автоматического управления влажностью зерна на выходе из зерносушки: ОУ – сушилка как объект управления влажностью зерна; Д1 – датчик влажности зерна на входе в зерносушилку; Д2 – датчик влажности зерна на выходе из зерносушки; З – целевое назначение зерна (семенное, продовольственное или фуражное зерно); К – культура; Хр – вектор параметров регулятора;  $\omega$  – частота вращения привода; П – производительность зерносушки; W – влажность зерна на выходе из зерносушки;  $W_0$  – влажность зерна на входе в зерносушилку

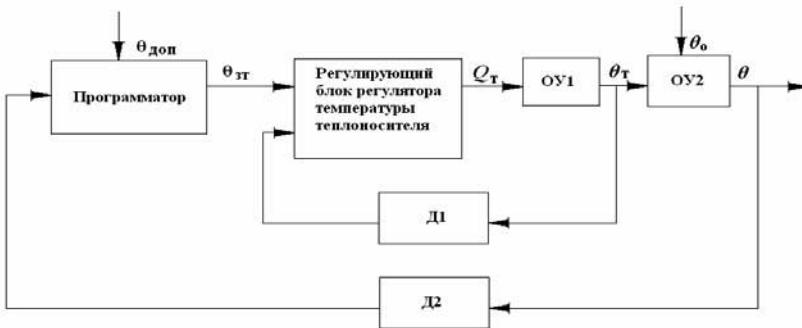


Рисунок 2. Функциональная схема связанной системы управления температурой теплоносителя и зерна: ОУ1 – воздухонагреватель как объект управления температурой теплоносителя; ОУ2 – зерновая сушилка как объект управления температурой зерна; Д1 – датчик температуры теплоносителя; Д2 – датчик температуры зерна;  $\theta_{доп}$  – допустимая температура зерна;  $\theta_{зт}$  – заданная температура теплоносителя;  $Q_t$  – количество топлива, подаваемое в камеру сгорания воздухонагревателя;  $\theta_t$  – температура теплоносителя;  $\theta$  – температура зерна в зерносушилке;  $\theta_0$  – температура зерна на входе в зерносушилку

7. Андианов, Н.М. Повышение эффективности процесса сушки путем совершенствования рабочих органов, системы контроля и управления зерновых сушилок: автореф. ... дис. канд. техн. наук/Н.М. Андианов. – Санкт-Петербург, Пушкин, 2005. – 38 с.

8. Влагомеры. Раздел: Микроволновые поточные влагомеры и уровнемеры. Автоматизация технологических процессов [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.microradartest.com>. – Дата доступа: 12.04.08.

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КАРТОФЕЛЕВОДСТВА

**А.С. Воробей, мл. науч. сотр. (РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»)**

### Аннотация

*Значение картофеля в плане решения проблемы продовольственной безопасности – неоспоримо. В развивающихся странах площади, отведенные под картофель, растут высокими темпами, и соответственно растет его потребление. Основные направления использования картофеля базируются на его пищевом, промышленном, кормовом и биоэнергетическом назначении. Всесторонний анализ возделывания картофеля в Беларуси включает описание проблем и перспектив данной отрасли. Особое внимание уделяется «Программе развития картофелеводства на 2006-2010 годы». Реализация Программы потребует усилий всех специалистов данной отрасли: ученых, создающих новые сорта картофеля, разрабатывающих технику и технологии, работников сельских хозяйств и перерабатывающих предприятий.*

### Введение

Картофель – один из важнейших источников питания для человека и животных. Среди источников энергии в питании людей он занимает пятое место после пшеницы, кукурузы, риса и ячменя. Благодаря содержанию физиологически ценных веществ, картофель играет важную роль в профилактике различных заболеваний, является важной диетической пищей.

Продовольственная и сельскохозяйственная организации ООН – ФАО возлагают большие надежды на эту культуру, учитывая ее урожайность и питательные свойства. Всего в мире производится 307,4 млн т картофеля при средней урожайности 16 т/га, посевные площади занимают 11,1 млн га. На первом месте стоит Китай, который выращивает 75 млн т этой культуры, на втором месте Россия – 37 млн т, затем США – 20,5 млн т, Украина – 19,5 млн т. Беларусь производит 8,5 млн т, хотя ее внутренняя потребность составляет до 20%, остальные 80% идут на экспорт.

Картофель обеспечивает продовольствием миллионы жителей развивающихся стран, спасая их от голода. В этих странах растет потребление картофеля

– с 9 кг на душу населения, в среднем, в 1961-1963 гг. до 15 кг в настоящее время. В Европе потребление падает, но очень быстро растет в Китае и Индии. За 20 лет мировое производство картофеля удвоилось. По сравнению с 60-ми гг. площади, отведенные под картофель в развивающихся странах, росли более высокими темпами, чем площади под все остальные культуры. Его потребление приведено в таблице [1].

Существующие проблемы продовольственной безопасности, нехватка продуктов питания и голод во многих странах планеты заставили обратить на обычную картошку особое внимание ООН. Эта авторитетная организация объявила 2008 год – «Годом Картофеля». Таким образом, привлекается внимание мировой общественности к этой высокоурожайной культуре.

Картофель по усвоемости белка приравнен к белкам животного происхождения. Кроме наличия крахмала, белка, витамина «С» и еще многих других витаминов и микроэлементов он содержит железо, марганец, медь, цинк, так необходимые организму, особенно ослабленному. Таким образом, именно эта культура может спасти бедные регионы от голода.

### Структура производства и потребления картофеля в странах-производителях

Страна	Потребление, всего тыс.т (=100%)	В том числе, %					
		На питание	На корм	На посадочный материал	На переработку	Потери	Прочие
Китай	67033	62,7	18,7	4,2	8,7	5,0	0,7
США	23267	79,4	1,0	5,3	-*	7,5	6,8
ЕС-15	47877	60,1	9,0	6,1	16,3	6,7	1,9
Россия	34578	50,0	17,8	26,4	2,2	3,1	0,5
Украина	16898	39,4	28,8	30,4	-	1,2	0,1
Беларусь	8705	20,4	53,7	24,1	0,3	1,5	-
Казахстан	1534	63,7	6,3	20,3	3,8	4,7	1,2
ВСЕГО	328134	59,8	14,7	11,0	4,3	8,0	2,2

\* нет данных

## Основная часть

Выделим основные направления использования картофеля.

Пищевую ценность картофеля мы уже подчеркнули. Диетологи считают картофель комплексным пищевым продуктом, который удовлетворяет многим физиологическим потребностям организма.

Наряду со снижением употребления в пищу свежего картофеля, увеличилось употребление продуктов из переработанных клубней. Из картофеля изготавливают следующие продукты питания: пюре сухое, клецки, крокеты, картофельные оладьи, чипсы, картофельные супы и др.

Рост потребления переработанных продуктов обусловлен следующими моментами:

- отсутствием трудоемких работ при приготовлении блюд;
- расширенным ассортиментом гигиенически упакованных продуктов;
- постоянным, длительное время сохраняющимся, равномерным качеством продуктов;
- при переработке картофеля существенно не снижаются его питательные качества;
- свежий картофель при длительном хранении подвергается многочисленным нежелательным изменениям.

Промышленное использование картофеля занимает важное место.

Картофель служит сырьем для получения крахмала. Для этих целей картофель должен быть хорошо созревшим, так как в недозревшем содержатся меньшие по размеру крахмальные зерна, которые не задерживаются ситом и вымываются, а, следовательно, и выход крахмала уменьшается. В мелких клубнях, из-за очень маленьких крахмальных зерен, содержание крахмала ниже, чем в более крупных. Такие партии картофеля нерентабельны для переработки. Для получения качественного крахмала клубни картофеля должны быть гладкими и хорошо очищенными от остатков почвы. Попадая в крахмал, почва загрязняет его и придает ему серый оттенок.

Крахмал картофеля используют для производства более 500 наименований продукции для пищевой, бумагой, текстильной, деревообрабатывающей, строительной, керамической, химической и фармацевтической промышленности. Для получения высококачественных продуктов требуется высокая его чистота.

За последние годы практически не меняется и занимает относительно низкую долю производство спирта из картофеля. Главным показателем качества картофеля для получения спирта является как можно более высокое содержание крахмала. Это определяет выход продукции и рентабельность предприятия по его производству. Производство спирта имеет в основном местное значение.

Сегодня выращивание картофеля в качестве технической культуры становится выгодным, когда со-

держание крахмала в нем превышает 24%. В Беларусь есть столовые сорта с содержанием крахмала свыше 30%. Ученые-селекционеры работают в трех направлениях: над созданием столовых, технических и кормовых культур.

