

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И МАШИН**

Материалы  
3-ей международной научно-технической конференции

13 – 15 ноября 2002 г.

### **Часть 1**

*клады на секциях:*

Пленарные доклады и доклады на секциях:

«Математическое моделирование процессов и машин»  
«Новые информационные технологии в системах контроля и  
управления»

**Минск 2002**

631.15(063)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И МАШИН**

*Материалы 3-ей международной научно-технической конференции.*

*Под общей редакцией В.П. Степанцова*

*Редакционная коллегия: Н.И. Бохан, М.А. Прищепов, Ю.А. Сидоренко,  
И.И. Гируцкий*

Сборник докладов посвящён проблемам модернизации процессов и агрегатов производства и переработки сельскохозяйственной продукции, использования новых информационных технологий в управлении, производстве и образовании АПК, а также проблемам реструктуризации и реформирования АПК на основе современных научных методов моделирования и прогнозирования.

Предназначен для научных работников, руководителей и специалистов АПК, студентов и аспирантов сельскохозяйственных ВУЗов. В 2-х частях.

Материалы международной научно-технической конференции  
«МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И МАШИН»

изданы при финансовой поддержке

**БЕЛОРУССКОГО РЕСПУБЛИКАНСКОГО ФОНДА  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

## Содержание

### ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Нагорский И. С., Дашков В. Н. Методология и методы моделирования сельскохозяйственных объектов.....                                                              | 9  |
| Леньков И. И. Новые подходы в разработке модельных систем объектов переходного этапа экономики АПК.....                                                          | 15 |
| Герасимович Л.С., Миклуш В.П., Ярошевич О. В. Интегрированное образовательное пространство на базе информационных технологий в агротехническом университете..... | 18 |
| Ганчарик Л. П., Современные информационные технологии дистанционного обучения студентов ВУЗов.....                                                               | 21 |

### 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И МАШИН

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Кругленя В. Е., Кудрявцев А. Н., Алексеенко А. С. Моделирование процесса обмолота льновороха вальцовым молотильным аппаратом ..... | 26 |
| Adam Mroziński, Zbigniew Kikiewicz Model of power consumption during beating of waste paper stock.....                             | 28 |
| Ежи КАЛЬВАЙ Проблематика моделирования молотковых зерновых мельниц .....                                                           | 30 |
| Маркевич А. Е. Метод Монте-Карло в обосновании критической степени покрытия при применении пестицидов.....                         | 32 |
| Филиппов А. И. Параметры копира датчиков геометрических размеров компонентов картофельного вороха.....                             | 34 |
| Гордеенко О. В. Обоснование параметров распылителя при совмещении операций по уходу за посевами овощных культур на гребнях.....    | 36 |
| Горин Г. С., Головач В. М. Кинематика и динамика поворота ведущей дифференциальной тележки.....                                    | 38 |
| Миранович О. Л., Головач В. М. Силы и реакции почвы, действующие на пахотный агрегат на базе мобильного энергосредства.....        | 41 |
| Чигарев Ю. В., Романюк Н. Н., Нововейский Р. Влияние пористости почвы на ее деформацию при динамических нагрузках.....             | 44 |
| Чигарев Ю. В., Романюк Н. Н., Костенский П. Влияние статических и динамических нагрузок на изменение структуры почвы.....          | 46 |
| Кузьмицкий А. В., Дремук В. А. Сравнительный анализ способов заготовки силосованных кормов с внесением консервантов.....           | 47 |
| Ящерицын П. И., Сергеев Л. Е., Миронов А. М. Математическое                                                                        |    |

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| моделирование процесса МАО мелкокомодульных зубчатых колес.....                                                                                                            | 49 |
| Орда А. Н., Гирейко Н. А. Моделирование свойств почвы, обработанной комбинированным агрегатом.....                                                                         | 50 |
| Крук И. С. Определение величины потерь пестицидов при обработках в ветреную погоду.....                                                                                    | 52 |
| Крук И. С. Определение порога разрушающего воздействия воздушно-капельной струи на обрабатываемый объект при проведении операций химической защиты растений.....           | 55 |
| Каминский Э., Чигарев Ю. В., Коротченко А. С., Глевитский, В. Г. Исследование по объемному сжатию почв.....                                                                | 57 |
| Солонский М. А., Силкович Ю. Н., Рубацкий С. П. Включение муфты ВОМ при разгоне АРО с/х машин.....                                                                         | 59 |
| Сильченко А. А. Моделирование тягово-энергетических показателей агрегата на базе тягового блока.....                                                                       | 61 |
| Непарко Т. А. Инженерное проектирование прогрессивных технологий в растениеводстве.....                                                                                    | 63 |
| Непарко Т. А. Обоснование системы машин для механизации производственных процессов в растениеводстве.....                                                                  | 63 |
| Дутко Л.Ю. Моделирование процессов уплотнения почвы движителями.....                                                                                                       | 65 |
| Плюгачев В. В., Ионин В. С. Моделирование влияния метеословий на урожайность с.-х. культур.....                                                                            | 67 |
| Ефремов В. Д. Математическая тепловая модель процесса упрочняющего шлифования.....                                                                                         | 68 |
| Ефремов В. Д. Определение поверхностной плотности теплового потока при упрочняющем шлифовании.....                                                                         | 70 |
| Ефремов В. Д. Компьютерная модель теплового процесса упрочняющего шлифования.....                                                                                          | 72 |
| Лахмаков В. С., Майсеенко А. В. Возделывание картофеля.....                                                                                                                | 74 |
| Кольцов А. Н. Некоторые особенности структуры программных комплексов конечно-элементного анализа.....                                                                      | 76 |
| Колончук М. В. Математическая модель расхода воздуха через щели механических вакуумных насосов.....                                                                        | 78 |
| Капцевич В. М., Кусин Р. А., Кольцов А. Н., Корнеева В. К. Моделирование двухслойных порошковых фильтров с учетом зоны перекрытия слоев.....                               | 80 |
| Кожуро Л. М., Миранович А. В., Тризна В. В. Моделирование процесса восстановления деталей машин с применением гибкого производственного модуля на постоянных магнитах..... | 82 |
| Кожуро Л. М., Тризна В. В., Миранович А. В. Моделирование процесса упрочнения деталей машин комбинированной обработкой...                                                  | 84 |
| Силкович Ю. Н., Сацук С. М. Упрощение динамических моделей                                                                                                                 |    |