Не менее ценное назначение – это прекрасный корм для скота. В клубнях картофеля содержание белка составляет до 2%, в пшенице 40-50% белка, но урожай пшеницы составляет от 1 до 7 т/га, у картофеля – до 80 т/га. Таким образом, если в картофеле содержится 20-30% крахмала и до 2% белка, конечный выход этих ценных продуктов выше, чем в пшенице [2].

Причем белок, получаемый из картофеля, близок по своему качеству к белку животного происхождения. Его усвояемость – до 65%, что считается довольно высоким показателем. К тому же в состав картофеля входят аминокислоты, которых нет в других растениях.

Необходимо также отметить, что в настоящее время приоритетным направлением в научных исследованиях современных ученых является развитие биоэнергетики и создание биотоплива. Об этом неоднократно говорил президент страны в своих выступлениях. Поскольку некоторые сорта картофеля содержат высокий процент крахмала и, учитывая, что клубни большого размера могут давать урожай 30-40 т/га, можно получать рентабельное биотопливо. Сегодня сфера этих научных исследований в сельскохозяйственной науке приобретает стратегический характер. Ведущие державы мира усиленно занимаются этой проблемой, чтобы не быть зависимыми от поставщиков энергоресурсов.

Важную роль играет картофель, как культура, в севообороте. Для экономики сельскохозяйственных предприятий с бедными почвами картофель имеет первостепенное значение. На таких почвах во многих случаях это единственная пропашная культура, которая позволяет интенсифицировать все процессы земледелия и в решающей мере определяет величину чистого дохода предприятий, особенно занимающихся откормом свиней [3].

Несмотря на то, что Беларусь по-прежнему входит в десятку мировых лидеров по производству картофеля, нынешнее состояние отрасли вызывает тревогу. Производство картофеля значительно снизилось и причин здесь много.

Сократились посевы картофеля в хозяйствах, с 1996 года снизились площади картофеля у населения, потому что стали возникать проблемы со сбытом. Усложнилась процедура экспорта, т. к. введение таможенных ограничений послужило причиной разрыва прежних экономических связей.

Кроме того, отрицательную роль сыграло отсутствие качественного посевного материала, нехватка удобрений и химических средств защиты и, как результат, нарушение технологий возделывания.

Научный анализ доказывает, что успех возделывания картофеля на 80% определяется подбором сор-

тов и качеством семенного материала, достатком органики и минеральных удобрений, эффективной защитой. Затраты на это должны составлять не менее 70% в общей сумме.

Справедливости ради необходимо отметить, что у нас есть от чего отталкиваться при планировании развития данной отрасли. В Белоруссии более 35 сортов картофеля, в том числе и с высоким содержанием крахмала, а также пригодных для производства чипсов, салатов, картофельного пюре. Институт картофелеводства НАН Беларуси имеет возможность предоставить хозяйствам республики до 1000 т семенного материала. В институте созданы сорта картофеля, которые отличаются не только хорошими вкусовыми качествами, лежкостью, но и устойчивостью к болезням, высокой урожайностью и содержанием крахмала. Это сорта: «Лазурит», «Орхидея», «Дельфин», «Атлант», «Живица», «Скарб», «Явар», «Орбита», «Журавинка», «Здабытак». Сложившаяся в республике система семеноводства в состоянии производить до 3 тыс. тонн семян картофеля и 40-60 тыс. тонн элиты. Необходимо, чтобы эти семена были доступны по цене. Сорта института картофелеводства с успехом проходят сортоиспытания в Китае, Польше, Средней Азии, Армении. Начиная с 2002 года, многие сорта включены в национальные реестры стран Евросоюза.

В 2007 году средняя урожайность картофеля составила 186,7 ц/га, что на 20,5 ц/га больше, чем в прошлом году.

Самые большие посевые площади были отведены под картофель в Минской и Гомельской областях – соответственно 12,6 тыс.га и 10,2 тыс.га. В Брестской области – 5,8 тыс.га, в Гродненской – 5,3 тыс.га, в Витебской – 4,6 тыс.га, в Могилевской – 4,1 тыс.га.

Наибольшая урожайность картофеля в Могилевской и Гродненской областях, где она составила 217,8 ц/га и 214,8 ц/га. В Брестской области с каждого гектара получили 191 ц, Минской – 188,8 ц, Гомельской – 167,3 ц, Витебской – 158,2 ц.

Самый высокий валовой сбор картофеля обеспечили хозяйства Минской области, собрав почти 240 тыс.т клубней, или более чем четвертую часть урожая страны. В Гомельской области собрано 172,2 тыс.т, в Гродненской – 114,5 тыс.т, в Брестской – 111 тыс.т, в Могилевской – 89,8 тыс.т, в Витебской области – 73,8 тыс.т.

В целом с учетом уборки в личных подворьях валовой сбор картофеля превысил 8 млн тонн.

Для продовольственной безопасности нашей республики необходимо получать 12 млн тонн картофеля. Картофель должен соответствовать всем стандартам качества. Только тогда наша республика сможет вернуться в число мировых лидеров не только по площади, но и по объемам переработки и экспорта картофеля.

Однако без научных рекомендаций и внедрения новых технологий невозможно дальнейшее развитие отрасли.

Согласно проекту программы развития картофелеводства на 2006-2010 годы в Беларуси на развитие картофелеводства в 2006-2010 годах будет направлено

Бг 313 млрд, ежегодный экономический эффект от этого составит Бг 190 млрд. Такова стоимость программы развития картофелеводства в республике на предстоящие пять лет. Проект этого документа рассмотрен на заседании Президиума Совета Министров, которое прошло 13 июня 2008 г. под председательством Премьер-министра Беларуси Сергея Сидорского.

Представляя программу, министр сельского хозяйства и продовольствия Леонид Русак отметил, что в последние годы посевые площади общественных полей (колхозов и совхозов) под картофель уменьшились почти в 2 раза – с 93 тыс.га до 47 тыс.га. В результате более 90% выращенного картофеля приходится сейчас на личные подворья. При этом частный сектор имеет тенденцию к сокращению. Проблема также в том, что мало уделялось внимания самой главной составляющей развития этой отрасли – сортобновлению. По словам ученых, в настоящее время выращивание картофеля в частном секторе не соответствует техническим параметрам и продовольственным стандартам, вызывают нарекания товарный вид и вкусовые качества.

В Беларуси благоприятные условия для успешного ведения картофелеводства. Безубыточным выращивание этой культуры считается при урожайности не ниже 150 ц/га. Интенсивное хозяйствование с урожайностью 250-300 ц/га обеспечивает чистую прибыль до 700-900 условных единиц на гектар. Соответственно достигается рентабельность не менее 60-80%.

Государственной программой возрождения и развития села планируется увеличить к 2010 году посевые площади сельскохозяйственных организаций под картофель до 65 тыс.га. В том числе 20 тыс.га должно пойти под технические сорта, которые поступают на промышленную переработку.

Программа развития картофелеводства на 2006-2010 годы предусматривает реализацию ряда мероприятий.

Уже определено 55 специализированных картофелеводческих хозяйств, участников реализации Республиканской программы развития картофелеводства. В среднем на каждое такое хозяйство приходится по 200 га посевов картофеля, который возделывается по современным интенсивным технологиям с применением специализированной техники. Здесь урожайность превышает 250 ц/га. А в таких хозяйствах, как "Гигант" Могилевской области, "Старица-Агро" Минской области, она составила 350-400 ц/га.

В 2008 году площадь картофеля в сельскохозяйственных организациях Беларуси возрастет до 59 тыс.га, что на 15 тыс.га больше, чем в нынешнем.

В особую группу мероприятий выделено осуществление технического оснащения и освоение технологий в специализированных организациях. Каждая базовая сельскохозяйственная организация будет оснащена комплексом специализированных машин и оборудования белорусского производства для выращивания, хранения и предреализационной подготовки картофеля [4].

## **Заключение**

Анализируя состояние дел в картофелеводстве необходимо отметить наличие предпосылок для дальнейшего развития отрасли.

Производство картофеля в Беларуси должно быть поставлено на научную основу. Об этом заявил Премьер-министр Беларуси Сергей Сидорский на заседании Президиума Совета Министров, где обсуждался проект программы развития картофелеводства на 2006-2010 годы. Это значит, что ученые, создающие новые сорта картофеля, разрабатывающие технику и технологии производства, сельские хозяйства и перерабатывающая промышленность – все в комплексе должны работать на результат. Ставится задача получать в республике высококачественный и высокорентабельный картофель.

Программа развития картофелеводства на 2006-2010 годы предусматривает создание системы крупнотоварного конкурентоспособного производства на основе специализации сельскохозяйственных организаций.