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| механических систем.....                                                                                                                                                                    | 85  |
| Камински Э., Чигарев Ю. В., Крук И. С., Zubovich Д. Г. К моделированию комбинированных агрегатов с учетом экологобережного воздействия на почву.....                                        | 87  |
| Л. М. Кожуро, А. В. Крутов. Математическое моделирование наплавки в электромагнитном поле с поверхностным пластическим деформированием по параметру относительной износостойкости.....      | 89  |
| Андруш В. Г. Совершенствование процесса обкатки двигателей внутреннего сгорания.....                                                                                                        | 93  |
| Mikołajczyk Tadeusz Employment of virtual models in production engineering.....                                                                                                             | 95  |
| Mikołajczyk Tadeusz Application of neural networks to surface estimation.....                                                                                                               | 97  |
| Ивашко В.С., Бетень Г.Ф., Кривцов А.В. Моделирование динамики изнашивания почворезущих деталей.....                                                                                         | 100 |
| Лебеденко И.Г., Бохан Н.И. Тепловыделение при работе двигателей внутреннего сгорания .....                                                                                                  | 102 |
| Талалуев А. В. Обоснование конструкции противоточного вертикально-секционного скоростного кондиционера фуражного зерна.....                                                                 | 104 |
| Курзенков С. В. Определение рациональных параметров термодекстринизатора фуражного зерна.....                                                                                               | 105 |
| Józef FLIZIKOWSKI, Intelligent granulation system of grain.....                                                                                                                             | 107 |
| Кольга Д. Ф., В. Граф Математическое моделирование процесса очистки воздуха в животноводческих помещениях.....                                                                              | 109 |
| Феликс Хварсьтянек Модернизированная конструкция трубных хлебопекарских печей .....                                                                                                         | 111 |
| Мария Янковска Требования по качеству для воды как материала в пищевой технологии и сельском хозяйстве .....                                                                                | 113 |
| Дедок Н. Н. Качественное исследование системы дифференциальных уравнений, описывающей зависимость плотности рыбных скоплений от распределения кормовых запасов.....                         | 117 |
| Бурганская Л. И., Крутов А. В., Хвошинская Л. А. Применение операционного исчисления в исследованиях процессов и систем автоматического регулирования сельскохозяйственного производства... | 118 |
| Кузьмицкий А. В., Гурков И. И. Моделирование взаимодействия сыпучего консерванта с потоком растительной массы.....                                                                          | 119 |
| Морозова И. М. Резонансные явления и способы их устранения...                                                                                                                               | 121 |
| Мисун Л. В., Белаш А. И., Гришук В. М. Математическая модель технологической операции сортировки ягод.....                                                                                  | 122 |
| Кольга Д. Ф., Конопляник Н. В. Моделирование процесса компостирования навоза .....                                                                                                          | 124 |
| Романюк В., Чигарев Ю., Мороз Д. К построению модели произ-                                                                                                                                 |     |

|                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| водства молока при беспривязном содержании коров.....                                                                                                                                | 126 |
| Павловский В. А. Математическая модель дозирования кормосмеси пробковымкраном при взаимодействии с кормораздаточной тележкой.....                                                    | 127 |
| Сапего В. И., Берник Е. В., Пожах Н. Ф. Микроэлементы в питании животных.....                                                                                                        | 128 |
| Городецкая Е. А., Тарушкин В. И., Хелена Цяра. Предложения по расширенному воспроизводству картофеляпродуктов.....                                                                   | 130 |
| Бохан Н. И. Автоматическая компенсация температурной погрешности в математических моделях концентрации моющих средств в растворах.....                                               | 133 |
| Недбайло В. А., Бохан Н. И., Фалюшин П. Л., Ловкис В. Б., Бохан Е. Н., Абрамчик Л. А. Автоматизация газогенераторных установок....                                                   | 135 |
| Едлиньски Рышард Влияние турбонаддува на эффективность эксплуатации трактора .....                                                                                                   | 137 |
| Казакевич Л. А., Иванюшко С. Ф. Анализ показателей производительности и формирование производственной стратегии предприятия.                                                         | 139 |
| Трусь Ю. А., Баранов А. И. Снижение себестоимости продукции путем использования логистической транспортной системы.....                                                              | 140 |
| Лукашевич А. В. Организация управления маркетинговой деятельностью Учебно-научно- производственного комплекса УО “БГАТУ”.....                                                        | 141 |
| Новиков Г. В., Комплекс программ расчёта характеристик электрических тяговых приводов.....                                                                                           | 144 |
| Заяц Е. М., Николаенок М. М. Модель электрохимического изменения свойств органических дисперсных гидросистем.....                                                                    | 145 |
| Кардашов П. В., Николаенок М. М., Заяц Е. М. Модель процесса электротермохимической обработки фуражного зерна.....                                                                   | 147 |
| Николаенок М. М., Заяц А. Е., Кардашов П. В. Модель температурного поля в среде, полуограниченной электродами, разделенными мембраной.....                                           | 149 |
| Заяц Е. М., Николаенок М. М., Кривовязенко Д. И. Модель процесса электротермохимической коагуляции белков в органических гидросистемах.....                                          | 153 |
| Вербило А. А. Энергоэкономическая экспертная оценка новых отопительно-вентиляционных установок птичников.....                                                                        | 155 |
| Баран А. Н., к. т. н., Селюк Ю. Н. Моделирование воздействия электрического поля на метаболизм микроорганизмов с использованием электрических схем замещения.....                    | 157 |
| Прищепов М. А., Рутковский И. Г. К вопросу моделирования электротепловых процессов при обработке токопроводящей среды емкостным электродным электронагревателем с зонированной плос- | 158 |

|                                                                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| копараллельной электродной системой.....                                                                                                                                                                             |     |
| Прищепов М. А., Власенко А. П. Математическое моделирование процесса теплообмена проточных ЭНУ с термозависимыми поверхностно-распределенными электронагревателями при свободной конвекции обрабатываемой среды..... | 159 |
| Киселев Б. М., Севернева Е. В., Жалобкевич Н. М. Математическая система MATLAB.....                                                                                                                                  | 161 |
| Прищепов М. А., Винничек В.С. Моделирование процесса теплообмена системы «животное - комбинированный электрообогреватель».....                                                                                       | 163 |
| Киселев Б. М., Севернева Е. В., Жалобкевич Н. М. Моделирование динамических систем в пакете SIMULINK.....                                                                                                            | 166 |
| Гагаков Ю. В. Эффективность частотно-регулируемого привода в насосных станциях.....                                                                                                                                  | 168 |
| Корко В. С. Моделирование электрофизических характеристик влажных кормов из злаковых культур.....                                                                                                                    | 170 |
| Кожуро Л. М., Миранович А. В., Тризна В. В. Моделирование тепловых процессов при восстановлении деталей в электромагнитном поле.....                                                                                 | 171 |
| Минич Д.Н. К вопросу об интенсификации теплопереноса в тепловых трубах.....                                                                                                                                          | 173 |
| Кущева С. В. Математическое моделирование инактивирующего воздействия электрического поля на микроорганизмы с использованием электрических схем замещения.....                                                       | 174 |

## 2. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Исаеня Н. В. Анализ математической модели изменения электропроводимости растворов с целью определения коэффициентов настройки прибора измерения их концентрации..... | 176 |
| Гируцкий И.И. Модель дозированного кормления сельскохозяйственных животных.....                                                                                      | 178 |
| Гируцкий И.И. Новые информационные технологии в управлении производством свинины.....                                                                                | 179 |
| Яцек Садкевич, Казимеж Садкевич Комплекс оборудования и методов современной оценки качества зерна.....                                                               | 181 |
| Василица А. П., Сытик Д. И. К обоснованию адаптивной системы управления микроклиматом в свиноматке-откормочнице.....                                                 | 184 |
| Ковалев В. А., Сибиркин Д. В. Одноконтурные адаптивные нечеткие системы управления.....                                                                              | 186 |
| Ковалев В. А., Сибиркин Д. В. Нечеткие динамические модели сельскохозяйственных технологических процессов.....                                                       | 187 |

|                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Жуковский А. И. Микропроцессорное управление режимом регулируемых конденсаторных установок.....                                                            | 188 |
| Счастный В. П., Зеленкевич А. И., Жуковский А. И. Комплексный контроль, учет и управление энергопотреблением на сельскохозяйственных объектах.....         | 189 |
| Сердешнов А. П., Апетенко В. М. Трансформатор напряжения в сельскохозяйственных электрических сетях 10 кв.....                                             | 191 |
| Жур А. А. Основные факторы повышения эксплуатационной надежности микропроцессорных систем.....                                                             | 192 |
| Пляц О. М. Использование цифрового управления в процессах сушки зерна.....                                                                                 | 194 |
| Хорошун Н. В., Серченя С. Н., Ткачева С. И. Применение MS EXCEL для обработки и представления маркетинговой информации                                     | 196 |
| Ковалинский А. И., Карасев О. Б., Силоцкий А. С., Долгов О. В. Система контроля и управления электроприводами вентиляторов производственных зданий.....    | 198 |
| Дайнеко В. А., Гурин В. А., Цховребов А. А. Устройства измерения мощности для регуляторов загрузки электроприводов.....                                    | 199 |
| Ковалинский А. И., Долгов О. В., Силоцкий А. С. Информационная система контроля и управления микроклиматом.....                                            | 200 |
| Гагаков Ю.В., Васелица А.П., Гущо Н.В. Применение микропроцессорного контроллера в автоматизации экспериментальных исследований.....                       | 201 |
| Корко В. С., Ловеров В. Н., Гузанова Т. Ф. Моделирование и обоснование параметров первичного измерительного преобразователя влажности емкостного типа..... | 203 |
| Сидоренко Ю. А., Лукашов П.В., Повышение эффективности процесса сушки зерна на основе связанного управления его параметрами.                               | 204 |
| Дайнеко В. А., Гурин В. А., Цховребов А. А. Устройства измерения мощности для регуляторов загрузки электроприводов.....                                    | 205 |
| Герасимович Л. С., Крутов А. В., Павловский П. А. Система информационного мониторинга и регионального управления потреблением энергоресурсов в АПК.....    | 206 |
| Сидоренко Ю. А. Синтез систем автоматического регулирования путем моделирования на ЭВМ.....                                                                | 208 |

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

### Методология и методы моделирования сельскохозяйственных объектов

**Нагорский И.С.**, академик Российской академии сельскохозяйственных наук; **Дашков В.Н.**, директор Республиканского унитарного предприятия «Институт механизации сельского хозяйства Национальной академии наук Беларуси», г. Минск

В докладе изложена методология и рассмотрены примеры составления и анализа аналитических и имитационных моделей сельскохозяйственных объектов.

### ВВЕДЕНИЕ

Глобальной проблемой XXI является всемерное ресурсосбережение, достигаемое, прежде всего, на основе использования прогрессивных наукоёмких технологий. Растениеводство и животноводство в нынешних условиях конкурентоспособно только при высоком уровне механизации технологических процессов, оснащении села высокопроизводительной и надёжной техникой, которая обеспечивает качественное выполнение технологических операций, снижение энергетических и других ресурсов на единицу производимой продукции и сокращение всех видов потерь.

Непрерывные предпосылки успешного создания, производства и использования новой техники – это обоснование её конструкции, прогнозирование рациональных параметров и режимов работы.

Острота проблемы ресурсосбережения сказывается и на организации агроинженерных исследований, приводит к необходимости на стадии проектирования новой техники, используя математические модели, определять комплекс факторов, обеспечивающих требуемое качество, производительность и энергоёмкость технологического процесса.

Подходы к решению этой проблемы даёт нам бурный прогресс в развитии средств вычислительной техники. Он открывает большие возможности повышения уровня теоретических исследований, необходимых для понимания сущности взаимодействий рабочих органов сельскохозяйственных машин с обрабатываемыми материалами.

### МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ И АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ

Сельскохозяйственные агрегаты в растениеводстве и технологические комплексы машин и оборудования в отрасли животноводства представляют собой сложные динамические системы, на которые действуют многие факторы, изменяющиеся во времени. Можно выделить факторы, которые при проведении опытов наблюдаемы и управляемы, т.е. фиксируются на определённых уровнях (*активный эксперимент*), и наблюдаемые факторы, стабилизация которых в опыте затруднительна. Тогда обусловленные ими по-

казатели функционирования объекта исследования устанавливают путём обработки пассивного эксперимента.

Среди воздействий могут быть такие, которые при проведении опытов не наблюдаются. Они рассматриваются как помехи, из-за влияния которых исследуемые показатели являются случайными величинами (процессами) в вероятностно - статистическом смысле.

При обосновании конструкций и параметров сложных агрегатов на стадии проектирования во многих случаях пригодны **аналитические модели**, которые отображают объект исследования в виде функциональных зависимостей, согласно закономерностям теоретической механики, гидравлики, электротехники и других наук.

В качестве практически удовлетворительных заменителей теории, ещё не построенной во всех своих элементах, могут выступать **имитационные модели**, которые описывают условия и процессы функционирования сельскохозяйственного агрегата или отдельных его частей уравнениями регрессии или передаточными функциями на основании экспериментов.