Ожидаемый результат от ее выполнения – доведение производства картофеля до 9 млн т, крахмала – до 50 тыс.т, картофелепродуктов – до 12 тыс. т в год. Таким образом, будет полностью удовлетворена потребность Беларуси в картофеле высокого качества, в том числе технических сортов для промышленной переработки.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Шпаар, Д. Картофель. Выращивание, уборка, хранение/ Д. Шпаар. –Торжок: ООО «Вариант», 2004. – 466 с.
2. Аграрная наука на рубеже XXI века. Материалы общего собрания Академии аграрных наук Республики Беларусь. – Мин., 2000. – 320 с.
3. Адаптивные системы земледелия в Беларуси. Материалы Академии наук Республики Беларусь. – Мин., 2001. – 303 с.
4. Программа развития картофелеводства на 2006-2010 годы. – 84 с.

УДК 621.436.004.67

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 5.05. 2008

## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСЛЕ РЕМОНТА**

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

### **Аннотация**

*Проведены исследования процесса послеремонтной стендовой обкатки дизелей ЯМЗ-236, ЯМЗ-238 по различным режимам. Величина и интенсивность износа оценивались по изменению содержания железа в обкаточном масле. Контролировались динамика изменения мощности механических потерь и температура масла от времени обкатки. По результатам испытаний выбран рациональный режим обкатки.*

### **Введение**

Капитальный ремонт машины обходится в 2...3 раза дешевле приобретения новой. Отношение стоимости капитального ремонта машины к цене новой уменьшилось в последнее время с 30...40 до 20...28%, а двигателей – с 40...60 до 22...30%. Эти изменения вызваны ростом цен на новую технику и снижением стоимости ремонта, что экономит около 50 млрд. руб. в сравнении с закупкой такого же количества новых двигателей [1, 2, 3].

В соответствии с нормативно-технической документацией обкатка двигателей, являясь завершающей операцией ремонта, осуществлялась на обкаточно-тормозном стенде модели КИ-5274-ГОСНИТИ. Для сборки двигателей использовались детали, восстановленные по технологии Минского ПРУП "Авторемонт".

При этом проверялось соответствие технической документации основных деталей двигателя. Техническое состояние двигателя в целом (качество оборки

ЦПГ и КШМ), в первом приближении, оценивалось начальной мощностью механических потерь. В зависимости от величины этого параметра принималось решение о готовности двигателя к стендовым испытаниям для приработки.

### **Основная часть**

Величина и интенсивность износа контролировались методом спектрального анализа. Определение элементов износа в картерном масле проводилось на фотоэлектрической установке МФС-3 при температуре 23°C, токе – 4,5 А, обжиге в течение 15 с и экспозиции – 20 с.

Пробы масла для спектрального анализа брались перед его заливкой в двигатель, на этапе приработки через 5 или 10 мин в зависимости от продолжительности этапа, а также после каждого этапа приработки. Отбор проб масла производился шприцем с набором наконечников из картера двигателя через отверстие масломерной линейки с уровня, который находится на 25-30 мм ниже отметки на масломерной линейке, указывающей минимально допустимый уровень масла.

В каждый двигатель перед обкаткой заливалось свежее масло.

Температура воды и масла измерялась лагометром типа Ш-69006 с точностью  $\pm 2\%$ , предел измерения 0...150°C. Давление воды и масла в системе охлаждения и смазки – прибором полупроводниковым, показывающим ВМД-4882-01 с точностью  $\pm 1,0\%$ , предел измерения 0...1МПа.

Частота вращения определялась измерителем цифровым тахометрическим ТЦ 10-4 с точностью  $\pm 0,5\%$ , предел измерения – 50...9999 мин $^{-1}$ .

Измерение крутящего момента осуществлялось магнитным силоизмерительным механизмом обкаточного стенда с точностью  $\pm 1,0\%$ , предел измерения 0...1800 Н·м, который оттариран в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Расход топлива измерялся с точностью  $\pm 1,0\%$  устройством для замера топлива обкаточного стенда с циферблочными весами.

В процессе приработки температура охлаждающей воды поддерживалась в следующих пределах: на стадии холодной обкатки 55±5°C, горячей – 70±10°C, температура масла при горячей обкатке 80-95°C, при максимальном нагрузочном режиме температура воды не превышала 90°C, масла – 100°C.

Мощность механических потерь  $N_{mn}$  определялась для каждого двигателя, подлежащего обкатке, до начала и после окончания каждого этапа приработки при частоте вращения коленчатого вала 500 мин $^{-1}$  по формуле [4]:

$$N_{mn} = M_{kp} \cdot n / 9550, \text{ кВт},$$

где  $M_{kp}$  – крутящий момент, Н·м;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, мин $^{-1}$ .

Крутящий момент двигателя  $M_{kp}$ , свою очередь, рассчитывается как

$$M_{kp} = P_{Bec} \cdot l,$$

где  $P_{Bec}$  – показание измерительного устройства стенда, Н;

$l=0,7162\text{м}$  – плечо весового устройства стенда.

Испытания двигателей проводились по последовательному

плану. Первоначально обкатка выборки двигателей осуществлялась по наиболее продолжительному и широко применяемому режиму [2], затем по промежуточному (по табл. 1) и самому кратковременному режиму [1].

**Таблица 1. Режим обкатки двигателей ЯМЗ-236, ЯМЗ-238**

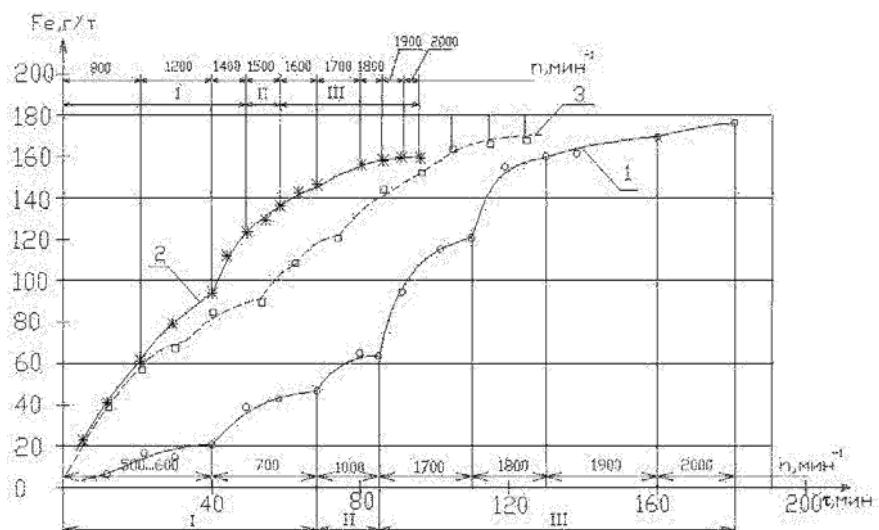
Стадия и этап обкатки	Частота вращения коленчатого вала, мин $^{-1}$	Нагрузка, кВт		Продолжительность обкатки, мин
		ЯМЗ-236	ЯМЗ-238	
1. Холодная	800	0	0	30
То же	1200	0	0	25
-  -	1400	0	0	10
Всего				65
2. На холостом ходу	1500	0	0	10
3. Горячая под нагрузкой	1600	22	44	10
То же	1700	44	66	10
-  -	1800	66	88	10
-  -	1900	88	110	10
-  -	2000	102,5	138,5	10
Всего				50
<b>ИТОГО:</b>				125

О динамике износа судим по изменению содержания железа в обкаточном масле. Результаты измерения содержания железа в обкаточном масле в зависимости от продолжительности обкатки и частоты вращения коленчатого вала при обкатке двигателей по режиму [2] приведены на рис. 1 и 2.

Износ по стадиям приработки распределился следующим образом:

– для двигателя ЯМЗ-236 (кривая I, рис. 1) – холодная приработка – 28, на холостом ходу – 10, горячая под нагрузкой – 62%;

– для двигателя ЯМЗ-238 (кривая I, рис. 2) – холодная приработка – 31, на холостом ходу – 6, горячая под нагрузкой – 63%.