Плодотворно использование имитационных моделей, сопряжённых с аналитическими моделями или с реальными узлами исследуемых объектов, на базе лабораторных стендов с микропроцессорным управлением. При исследованиях и испытаниях новой техники имитация, прежде всего, условий её функционирования позволяет преодолеть трудности, обусловленные сезонностью сельскохозяйственных работ.

В части построения моделей, описывающих динамику объектов исследований, ограничимся, в связи с регламентированным объёмом доклада, ссылками на наши работы, в которых рассмотрены эти модели.

В основе статистических методов определения динамических характеристик одномерных объектов, которые могут быть представлены как линейные или линеаризованные устойчивые системы, лежит уравнение Винера-Хопфа:

$$R_{xy}(0) = \int_0^{\infty} w(t) R_x(0-t) dt, \quad (1)$$

где  $R_{xy}(0)$  - взаимная корреляционная функция процессов  $x(t)$  на входе и  $y(t)$  на выходе исследуемого объекта;

$R_x(0-t)$  - корреляционная функция воздействия  $x(t)$ ;

$w(t)$  - весовая функция.

В работах рассмотрена идентификация молотильного аппарата зерноуборочного комбайна с использованием преобразования Фурье уравнения (1), которое приводит к выражению

$$W(j\omega) = \frac{S_{xy}(\omega)}{S_x(\omega)} = U(\omega) + jV(\omega),$$

где  $S_{xy}(\omega)$  и  $S_x(\omega)$  - спектральные плотности, которые являются преобразованиями Фурье корреляционных функций  $R_{xy}(\theta)$  и  $R_x(\theta)$ ;

$U(\omega)$  и  $V(\omega)$  - вещественная и мнимая составляющие частотной передаточной функции  $W(j\omega)$ .

Нарушение для реальных объектов ограничений, принятых при выводе уравнения (1), а также погрешности исходной информации делают решение этого уравнения некорректной задачей. Поэтому расчётные методы идентификации сельскохозяйственных агрегатов при статистической информации дают приближённые оценки передаточных функций, которые могут быть уточнены методом настраиваемой модели.

Более детально рассмотрим статические модели сельскохозяйственных объектов.

Зависимости показателей эффективности функционирования сельскохозяйственного объекта (функций отклика  $y$ ) от параметров его конструкции и режимов работы (факторов  $x_j$ ) в общем случае можно представить в матричной форме:

$$y = zb + e, \quad (2)$$

где  $y = \|y_i\|$  - вектор наблюдений ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$n$  - число вариантов опыта;

$z = \|z_{i,j}\|$  - матрица  $z$ -переменных размером  $n \times p$ ;

$z_{i,j} = f(x_{i,j})$  - определённые функции факторов  $x_j$ , например,  $x_j^2$ ,  $x_i x_j$  и т.д.;

$p$  - общее число коэффициентов уравнения регрессии;

$b$  - вектор оценок коэффициентов регрессии;

$e$  - вектор остатков (невязок между наблюдаемыми и расчётными значениями переменной  $y$ ).

Определение методом наименьших квадратов оценок  $b_j$  коэффициентов регрессии сводится к решению системы нормальных уравнений

$$z^T z b = z^T y, \quad (3)$$

а именно:

$$b = cz^T y,$$

где  $z^T$  - транспонированная матрица, соответствующая матрице  $z$ -переменных;

$c = (z^T z)^{-1}$  - информационная (ковариационная) матрица, которая является обратной по отношению к матрице системы нормальных уравнений

$\bar{z}\bar{z}$ .

Стандартной процедурой для большинства программ линейной (относительно коэффициентов) регрессии является центрирование и нормирование исходных данных с целью улучшения вычислений (уменьшения ошибок округления при обращении матриц):

$$Z_{ij} = \frac{z_{ij} - \bar{z}_j}{s_j}, j = 1, 2, \dots, p; Y_i = \frac{y_i - \bar{y}}{s_y},$$

где  $\bar{z}_j, s_j$  и  $\bar{y}, s_y$  - средние арифметические и средние квадратические отклонения соответственно  $z$ - переменных и функции отклика.

Тогда вместо системы нормальных уравнений (3) имеем:

$$\mathbf{r}_z \mathbf{a} = \mathbf{r}_y,$$

откуда

$$\mathbf{a} = \mathbf{r}_z^{-1} \mathbf{r}_y,$$

где  $\mathbf{r}_z = \|\mathbf{r}_{js}\|$  - корреляционная матрица  $z$ - переменных, размер которой  $p \times p$  и элементы

$$r_{js} = r_{sj} = (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n Z_{ij} Z_{is}; r_{jj} = 1;$$

$\mathbf{a}$  - вектор оценок коэффициентов  $a_j = b_j s_j / s_y$ ;

$\mathbf{r}_y$  - вектор коэффициентов корреляции между  $z$ -переменными и  $y$ , т.е.

$$r_{jy} = (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n Z_{ij} Y_i.$$

Коэффициенты регрессии определяем шаговым регрессионным методом. Он начинается с построения корреляционной матрицы, последовательного включения в уравнение регрессии переменных, наиболее сильно коррелированных с откликом, и дополнительного исследования на каждом шаге всех ранее включённых в модель переменных с исключением из неё тех, вклад которых незначимый.

Корреляционную матрицу  $\mathbf{r}_z(q \times q)$ , в которой  $q$  - число предполагаемых для включения в модель  $z$ - переменных, расширяем:

$$\mathbf{A}^{(0)} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_z(q \times q) & \mathbf{r}_y(q \times 1) & \mathbf{I}(q \times q) \\ \mathbf{r}_y(1 \times q) & S(1 \times 1) & \mathbf{O}(1 \times q) \\ -\mathbf{I}(q \times q) & \mathbf{O}(q \times 1) & \mathbf{O}(q \times q) \end{bmatrix},$$

где  $S(1 \times 1) \equiv 1$  - коэффициент корреляции отклика  $y$  самого с собой;

$\mathbf{I}(q \times q)$  - единичная матрица;

**O** - символ, используемый для обозначения блоков, состоящих из нулей.

С целью выбора  $z$ -переменной, вводимой в уравнение на каждом из шагов  $g$ , вычисляем составляющие вектора  $V^{(g)}(q \times 1)$ :

$$V_h^{(g)} = \frac{A_{h,q+1}^{(g-1)} \cdot A_{q+1,h}^{(g-1)}}{A_{h,h}^{(g-1)}}.$$

В уравнение регрессии включаем ту  $z$ -переменную, которой соответствует максимальная из статистик  $V_h^{(g)}$ , если выполняется условие (на любом шаге)

$$F_n^{(g)} = \frac{V_2 \cdot V_{\max}^{(g)}}{A_{q+1,q+1}^{(g)} - V_{\max}^{(g)}} > F_{kp}^{(g)} \equiv F_{\alpha; v_1=g; v_2=n-g-1}, \quad (4)$$

где  $V_2$  - число остаточных степеней свободы (после включения  $z$ -переменной);

$A_{q+1,q+1}^{(g)}$  - элемент матрицы, который на любой стадии выражает в корреляциях сумму квадратов остатков.