**Рисунок 1. Динамика износа. Двигатель ЯМЗ-236:**  
1 – режим обкатки по [2]; 2 – режим обкатки по [1];  
3 – режим обкатки (табл. 1)

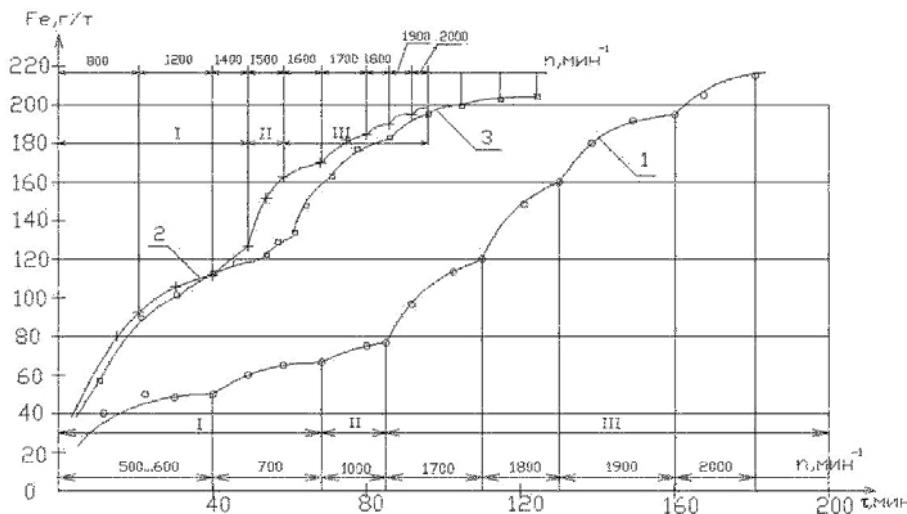


Рисунок 2. Динамика износа. Двигатель ЯМЗ-238: 1 – режим обкатки по [2]; 2 – режим обкатки по [1]; 3 – режим обкатки (табл. 1)

Следовательно, износ протекает весьма неравномерно, и основная его доля приходится на стадию горячей приработки.

При этом средняя интенсивность износа на стадии холодной обкатки составляет 0,7 и 0,93 г/т×мин, а на стадии горячей обкатки под нагрузкой – 1,15 и 1,58 г/т×мин или превышает в 1,6 и 1,7 раза для двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 соответственно.

Наибольшая интенсивность износа возникает на первом этапе горячей приработки при частоте вращения коленчатого вала 1700 мин<sup>-1</sup> и равна 2,2 г/т×мин при тормозной мощности 44 кВт для ЯМЗ-236 и 1,8 г/т×мин при тормозной мощности 60 кВт для ЯМЗ-238. Появление такого существенного износа на первом этапе горячей приработки сопровождается скачкообразным ростом температуры масла. Если прирост температуры масла за весь период обкатки двигателя, т.е. за 180 мин, составил 45°C, то за первый этап горячей обкатки под нагрузкой продолжительностью 25 мин – 15°C (рис. 3).

Резкое повышение температуры масла свидетельствует о динамическом изменении нагрузочного режима. Действительно, переход со стадии холостого хода с частотой вращения коленчатого вала равной 1000 мин<sup>-1</sup> на стадию горячей приработки с тормозной мощностью 44 кВт и частотой вращения коленчатого вала равной 1700 мин<sup>-1</sup> сопровождается более чем трехкратным увеличением удельных давлений, действующих на пару трения "шатунная шейка – подшипник" от инерционных сил [5].

Как уже отмечалось, на стадии холодной обкатки при незначительных инерционных нагрузках ( $n = 500 \dots 700 \text{ мин}^{-1}$ ) и скоростях взаимного скольжения поверхность заполированывается. Она не обладает достаточной прочностью и начинает

интенсивно изнашиваться с повышением нагрузок. Последнее сопровождается вырыванием отдельных частиц металла, местным выкрашиванием антифрикционного слоя коренных вкладышей, задирами поршней с наволакиванием металла на поверхность зеркала цилиндра.

При холодной обкатке на этом режиме амплитуда удельных давлений в парах трения КШМ недостаточна для образования новой микрорельефной поверхности за счет износа. Этот процесс интенсивно начал происходить только на стадии горячей обкатки под нагрузкой.

На втором этапе горячей обкатки при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  интенсивность износа продолжает оставаться высокой – 2 г/т×мин при абсолютной величине 40 г/т или 22% от суммарного износа (ЯМЗ-236).

И только на двух заключительных этапах обкатки в результате приработки начинается формирование новой поверхности, обладающей достаточной несущей способностью. Динамика износа этого периода обкатки характеризуется удельными износами, составляющими 6 и 15% при  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ , 4 и 8 % при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  соответственно для двигателей ЯМЗ-238 и ЯМЗ-236. Относительно незначительные износы в период окончания приработки под нагрузкой дают основание

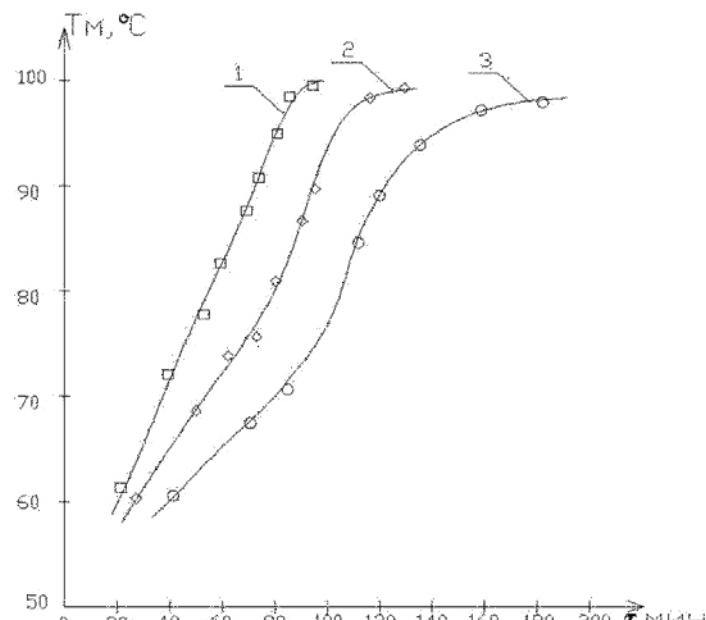


Рисунок 3. Зависимость температуры масла от времени приработки. Двигатель ЯМЗ-236: 1 – сокращенный режим обкатки по [1]; 2 – режим обкатки (табл. 1); 3 – режим обкатки по [2]

предположить, что вновь сформированные трущиеся поверхности обладают достаточно износостойкой структурой, препятствующей появлению задиров в эксплуатации. Однако при отсутствии явления заполирования поверхностей, процесс формирования износостойких структур мог начаться раньше с улучшением качества приработки.

Учитывая это обстоятельство, в целях исследования изменения динамики износа был разработан и испытан промежуточный режим обкатки (табл. 1), в котором, по сравнению с [2], на стадии холодной приработки существенно повышена частота вращения коленчатого вала, а по сравнению с [1] удлинили продолжительность приработки на ступенях.

При разработке промежуточного режима преследовалась цель частично сместить центр тяжести процесса изнашивания из области горячей в область холодной обкатки, не увеличивая абсолютных значений износа на весь период приработки, обеспечить его более равномерное распределение по этапам и избежать появления глянцевитости поверхностей.

Отличительными особенностями этих режимов от принятых [2] являлись: введение 3-х этапной приработки на стадии холодной обкатки с увеличением частоты вращения коленчатого вала в конце холодной обкатки с 700 до 1400 мин<sup>-1</sup>, а на стадии холостого хода – с 1000 до 1500 мин<sup>-1</sup>. Начальная частота вращения коленчатого вала при горячей обкатке под нагрузкой составила 1600 вместо 1700 мин<sup>-1</sup>. При этом перепад удельных давлений от инерционных сил на пару трения "шатунная шейка-подшипник" при переходе от холодной к горячей обкатке под нагрузкой сократился с трехкратного до 1,5 раза. В целом произошло сглаживание режима нагружения.

На стадии горячей приработки под нагрузкой режим обкатки задавался исходя из условия равномерного линейного приращения тормозной мощности.

Такая зависимость совпадает с характером износа поршневых колец, так как последний пропорционален среднему эффективному давлению  $P_e$ .

При испытаниях двигателей по промежуточному режиму было замечено, что на стадии холодной обкатки принятая продолжительность этапов (30 и 25 мин) приводила к образованию на кривой износа горизонтальных участков, свидетельствующих о стабилизации интенсивности износа. Поэтому время обкатки каждого из первых двух этапов может быть сокращено. Кроме того, на этапах при частоте вращения коленчатого вала 1900 и 2000 мин<sup>-1</sup> износ практически не наблюдается (кривые 3 на рис.1 и 2).

Это обусловлено тем, что на таких частотах вращения коленчатого вала инерционные нагрузки в значительной степени уравновешиваются силами давления газов.

Динамика износа при режиме [1] проиллюстрирована кривыми 2 на рис. 1 и 2. Относительные износы по стадиям приработки распределились следующим образом:

- для двигателя ЯМЗ-236 – холодная приработка – 70; на холостом ходу – 9; горячая под нагрузкой – 21%;
- для двигателя ЯМЗ-238 – холодная приработка – 62; на холостом ходу – 18; горячая под нагрузкой – 20%.

В режиме приработки [2] эти величины были соответственно равны 28, 10, 62%, и 31, 6, 63%. В промежуточном режиме, соответственно, для двигателя ЯМЗ-236 – 64, 9, 27% и для ЯМЗ 238 – 63, 13, 24%.

Продолжительность режима обкатки [1] меньше продолжительности по [2] на 48% и составляет 95 мин. Сравнение кривых I и 2 (рис.1 и 2) позволяет отметить, что динамика изменения износов при данном варианте приработки более благоприятная, чем при [2], поскольку в ней практически отсутствуют зоны длительной стабилизации интенсивности износа (горизонтальные участки на кривых 1, 2) и обеспечивается плавное и, главное, равномерное нарастание износов.

Максимальная интенсивность изнашивания происходит в период холодной приработки – 2,4 и 2,6 г/т×мин. Более повышенные износы в этот момент опасны усилением абразивного воздействия частиц износа и образованием значительных участков адгезионного взаимодействия (микроконтактного схватывания) [6].

Динамика износа заключительного периода приработки ( $n=1900, 2000$  мин<sup>-1</sup>) характеризуется относительными значениями для двигателя ЯМЗ-236 – 2 и 1%, а для двигателя ЯМЗ-238 – 4 и 2%.

Для сравнения по режиму [2] эти значения составляют 4 и 8% (ЯМЗ-236), 6 и 15% (ЯМЗ-238), соответственно.

Уменьшение износов на заключительных этапах приработки под нагрузкой при режиме [1] по сравнению с [2] свидетельствует о более благоприятном характере формирования несущих поверхностей и улучшении качества приработки.

Момент окончания процесса стеновой приработки двигателей оценивался также по изменению значения мощности механических потерь.

На протяжении всего процесса наблюдается ее снижение в зависимости от времени обкатки, а на заключительных этапах – асимптотическое приближение к оси абсцисс по закону, близкому к экспоненте (рис. 4).

От режима приработки существенно зависит и интенсивность снижения мощности механических потерь. Например, на стадии холодной обкатки при режиме [2] скорость изменения мощности механических потерь минимальна и составляет  $1,7 \cdot 10^{-2}$  (ЯМЗ-236) и  $1,9 \cdot 10^{-2}$  (ЯМЗ-238) кВт/мин. А максимальные ее значения  $-2,5 \cdot 10^{-2}$  и  $4,0 \cdot 10^{-2}$  кВт/мин, соответственно, отмечаются на первом этапе горячей приработки под нагрузкой ( $n = 1700$  мин<sup>-1</sup>) при тормозной мощности 44 (ЯМЗ-236) и 60 (ЯМЗ-238) кВт.

Анализ этих численных значений показывает, что на первом этапе горячей обкатки под нагрузкой интенсивность снижения выше, чем на стадии холодной в 1,5 раза для двигателей ЯМЗ-236 и в 2,1 раза – ЯМЗ-238.

При обкатке двигателей по режиму [1] интенсивность снижения мощности механических потерь

относительно режима [2] на стадии холодной обкатки увеличивается для двигателя ЯМЗ-236 в 1,7, а на этапе горячей под нагрузкой ( $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ) в 1,4 раза, в 1,8, и в 1,4 раза для ЯМЗ-238, соответственно.

Наблюдается снижение общего суммарного износа в процессе приработки по режиму [1] на 7% для двигателя ЯМЗ-236 и 6% для ЯМЗ-238, а по промежуточному – на 4% и 3%, соответственно, относительно режима [2].

Сопоставление динамики изменения мощности механических потерь с кривыми износа (рис. 1 и 2), полученными в результате спектрального анализа, обнаруживает их приемлемую сходимость и однозначность описания процесса приработки – это согласуется с данными [7].

Равномерность износа при режиме приработки [1] подтверждается также близкой к линейной зависимостью температуры масла от времени обкатки, тогда как для режима [2] этого не наблюдается (кривые 1 и 3 на рис. 3).

Мощности механических потерь за весь цикл стендовой приработки при режиме [2] обкатки снизились, в среднем, на 3,0 и 4,3 кВт для двигателей ЯМЗ-

236 и ЯМЗ-238 соответственно. При сокращенном варианте обкатки [1] эти показатели составили 2,8 для двигателя ЯМЗ-236 и 4,0 кВт – ЯМЗ-238. А при обкатке по промежуточному режиму, продолжительностью 125 мин (табл. 1) мощность механических потерь после приработки снизилась на 2,9 и 4,1 кВт соответственно (кривые 3 и 6 на рис. 4).

Снижение мощности механических потерь от начального значения в результате стендовой приработки составляет:

режим [2]:

– для двигателя ЯМЗ-236 – 33,7%, для двигателя ЯМЗ-238 – 33,5%;

сокращенный режим [1]:

– для двигателя ЯМЗ-236 – 31,5%, для двигателя ЯМЗ-238 – 31,1%;

промежуточный режим по таблице 1:

– для двигателя ЯМЗ-236 – 32,6%, для двигателя ЯМЗ-238 – 31,9%.

Сокращенный вариант обкатки является наиболее рациональным на предприятиях с высоким качеством ремонта, промежуточный вариант на тех, где уровень производства ниже, а длительный режим обкатки на предприятиях с низкой технологической обеспеченностью и культурой производства.

Существующие режимы обкатки рассчитаны на двигатель после ремонта с усредненными выходными параметрами, без учета индивидуальных показателей. И, как показала практика, некоторые двигатели достигают состояния обкатанных за более короткое время, чем по установленному режиму, а отдельные, с большой мощностью механических потерь в начале обкатки, не успевают приработать, перегреваются и даже выходят из строя – заклинивают. Исходя из этого, была поставлена задача получения на основе наиболее рационального режима [1] алгоритма управления процессом обкатки двигателя после ремонта в зависимости от его технического состояния.

## Выводы

1. Динамика изменения износов при сокращенном варианте приработки более благоприятная, чем при длительном, поскольку в ней практически отсутствуют зоны длительной стабилизации интенсивности износа, и обеспечивается плавное и, главное, непрерывное нарастание износов.

2. Сопоставление динамики изменения мощности механических потерь с кривыми износа, полученными в результате спектрального анализа, обнаруживает их приемлемую сходимость и однозначность описания процесса приработки. Это согласуется с данными [7].

Равномерность износа при сокращенном режиме приработки подтверждается также близкой к линейной зависимостью температуры

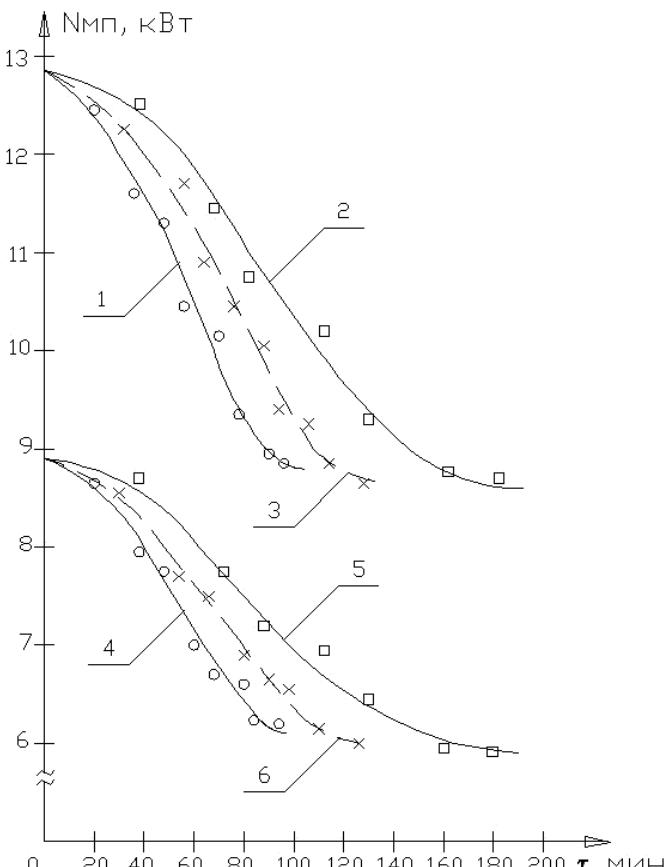


Рисунок 4. Зависимость мощности механических потерь от времени приработки: 1, 4 – режим приработки [1]; 2, 5 – режим приработки [2]; 3, 6 – режим приработки по таблице 1; 1, 2, 3 – двигатель ЯМЗ-236; 5, 4, 6 – двигатель ЯМЗ-238

масла от времени обкатки, тогда как для длительного режима этого не наблюдается.