Матрицу  $A^{(0)}$  преобразуем с учётом той  $z$ -переменной, которая включена в уравнение регрессии, а именно:

$$A_{i,j}^{(1)} = A_{i,j}^{(0)} - \frac{A_{i,\ell}^{(0)} \cdot A_{\ell,j}^{(0)}}{A_{\ell,\ell}^{(0)}}; \quad A_{\ell,j}^{(1)} = \frac{A_{\ell,j}^{(0)}}{A_{\ell,\ell}^{(0)}},$$

где  $\ell$  - индекс  $z$ -переменной, введённой в уравнение регрессии.

Аналогично на последующих шагах формирования уравнения регрессии пересчитываем элементы матриц  $A^{(2)}$ ,  $A^{(3)}$  и т.д. При этом, наряду с включением в уравнение регрессии новых  $z$ -переменных, для которых выполняется условие (4), проверяем значимость всех ранее включённых в него составляющих, используя частный  $F$ -критерий:

$$F_q^{(g)} = \frac{V_2 \cdot \left( A_{r,q+1}^{(g)} \right)^2}{A_{q+1,q+1}^{(g)} \cdot A_{r+q+1,r+q+1}^{(g)}}.$$

Статистики  $F_q^{(g)}$  должны удовлетворять неравенству (4). Если же после включения в уравнение регрессии на очередном шаге  $g$  новой составляющей окажется, что ранее включённая в него  $z$ -переменная стала незначимой ( $F_q^{(g)} \leq F_{kp}^{(g)}$ ), то она должна быть исключена. При этом матрицу  $A^{(g)}$  преобразуем следующим образом:

$$B_{t,l}^{(g)} = A_{t,l}^{(g)} - \frac{A_{t,2q+1}^{(g)} \cdot A_{2q+1,l}^{(g)}}{A_{2q+1,2q+1}^{(g)}}; B_{t,l}^{(g)} = \frac{A_{t,l}^{(g)}}{A_{2q+1,2q+1}^{(g)}},$$

где  $t$  - индекс исключаемой  $z$ -переменной.

На следующем  $(g+1)$ -ом шаге матрицу  $B^{(g)}$  используем для вычисления элементов вектора  $B^{(g+1)}$  и затем матрицы  $A^{(g+1)}$ , если окажется выполненным условие (4) включения в уравнение регрессии новой  $z$ -переменной.

Если на очередном шаге  $g$  условие (4) не выполняется, построение модели считаем законченным и вычисляем оценки коэффициентов регрессии

$$b_h = A_{h,q+1}^g \frac{s_y}{s_h}; b_0 = \bar{y} - \sum_h b_h \bar{z}_h,$$

оцениваем с помощью  $F$  - критерия значимости регрессии:

$$F = \frac{MS_R}{MS_F} \geq F_{\alpha; p-1; n-p},$$

$$\text{где } MS_R = \frac{\mathbf{y}^T \mathbf{y} - n \bar{y}^2}{p-1} (1 - A_{q+1,q+1}^{(g)}) \text{ и } MS_E = \frac{\mathbf{y}^T \mathbf{y} - n \bar{y}^2}{n-p} A_{q+1,q+1}^{(g)},$$

средние квадраты соответственно регрессии и остатков;

$p$  - общее число коэффициентов регрессии в составленной модели, включая  $b_0$ .

а также вычисляем коэффициент детерминации

$$R^2 = 1 - A_{q+1,q+1}^{(g)},$$

который характеризует долю общей суммы квадратов (относительно среднего  $\bar{y}$ ), объясненную регрессией, и относительную среднеквадратическую ошибку (коэффициент вариации, %)

$$\delta = \frac{s}{\bar{y}} \cdot 100,$$

$$\text{где } s = \sqrt{MS_E}.$$

Вектор расчётных значений функции отклика

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{z} \mathbf{b}.$$

Если по аналогии со строками матрицы  $\mathbf{z}$  составить некоторую матрицу-столбец

$$\mathbf{z}_k = \left\| 1, z_{k1}, z_{k2}, \dots, z_{k,q-1} \right\|, \quad (5)$$

то прогнозируемое среднее значение функции отклика в точке факторного пространства, координаты которой  $z_{kh}$ ,

$$\hat{y}_k = \mathbf{z}_k \mathbf{b} = \mathbf{b}^T \mathbf{z}_k^T. \quad (6)$$

Границы интервальной оценки предсказанного с доверительной вероятностью  $\gamma$  значения  $\hat{y}_k$

$$\hat{y}_k \pm t_{\gamma; n-p} s \sqrt{\mathbf{z}_k (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{z}_k^T}, \quad (7)$$

где  $t_{\gamma; n-p}$  - значение  $t$ -распределения при доверительной вероятности  $\gamma$  и числе степеней свободы  $n-p$  скорректированной дисперсии  $s^2 = MS_E$ .

Интервал, в который с доверительной вероятностью  $\gamma$  попадают возможные индивидуальные наблюдения  $y_k$ ,

$$\left[ \hat{y}_k - \Delta y_k, \hat{y}_k + \Delta y_k \right], \quad (8)$$

$$\text{где } \Delta y_k = t_{\gamma; n-p} s \sqrt{1 + \mathbf{z}_k (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{z}_k^T}.$$

В докладе приводятся примеры построения и анализа моделей.

## ВЫВОДЫ

Построение и анализ математических моделей процессов функционирования сельскохозяйственных объектов позволяет на стадии проектирования обосновать рациональные их параметры и режимы работы. Это, в свою очередь, даёт возможность создать опытные образцы новой техники без значительных затрат материальных средств и времени на изготовление, трудоёмкие исследования и доводку большого числа вариантов экспериментального оборудования.