3. Наиболее рациональным режимом для обкатки двигателей данного производства является сокращенный режим, он применим на предприятиях с высоким качеством ремонта, промежуточный вариант – там, где уровень производства ниже, а длительный режим обкатки – на предприятиях с низким уровнем технологической обеспеченности и культуры производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. РК РБ 000 17590.444-95. Двигатель ЯМЗ-236, 238, 240 и их модификации. Руководство по капитальному ремонту. – Часть 2. – Минск: Бел. науч.-иссл. ин-т «Транстехника», 1995. – С. 198-203.
2. РК 200-РСФСР-2/1-2018-88. Двигатели ЯМЗ-236, 238, 240 и их модификации. Руководство по капитальному ремонту 236.00.000 РК Ч.П. Сборка, регулировка и испытания. – М.: 1989.

3. Лабушев, Н.А. В Новый год с надежным партнером / Н.А. Лабушев // Белорусское сельское хозяйство. – 2007. – №12. – С. 22-24.

4. РТМ 10.16.0001.002-87. Руководящий технический материал. Обкатка и испытание тракторных и комбайновых дизелей при капитальном ремонте.– Взамен 70.0001.078-82; введ. 01.09.89. – Москва: ГОСНИТИ, 1989. – 80 с.

5. Мухин, Е. М. Обкатка V-образных автомобильных двигателей при капитальном ремонте / Е.М.Мухин, И.И.Столяров. – Москва: Транспорт, 1974. – 104 с.

6. Заренбин, В.Г. Исследование режимов приработки автомобильных двигателей при капитальном ремонте / В.Г. Заренбин, А.Х.Касумов. – М.: Транспорт, 1983. – С. 78.

7. Храмцов, Н. В. Обкатка и испытание автотракторных двигателей / Н. В. Храмцов, А.Е. Королев, В.С. Малаев. – М.: Агропромиздат, 1991. – 125 с.

---

УДК 631.362.3

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.04.2008

## ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СОРТИРОВАНИЯ КОРНЕПЛОДОВ МОРКОВИ

А.М. Заец, аспирант (УО БГАТУ)

### Аннотация

*В статье описана технология расчета основных показателей процесса сортирования корнеплодов моркови. Изложены основные требования международных и межгосударственных нормативных документов к качеству моркови. Приведены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств корнеплодов, позволяющих обеспечить расчёт и оптимизировать параметры конструкции.*

### Введение

В настоящее время в республике практически отсутствует производство новых пунктов послеуборочной обработки корнеплодов моркови, а существующие машины, применяемые на перерабатывающих предприятиях, морально устарели, поэтому не могут своевременно и качественно обрабатывать нарастающий поток продукции.

Техническое переоснащение сельскохозяйственного производства, использование высокопроизводительных отечественных пунктов, линий и механизмов позволит повысить эффективность и качество производства сельскохозяйственной продукции и продовольствия в объемах, достаточных для внутреннего рынка и формирования экспортных партий.

Сохранить корнеплоды моркови от порчи на более длительный период, создать запасы для потребления в течение круглого года, облегчить труд женщин в домашнем хозяйстве, разнообразить меню на предприятиях общественного питания и многое другое

гое возможно осуществить, используя промышленный метод консервирования [1]. Но промышленная переработка предъявляет определенные требования к заготавливаемому сырью, которые можно выполнить с помощью дополнительной послеуборочной доработки сортировальными машинами.

### Основная часть

Морковь, поступающую для реализации в сырье виде, необходимо подготовить в соответствии с ГОСТ 1721-85 [2], ГОСТ Р 51782-2001 [3], либо стандарта ЕЭК ООН FFV-10 [4]. Качество моркови свежей оценивают по ГОСТ 1721-85 «Морковь столовая свежая, заготавливаемая и поставляемая». В соответствии с требованиями и нормами этих технических условий корнеплоды моркови, поставляемые для потребления в свежем виде и для промышленной переработки, по внешнему виду должны быть целыми, чистыми, не увядшими, не треснувшими, без повреждений сельскохозяйственными вредителями, не уродливыми по форме, с длиной оставшихся черешков не

более 2,0 см. Размер корнеплодов по наибольшему поперечному диаметру для сорта «Шантанэ 2461» должен быть в пределах от 3,0 до 7,0 см, а для остальных сортов – 2,5...6,0 см. В партии допускается не более 10% корнеплодов с отклонением в диаметре на 0,5 см от установленных размеров [2].

В Российской Федерации введён стандарт ГОСТ Р 51782-2001 «Морковь столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети». Согласно этому нормативному документу морковь в зависимости от качества подразделяют на три класса: «экстра», первый и второй. Общие нормы для внешнего вида корнеплодов всех классов совпадают с нормами, приведенными выше.

Размер корнеплодов по наибольшему поперечному диаметру, убранных до 1 сентября, для всех классов должен находиться в диапазоне 2...4 см. После 1 сентября: для класса «экстра» – (2,0...4,5) ±0,5 см; первого – (2...6) ±0,5 см; второго – (2...7) ±0,5 см.

Количество корнеплодов с отклонением от установленных по диаметру размеров допускается для класса «экстра» не более 5%, для первого и второго – 10% от массы. Размер корнеплодов по длине для класса «экстра» и первого класса должен быть не менее 10 см, второй класс не нормируется.

Для розничной торговли требуется расфасовка в упаковочные единицы однородной по качеству и размеру моркови. В одной упаковочной единице разница между наименьшим и наибольшим диаметром корнеплодов не должна превышать: для класса «экстра» – 1,0 см, первого – 2,0 см, для второго класса – не нормируется [3].

Морковь, поступающую в международную торговлю между странами – членами ЕЭК ООН, подразделяют на три сорта: высший, первый и второй. Требования стандарта ЕЭК ООН FFV-10, предъявляемые к внешнему виду корнеплодов по сортам, практически совпадают с требованиями по классам ГОСТ Р 51782-2001, а положения, касающиеся калибровки, устанавливают следующие параметры: для ранней моркови максимальный диаметр должен составлять 10...40 мм; для моркови основного сбора – 20...45 мм, причём в одной и той же упаковке разница в диаметре между самыми мелкими и самыми крупными корнеплодами не должна превышать 20 мм для высшего сорта и 30 мм для первого.

Допуски по качеству позволяют иметь до 5% в общей массе корнепло-

дов, не удовлетворяющих требованиям высшего сорта, но удовлетворяющих первому сорту. Для первого и второго сорта допускается до 10% корнеплодов с отклонениями от установленных норм по сортам.

Для всех сортов допускается наличие 10% (по весу) корнеплодов, не соответствующих требуемым размерам [4].

Подавляющее большинство машин, предназначенных для уборки овощей, не могут обеспечить получение товарной продукции. Ворох, получаемый после машинной уборки, нужно доводить до товарного вида дополнительной обработкой [5].

Анализ фракционного состава по наибольшему диаметру показывает, что убранная овощная масса в своём составе содержит 15...20% мелких, 3...5% крупных и разросшихся корнеплодов [1]. Выделение из общего количества этой категории корнеплодов позволит получить морковь, соответствующую требованиям стандарта по размерам.

В настоящее время, как в европейской, так и в отечественной практике в качестве критерия разделения корнеплодов на однородные группы принят наибольший поперечный диаметр. На рис. 1 видно, что морковь представляет собой в идеале коническое тело, ось которого проходит через головку и тело корнеплода. Плоскость, перпендикулярная к оси и проходящая через точку касания прямой N-N к поверхности плода, является плоскостью максимального сечения. Эта плоскость характеризуется диаметрами двух концентрических окружностей D и d, между которыми расположен истинный контур корнеплода. Длина моркови L определяется как максимальное расстояние между двумя её точками вдоль оси симметрии.

Рассмотренные величины не определяются однозначно для каждого плода, ибо плод как биологический объект не имеет абсолютно точных характеристик. Эти характеристики являются случайными величинами.

Корнеплоды моркови при различной крупности имеют разнообразную форму. Проведенные исследования физико-механических свойств моркови установили линейную регрессию между наибольшим и наименьшим диаметром корнеплодов для одного сорта, отображённую на рис. 2.