## Новые подходы в разработке модельных систем объектов переходного этапа экономики АПК

Леньков И.И., д.э.н., профессор, член-корр. ААН РБ БГАТУ, г. Минск

Совершенствование теории и методологии построения системы экономико-математических моделей и экономико-математического моделирования в целом всегда было связано с необходимостью объяснить новые тенденции в развитии общества и прежде всего в развитии производительных сил. Изменение производительных сил чаще всего приводило к изменению объема важнейших ресурсов и их качественных характеристик. Следствием этих новых проявлений в экономике являлись новые эконометрические модели и оптимизационные модели верхнего уровня, основным содержанием и отличием которых от прежних было введение новых множеств характеристик, объясняющих новое качество и особенности его проявления.

формирование результативных показателей и новые блоки оптимизационных моделей, характеризующие в конечном счете специфику количественного выражения разновекторного проявления нового качества.

Начало 90-х годов ознаменовало собой переход к рыночной системе хозяйствования, который характеризуется целым рядом специфических проявлений, оказывающих непосредственное влияние на содержание теории и методологии оптимального функционирования экономики:

- Медленным изменением механизма производственных отношений и в частности отношений системы управления и товаропроизводителей, в силу чего основополагающий принцип рыночной экономики, предполагающий, что система управления обслуживает товаропроизводителей, а не управляет ими, не стал доминирующим. Вследствие этого документальное оформление новых формирований рыночного типа часто не сопровождалось соответствующим изменением системы хозяйствования;
- Полной зависимостью большинства товаропроизводителей от бюджетного финансирования – на приобретение удобрений, семян, сельхозмашин и орудий, сырья и материалов, что предполагает нарушение агротехники и технологии производства в целом и в конечном счете усиливает влияние экономической неопределенности;
- Усилением воздействия параметров экономической неопределенности на составляющие результатов деятельности товаропроизводителей, существенно изменившим характер формирования экономических показателей, что делает необходимым пересмотреть содержание ранее используемых информационных моделей и моделей верхнего уровня. Речь идет о том, что если ранее, для обоснования, например, урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности животных и других связанных с ними показателей, мы использовали немногofакторные эконометрические модели - автокорреляционно – трендовые или немногofакторные, на базе материальных параметров, которые отражали стабильность экономики и, поэтому, замедленную отзывчивость экономики на неблагоприятные воздействия, то в нынешних условиях ситуация кординально изменилась. В силу придания вероятностного характера многим, ранее саморегулируемым параметрам, определяющим стабильность предприятий аграрного сектора – внесению органических удобрений, соблюдению сроков и качества проведения важнейших сельскохозяйственных работ и др. – содержание информационных моделей, а также оптимизационных моделей верхнего уровня должно принципиально измениться, с целью более полного учета вероятностного характера информации;
- Существенными различиями предприятий аграрного сектора по степени их адаптации к рыночной системе хозяйствования, что нашло непосредственное выражение в наличии по меньшей мере трех групп хозяйств, отличных по уровню использования ресурсов как по причине их различия в

обеспеченности этими ресурсами и качественными характеристиками ресурсов, так и различиями в степени адаптации предприятий, в т.ч. характерных групп к рыночной системе хозяйствования.

Изложенные положения утверждают, с различными вариациями, с одной стороны, усиливающуюся роль качественных признаков в формировании параметров функционирования экономики, а, с другой, взаимодополняющее и взаимоусиливающее влияние составляющих природной и экономической неопределенности на результаты хозяйствования.

В этих условиях, всякие прогнозные решения должны начинаться с обоснования качественных характеристик функционирования объекта, т.е. с обоснования направлений совершенствования той части производственных отношений, которые затрагивают направленность и темпы развития моделируемого объекта. Выбор вариантов решения этого вопроса можно осуществить на основе экспертных оценок. Их роль на этапе становления новых хозяйственных отношений и соответствующих им формирований должна существенно возрасти.

Выбор варианта совершенствования производственных отношений снижает уровень неопределенности и создает основу для преобладания закономерного над случайным. Вместе с тем остаются действующими такие факторы экономической неопределенности как неустойчивые цены, бюджетное финансирование на приобретение удобрений, ГСМ, лизинг сельскохозяйственной техники. Их формирование остается вне контроля товаропроизводителей, что отрицательно влияет на устойчивость многих параметров технологии и организации аграрного производства. С целью снижения влияния перечисленных факторов экономической и природной неопределенности предлагается обосновывать важнейшие параметры экономики в первую очередь договорные поставки, в размерах, которые выполняются при самом пессимистическом варианте развития экономики. Кроме этого, подтверждая значимость и реальность экономической самостоятельности предприятий, необходимо ввести несколько каналов реализации продукции и вариантов кооперативных связей, которые вытекают из интересов экономики хозяйств.

Повышение устойчивости оптимального решения может обеспечиваться за счет введения в модель верхнего уровня выражений, учитывающих пространственную динамику и стохастику.

Пространственная динамика проявляется главным образом и в первую очередь через влияние уровня концентрации на улучшение экономических показателей. Это влияние выражаем через дополнительный вектор-размер отрасли сверх минимума. Вместе с тем в условиях нестабильной экономики пространственная динамика может проявляться кусочно. В этом случае используем дробно-кусочную оптимизацию.

Природная неопределенность в условиях нестабильной экономики требует выражения не только без учета верхнего уровня, определяющие

состояние объекта при благоприятном, среднем и неблагоприятном исходах, но и изменения самой методики обоснования исходов. Сущность вопроса в том, что определение природного исхода мы осуществляем по урожайности зерновых – важнейшей сельскохозяйственной культуры. При этом предполагается, что важнейшие формирующие урожайность факторы, остаются стабильными, а отсюда для дифференциации временного отрезка на годы, относящиеся к отдельным исходам, использовалась трендовая КМ формирования «нормальной» урожайности зерновых культур.

В нынешних условиях, когда, формирующие урожайность факторы – внесение удобрений, сроки выполнения работ и др. – колеблются, «нормальную» урожайность зерновых следует определять на основе многофакторной модели с материальными факторами. Отсюда разделительная линия регрессии будет кривой. Следовательно, расчленение временного отрезка на исходы будет иным чем в случае, когда «нормальная» урожайность зерновых определяется на базе трендовой модели.

При обосновании содержания информационных моделей важнейшими будут следующие обстоятельства: динамизм и колеблемость материальных параметров и влияние уровня адаптации предприятий к системе рынка на результаты хозяйствования. Это предопределяет содержание информационных моделей. С одной стороны, они будут включать важнейшие материальные факторы, с другой – векторы, характеризующие дополнительный эффект в зависимости от уровня адаптации предприятий к системе рынка.

Таким образом, новый этап построения системы моделей отличается сложным переплетением взаимосвязанных разнотипных моделей, учитывающих важнейшие материальные параметры и качественные признаки.