Было измерено 500 экземпляров моркови из

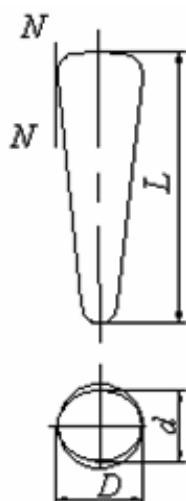


Рис. 1 Основные размерные параметры корнеплода моркови

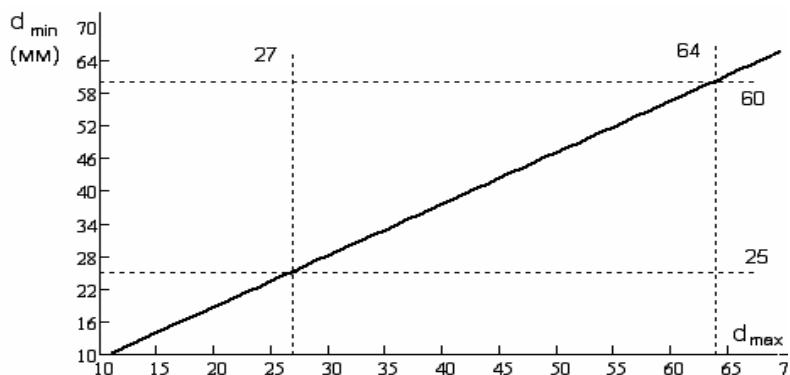


Рисунок 2. График зависимости между наибольшим  $d_{\max}$  и наименьшим  $d_{\min}$  диаметрами корнеплода моркови

выборочной пробы. В результате обработки данных в программном пакете Mathcad [6] определили следующие показатели: средний диаметр  $d_{cp}=36\text{мм}$ ; среднее квадратическое отклонение  $\sigma_{dcp}=10,17\text{мм}$ ; асимметрия  $A=0.575$ ; эксцесс  $E=0.431$ .

Анализ показателей асимметрии и эксцесса позволяет сделать вывод, что вариационные характеристики максимального диаметра могут быть представлены нормальным законом распределения (рис. 3).

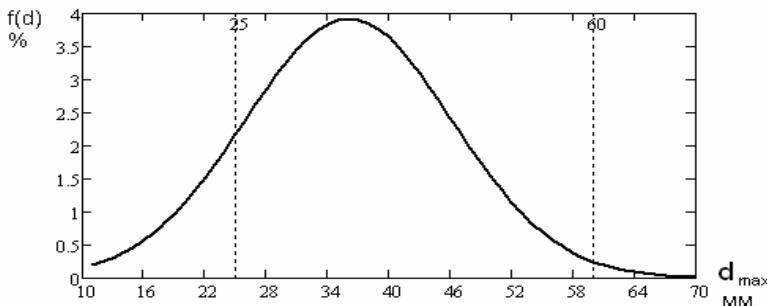


Рисунок 3. График плотности распределения максимального диаметра корнеплодов моркови

Это позволяет принять за основу разделения на фракции наибольший диаметр.

Основными параметрами процесса сортирования корнеплодов в порядке их значимости являются: производительность, степень повреждаемости и точность сортирования [7].

Производительность работы машин для первичной послеуборочной обработки корнеплодов определяется скоростью потока массы, поступающей из-под уборочных машин. Таким образом, необходимую производительность пункта послеуборочной обработки определим исходя из непрерывности и равномерности уборочного процесса, производительности комбайна и урожайности корнеплодов:

$$Q = Q_k Y, \quad (1)$$

где  $Q_k$  – производительность комбайна га/ч;  $Y$  – средняя урожайность корнеплодов т/га.

Для условий республики Беларусь необходимая производительность пункта первичной обработки корнеплодов составляет  $7\pm3\text{т/ч}$  из расчёта на один уборочный комбайн.

Протекание процесса сортирования должно осуществляться в диапазоне скоростей, обеспечивающих минимальные повреждения корнеплодов и максимальную производительность. Исходя из обеспечения условия неповреждаемости корнеплодов, определим скорость движения корнеплодов по рабочей сортировальной поверхности:

$$v_{don} = \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

где  $h$  – допустимая высота падения.

Учитывая рекомендации Н.Н. Колчина [1], примем среднюю скорость движения моркови  $v_{don}=0,8\text{ м/с}$ .

Среди существующих сортировок для обработки корнеплодов моркови оптимальной является транспортёрная ременная поверхность. На ней перемеще-

ние продукта относительно поверхности сведено к минимуму, что уменьшает повреждения клубней. Факторами, повышающими точность сортирования, являются улучшенное регулирование размеров калибрующих отверстий в зависимости от характеристик продукта и ориентация корнеплодов максимальным диаметром вдоль рабочей щели.

Ширину рабочей поверхности ремонтных сортировок ориентированно определим из соотношения

$$B = \frac{Q}{q}, \quad (3)$$

где  $Q$  – необходимая производительность ремонтной сортировки, т/ч;  $q$  – удельная нагрузка, 12...16 т/(ч·м) [6].

По расчётом она находится в диапазоне 0,2...1 м.

Общая длина сортирующей поверхности  $L_c$  зависит от способа выделения фракций и их количества. При последовательном способе выделения

$$L_c = l_1 + l_0, \quad (4)$$

где  $l_1$  – длина участка калибрования;  $l_0$  – длина участка ориентации и загрузки машины корнеплодами.

$$l_1 = -\frac{q(1-A_1r_1)(1-A_{i-1}r_{i-1})\ln(1-r_i)}{\mu_i p_{oi}}, \quad (5)$$

где  $A_i$  – относительное содержание  $i$ -й фракции в общей массе корнеплодов, доли единицы;  $r_i$  – теоретический коэффициент точности сортирования проходной фракции, доли единицы;  $\mu_i$  – отношение общей площади калибрующих отверстий участка, выделяющего  $i$ -ю фракцию в проход, к площади всего участка;  $p_{oi}$  – удельная производительность 1м<sup>2</sup> калибрующих отверстий данного участка [1].

Для выделения трёх фракций моркови длина участка калибрования составляет  $l_1=1,1\text{м}$

$$l_0 = \frac{1}{2}\pi L, \quad (6)$$

где  $L$  – длина корнеплода.

По расчётом минимальная длина участка для ориентации  $l_0=0,4\text{м}$ .

Соответственно минимальная длина рабочей поверхности составит 1,5м.

Точность сортирования можно оценивать по массе либо по количеству корнеплодов. Общий коэффициент точности сортирования определим по зависимости:

$$r_{общ} = 100 \frac{\sum^n m_i}{m_\Sigma}, \quad (7)$$

где  $n$  – число фракций;  $m_i$  – масса либо количество корнеплодов, оказавшихся в данной фракции и отвечающих её требованиям;  $m_\Sigma$  – суммарная масса либо количество корнеплодов всех фракций.

Действительный коэффициент точности сортирования по каждой фракции

$$r = 100 \frac{m_i}{m_{\delta i}}, \quad (8)$$

где  $m_{\phi i}$  – общая масса либо количество клубней, выделенных в данную фракцию [1].

Воспользовавшись графиками рисунков 2, 3 и законом нормального распределения

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (9)$$

можно произвести расчёт коэффициента теоретической точности сортирования каждой фракции. Подсчитывая  $\Delta m_n$  – количество потерь корнеплодов данной фракции в смежные и  $\Delta M_n$  – количество корнеплодов из других фракций, попавших в данную, определяем степень потерь  $\eta_n$  и точность сортирования  $r$ :

$$\eta_n = \frac{\Delta m_n}{m_n}; r = \frac{1}{1 + \frac{\Delta I_n}{m_n - \Delta m_n}}, \quad (10)$$

где  $m_n$  – количество корнеплодов данной фракции по закону нормального распределения корнеплодов для границ фракций  $x_n$  и  $x_{n-1}$  мм [8].

К примеру, за границы фракций возьмём границы, установленные ГОСТ 1721-85, т.е. 25мм – между мелкой и средней фракцией и 60мм – между средней и крупной. Тогда, подставляя значения границ в зависимость

$$\int_{x_{n-1}}^{x_n} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (11)$$

определяем  $m_n=85.2\%$ .

Для нахождения  $\Delta m_n$  и  $\Delta M_n$  воспользуемся графиком рисунка 1 и определим возможные границы переброса корнеплодов из смежных фракций по минимальному диаметру. В нашем случае это 27 и 64мм. Подставив новые пределы в зависимость (11), находим  $\Delta m_n=4.8\%$  и  $\Delta M_n=0.6\%$ . По полученным данным определяем возможные теоретические показатели  $\eta_n=0.06$ ,  $r=0.99$ .

Анализ закономерностей (10) процесса калибрования показывает, что точность сортирования при количестве фракций более двух существенно зависит от величины интервала фракции  $\lambda$  (рис. 4).