#### **Интегрированное образовательное пространство на базе информационных технологий в агротехническом университете**

Герасимович Л. С., акад. НАН РБ, проф. докт. техн. наук, Миклуш В.П., доц. канд. техн. наук, Ярошевич О. В., канд. пед. наук, БГАТУ, г. Минск

В современных условиях существуют объективные предпосылки для изменения системы профессиональной подготовки студентов агротехнического вуза. Значимой при этом оказывается проблема создания интегрированного образовательного пространства. Каким оно представляется в современном информационном обществе? На этот вопрос однозначного ответа нет. В докладе делается попытка проанализировать ситуацию, осветить некоторые аспекты на пути решения этой проблемы, поделиться опытом работы в данном направлении.

Широкое использование информационных технологий во всех сферах деятельности современного агроинженера (проектирование, изготовление и эксплуатация технических объектов) позволяет утверждать, что именно **информационные технологии** должны стать ядром создаваемого образовательного пространства. Под их влиянием изменяется структура деятельности человека, происходит интеграция различных ее видов, иным становится и само понимание образования. В современном обществе образование определяет не только уровень образованности человека, развитости его интеллекта, но, прежде всего, является основой получения на рынке труда работы и соответствующего материального обеспечения. Поэтому столь важно каждому учебному заведению выбрать правильную стратегию и тактику в разработке образовательных программ.

На наш взгляд, наиболее перспективным направлением на пути решения поставленной проблемы является путь мобильной интеграции. Его реализация в Белорусском государственном аграрном техническом университете началась с формулирования концепции создания единой информационно-образовательной среды университета. Концепция взаимосвязана с основными направлениями развития университета на долгосрочную перспективу и определяет приоритеты и меры реализации генеральной, стратегической линии в предстоящее пятилетие модернизации компьютерного образования.

Концепция

а) **основана** на следующих общедидактических принципах: системность, оптимальность, непрерывность, интегративность, преемственность, прикладной характер;

б) **предусматривает**:

- анализ, прогнозирование и оценку возможностей развития информационных технологий в подготовке дипломированных специалистов по направлению «Агроинженерия»;
- разработку единой научной политики в области информатизации образовательного процесса, теоретических и практических основ ее реализации;
- поиск, анализ, обобщение, систематизацию и внедрение результатов инновационных и научных разработок в данной области;
- создание системы научно-методического и информационного обеспечения подготовки специалистов в течение всего периода обучения в университете;

в) **предполагает**:

- организацию информационно-технологического взаимодействия субъектов образовательного процесса (факультетов, кафедр, научных подразделений) и их интеграцию на следующих уровнях: университетском (концептуальное моделирование и создание единой информационно-образовательной среды), факультетском (координация и совер-

шенствование деятельности кафедр, постановка задач и определение способов их решения, совершенствование материально-технической базы), кафедральном (анализ перспектив развития и возможностей внедрения информационных технологий в процесс преподавания конкретных дисциплин, разработка соответствующего научно-методического и учебно-методического обеспечения, создание банков и баз данных, практическую реализацию в учебном процессе);

- совершенствование методологии, методов и форм учебного процесса на основе комплексного использования информационных технологий в течение всего периода обучения студента в университете с целью формирования умения использовать компьютерные технологии и программное обеспечение применительно к профессиональной деятельности;
  - ориентацию системы подготовки и переподготовки педагогических кадров на формирование информационной культуры преподавателей;
  - формирование условий для эффективной самостоятельной работы студентов в интеллектуальных и информационных средах;
  - создание и внедрение в учебный процесс автоматизированных обучающих систем и компьютерных тренажеров;
  - обеспечение кафедр университета средствами вычислительной техники и телекоммуникаций;
  - использование внебюджетных источников финансирования посредством организации совместных работ с коммерческими структурами;
  - использование опыта различных отечественных и зарубежных научных и педагогических школ, эффективно работающих в области информационных технологий;
  - вхождение университета в систему международного информационного пространства и обеспечения доступа к современным информационным магистралям, к международным банкам данных;
- г) **определяет** область функционирования, средства, этапы реализации, основные задачи, исполнителей работ.

Основным методологическим инструментом концепции является профильно-дисциплинарный анализ структуры и содержания информационно-образовательной среды университета как системы, в которой все компоненты взаимосвязаны, взаимозависимы и направлены на достижение единой цели, а сама система является одним из звеньев в общей структуре учебного процесса университета.

Реализация предлагаемой нами концепции в учебном процессе позволит

- повысить уровень и конкурентоспособность высшего агротехнического образования;
- выработать единую информационно-образовательную политику университета, перейти к единой методике и добиться максимальной эффективности использования информационных технологий;

- разработать эффективную стратегию управления финансовыми и материальными ресурсами в сфере компьютеризации, обеспечить их оптимальное освоение;
- повысить эффективность использования кадрового потенциала университета.

Безусловно, потребуются значительные изменения, как в содержании учебно-познавательной деятельности студентов, так и в деятельности преподавателей. Тем не менее, наш многолетний опыт научно-практической работы по проблемам высшей школы, дает нам основание утверждать, что предлагаемая концепция обладает значительным педагогическим потенциалом, так как ее основные принципы направлены на получение студентами полноценного профессионального образования.

### **Современные информационные технологии дистанционного обучения студентов ВУЗов**

**Ганчарик Л. П.**, канд.техн.наук, Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск

Система управления в любом государстве выступает в качестве одного из самостоятельных ключевых факторов экономики. Формирование кадрового корпуса компетентных руководителей и качественные вложения в человеческий потенциал являются важным элементом общественного прогресса. Мировой опыт свидетельствует, что увеличение ВВП государства на 1% достигается на 60% за счет человеческого фактора. Поэтому одним из приоритетов государственной кадровой политики является организация системы подготовки и переподготовки действующих руководящих кадров и специалистов органов государственного управления.

В настоящее время в мировой практике широкое распространение получила система *непрерывного обучения* руководителей и специалистов как комплекс мер, дающих возможность повышать квалификацию управленческим кадрам *на протяжении всего периода их практической работы*. Это выдвигает повышенные требования по *доступности* образовательных ресурсов. Кроме того, учитывая необходимость скорейшего перевода экономики республики на рельсы устойчивого развития, в масштабах государства нужна *единая постоянно действующая система массового обучения* кадров госуправления современным методам работы в условиях рыночной экономики. Только *высокий профессиональный уровень, системность и доступность обучения*, проводимого лучшими в своих областях профессорско-преподавательскими кадрами (как отечественными, так и зарубежными), является гарантией качественного совершенствования руководящего потенциала управленцев, что обеспечивает *формирование нового кадро-*

вого корпуса, способного работать в условиях рыночных отношений и осуществлять эффективное взаимодействие в экономическом мировом пространстве.