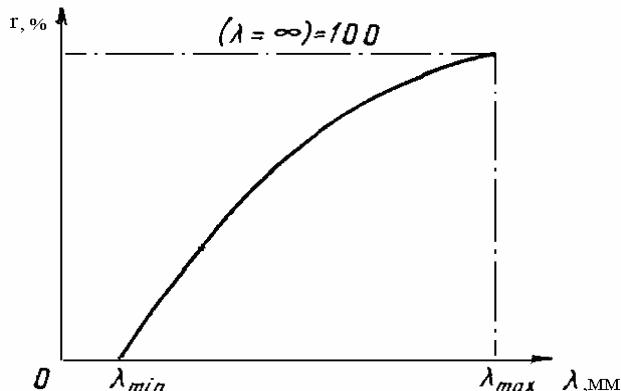


Рисунок 4. Графическое изображение процесса разделения корнеплодов в зависимости от интервала

С увеличением  $\lambda$  значение  $r$  непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к прямой. Следовательно, при некотором  $\lambda_{min}$  калибрование становится невозможным из-за смешения смежных фракций, а при значениях, стремящихся к  $\lambda_{max}$ , происходит ухудшение товарного вида и сохранности корнеплодов.

Выбор количества и интервала фракций является задачей оптимизации, влияющей на общую длину машины. Точность калибровки зависит в основном от размерной характеристики плодов и типа калибрующего органа.

Взяв за основу полезную модель устройства для сортирования корнеплодов, описанную в патенте [9], и данные расчётов, была изготовлена лабораторная установка (рис. 5).



Рисунок 5. Лабораторная машина для сортирования корнеплодов

В октябре 2007г. на базе учебного хозяйства УО «Высоковский государственный сельскохозяйственный профессионально-технический колледж» (Брестская обл.) производилась производственная проверка машины. Опыты проводились со свежеубранной морковью сорта «Пинер-2», польской селекции. В настройках машины делители фракций устанавливались в положении 25 и 60мм. В результате работы были получены следующие результаты:

- отсортировано 52,5т корнеплодов моркови;
- устройство работало со средней производительностью 3 т/ч;
- общая точность сортирования составила 94,8%;
- точность сортирования средней фракции – 98%;
- степень потерь средней фракции в смежные составила 3%.

### **Выходы**

Анализ качества реализуемой и поступающей на переработку моркови показывает её неудовлетворительную послеуборочную обработку. Размерные параметры поставляемых корнеплодов выходят за допустимые пределы нормативных документов.

Предлагается технология расчёта основных параметров процесса сортирования корнеплодов, позволяющая повысить качество обрабатываемого материала, и эффективно проводить технологический процесс послеуборочной обработки.

Экспериментальные опыты, проведившиеся на лабораторной установке, разработанной на основе приведенных расчётов, практически подтвердили теоретические данные точности сортирования.

Данная методика расчёта параметров технологического процесса также может быть использована для разработки сортировальных поверхностей, предназначенных для обработки картофеля, лука, столовой свеклы, редиса, огурцов, что позволяет выделить основные этапы расчёта в общую методику расчёта сортировальных машин.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Колчин, Н.Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей/ Н.Н. Колчин. – М.: Машиностроение, 1982. – 268 с.

2. ГОСТ 1721-85. «Морковь столовая свежая, заготавливаемая и поставляемая». Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 89 с.

3. ГОСТ Р 51782-2001. «Морковь столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети». – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.

4. Стандарт ЕЭК ООН FFV-10. «Сбыт и контроль товарного качества моркови, поступающей в международную торговлю между странами – членами ЕЭК ООН и импортируемой ими». – Женева, 1998. – 6 с.

5. Казимиров, А.А. Состояние и перспективы развития механизации и автоматизации в овощеводстве/ А.А. Казимиров, Е.М. Казимирова. – Минск: БелНИИТИ, 1981. – 56 с.

6. Макаров, Е. Инженерные расчёты в Mathcad 14(+CD)/ Е.Макаров. – СПб.: Питер, 2007.

7. Машиностроение: в 40 т. / И.П. Ксеневич [и др.]; отв. ред. М.М. Фирсов. – Т. 4-16: Сельскохозяйственные машины и оборудование. – М.: Машиностроение, 1998. – 720 с.

8. Четвертаков, А.В. Машины для товарной обработки плодов/ А.В. Четвертаков, И.М. Брутер, С.Б. Бранд. – М.: Машиностроение, 1977. – 155 с.

9. Устройство для сортирования корнеплодов: пат. 828 Респ. Беларусь, У МПК А 23N 15/00/Р.С. Сташинский, А.М. Заец; заявитель Белорус. гос. аграрн. технич. ун-т. – № 20020192; заявл. 08.07. 2002; опубл. 30.03.2003// Офиц. бюл./ Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2003. – №1 (36). – С. 197.

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

**Журнал “Агропанorama” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным и техническим наукам (сельскохозяйственное машиностроение, транспорт, геоэкология, энергетика). Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на первое полугодие 2009 года: для индивидуальных подписчиков - 24300 руб., ведомственная подписка - 48600 руб.**

# 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.

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

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

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

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

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

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

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

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

б) буквы латинского алфавита, обозначающие:

переменные, постоянные, коэффициенты, индексы и т.д., набираются курсивом;

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

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

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

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

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

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

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

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

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

- аннотацию;
- фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, ее название;
- введение;
- основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);
- заключение, завершающее 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 «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Дополнительно в структуру статьи могут быть включены:

- индекс УДК;
- перечень принятых обозначений и сокращений.

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

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

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

## ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

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

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

*220023 Минск, пр. Независимости, 99, корп. 1, к. 333.  
УО БГАТУ.*

# УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”

## ЛАБОРАТОРИЯ ПРИКЛАДНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АПК

В мае 2008 года в БГАТУ создана научно-исследовательская лаборатория «Прикладных компьютерных технологий в АПК». Основным направлением ее деятельности является разработка и внедрение современных информационных компьютерных технологий в агропромышленном комплексе.

 Информация

 [Каталог интернет-сайтов](#)  
Каталог сайтов, относящихся к сельскохозяйственной тематике, и не только. Здесь вы встретите полезную, отобранные экспертами и рубрикованную информацию. Специализированный поиск позволит найти нужные материалы в пределах каталога и по рубрикам.

 [Общий каталог информации](#)  
Полный каталог информации по сельскому хозяйству. В этом сервисе собрана вся доступная информация в документах, фотографиях, видеоматериалах. Функция полнотекстового поиска поможет ориентироваться в большом массиве информации.

 [Система АгроЭксперт](#)  
Экспертная система, позволит быстро получить квалифицированный ответ по основным практическим аспектам сельскохозяйственного производства.

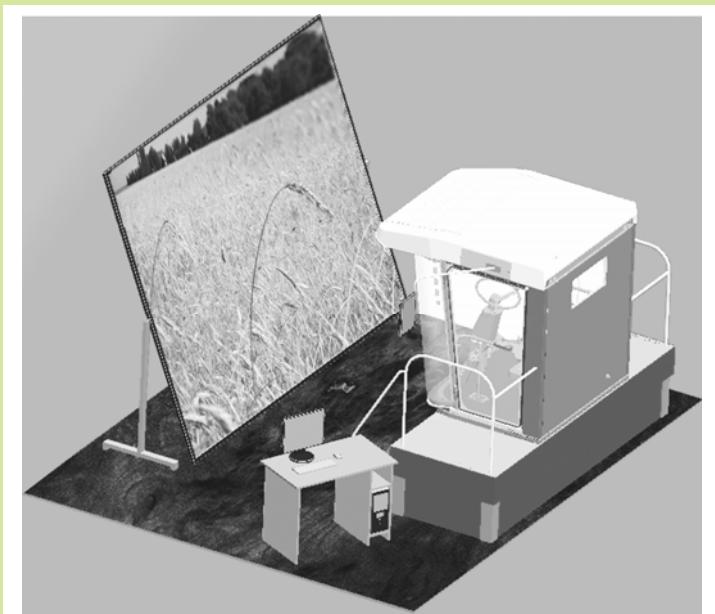
 [Каталог Система машин](#)  
Каталог содержит актуальные данные о технологических комплексах машин, рассчитанных на различные задачи, технологические процессы сельскохозяйственного производства.

Важным направлением деятельности лаборатории является также разработка комплексных тренажеров сложных видов сельскохозяйственной техники. Данные тренажеры позволяют сократить время практического обучения и повысить уровень профессиональной подготовки специалистов, а также отработать новые решения при разработке перспективных образцов машин. В их состав входят: компьютерная система обработки данных, кабина, проекционная система визуализации закабинного пространства.

В лаборатории прорабатываются технологии трехмерной визуализации развития различных процессов, распознавания образов и поддержки принятия решений.

По поручению Министерства сельского хозяйства и продовольствия РБ создается информационно-консультационная система АПК с Интернет-порталом, который предназначен для доступа к интегральной базе данных, ориентированной на различные виды деятельности производителей сельскохозяйственной продукции. Текущая версия портала доступна в Интернете по адресу:

[www.iks-agro-by.info](http://www.iks-agro-by.info).



Телефоны для справок: 267-22-14, 267-34-74