Таким образом, дальнейшее совершенствование системы обучения кадров управления требует решения следующих основных задач:

1. Создание *интегрированного* информационного образовательного пространства для *всего* управленческого кадрового корпуса республики.

2. Предоставление *постоянной* квалифицированной помощи и информационной поддержки руководителям органов государственного управления, а также организаций и предприятий республики при решении конкретных хозяйственных и социальных вопросов.

3. Развитие *многоуровневой* системы обучения управленческих кадров с использованием современных информационных и телекоммуникационных технологий.

Реализация этих задач возможна только на основе внедрения эффективных информационных технологий, удовлетворяющих мировым образовательным стандартам, включая систему *постоянного дистанционного обучения и консалтинга* кадров управления без отрыва от производства. В рамках таких образовательных технологий можно периодически проводить дистанционные семинары в экономической и социальной сфере, оказывать повседневную консультационную помощь руководящему составу при решении конкретных задач.

К наиболее важным направлениям формирования *системного* образовательного подхода можно отнести:

- повышение качества образования за счет фундаментализации знаний;
- обеспечение опережающего характера всей системы обучения, ее нацеленности на проблемы постиндустриального общества;
- обеспечение большей доступности образования для всех слоев населения государства путем широкого использования возможностей открытого обучения и самообразования с применением высокоэффективных информационных и телекоммуникационных технологий;
- повышение творческого начала (креативности) в образовании для подготовки кадров государственного управления к деятельности в различных экономических и социальных средах (обеспечение развивающего образования).

Среди перечисленных направлений принципиально важным является *опережающий характер* современной системы повышения квалификации и широкомасштабного обучения руководящих кадров. Он заключается в *более быстром развитии системы образования* на фоне других факторов, обуславливающих социально-экономическое и культурное развитие общества. Опережающий характер образования направлен, в первую очередь, на изучение новых фундаментальных знаний, процессов и технологий, ин-

формация о которых поступает в систему образования по различным каналам взаимодействия с наукой, банками знаний и базами научно-технической информации. Все это позволяет обеспечить *постоянное повышение квалификации одновременно всего руководящего корпуса республики*. Появляется возможность *совмещения процесса обучения с оказанием повседневной помощи* предприятиям и организациям в повышении эффективности их функционирования. Эта помощь может заключаться в ежедневном предоставлении предприятиям и организациям информации о рынках сбыта и потребления, обеспечении услуг электронной торговли, распространении инновационных и инвестиционных предложений, ознакомлении с новыми технологиями и оборудованием и т.д. При этом процесс обучения и процесс массового информирования могут эффективно дополнять друг друга. Создаются объективные предпосылки *на получение высшего образования в сфере управления* каждому специалисту, работающему в органах государственного управления.

В настоящее время Академией управления при Президенте Республики Беларусь завершается создание образовательных дистанционных телекоммуникационных технологий, позволяющих решить задачу формирования интегрированного образовательного пространства широкомасштабного обучения руководящих кадров. В соответствии с мировыми стандартами система дистанционного обучения базируется на сети ИНТЕРНЕТ. Учитывая, что из-за отсутствия развитой цифровой системы связи на всей территории государства около 85% предприятий и организаций республики не работают в сети ИНТЕРНЕТ, Академией управления совместно с УП «Агат-систем» разработана WaveTop технология ИНТЕРНЕТ не требующая использования высокоскоростных и дорогостоящих каналов связи для информационного обслуживания в реальном масштабе времени *каждого* предприятия или организации республики. Указанная технология является эффективной телекоммуникационной средой дистанционного обучения руководящих кадров, их массового информирования и мониторинга, т.к. она обеспечивает трансляцию и оперативную актуализацию учебных ИНТЕРНЕТ WEB-сайтов по существующим телевизионным каналам непосредственно на компьютеры слушателей. В WaveTop технологии ИНТЕРНЕТ предусмотрена возможность программной адаптации практически под любое качество существующих TV каналов, что гарантирует надежную доставку информации абоненту. При этом информация (WEB-сайты) транслируются одновременно на ПЭВМ всех абонентам сети, количество которых неограниченно, а их расположение может быть в любой точке республики (вплоть до самых «глухих» мест), где принимается TV (например, БТ, ОРТ или РТР)<sup>1</sup> на стандартную бытовую телеантенну. WaveTop технология ИНТЕРНЕТ позволяет обеспечить самую низкую из всех существующих сетей себестоимость доставки и актуализации данных, осуществляя передачу информации каждому конкретному абоненту через

адресную систему телевизионных модемов. Чтобы подключиться к системе дистанционного обучения в организации или на предприятии, необходимо установить на один из персональных компьютеров (классом не ниже P1) телевизионный модем (стоимость одного модема составляет 50 \$ США) и программный пакет дистанционного обучения, подключив модем к стандартной бытовой телевизионной антенне. Учебные WEB-сайты автоматически принимаются компьютерами слушателей в фоновом режиме, что не мешает параллельно использовать эти ПЭВМ для обычной работы.

В 2001 г. Академией управления начато создание дистанционных курсов по ряду направлений в экономической и социальной сфере деятельности органов государственного управления, а также предприятий и организаций. Разработано и утверждено Советом Академии управления “Положение о подготовке и организации учебного процесса в системе дистанционного обучения”, в котором определены:

- концептуальные положения системы дистанционного обучения;
- организация подготовки и проведения учебного процесса;
- компьютерная технология дистанционного обучения;
- порядок и требования к разработке и распространению учебных и учебно-методических материалов;
- мониторинг и оценка качества учебного процесса.

Создан учебно-методический комплекс дистанционного обучения, включая электронные версии учебников, практических и лабораторных работ. Разработана методология формирования и ведения курсов повышения квалификации управленческих кадров в системах базового, опережающего и адаптивного обучения с использованием электронных баз знаний и проблемных банков данных.

Наряду с учебно-методическим комплексом проведена разработка программно-технических средств дистанционного обучения. На основе изученного опыта построения систем открытого образования в ведущих ВУЗах СНГ (Московский государственный университет экономики статистики и информатики, Академия управления при Президенте Украины и д.р.) разработано программное обеспечение учебных WEB-сайтов в WaveTop технологии ИНТЕРНЕТ, а также установлен учебно-образовательный программный комплекс международного стандарта WEBCT. С 1-го октября 2001г. начат учебный процесс в системе дистанционного обучения для студентов первого курса по специальности “Государственное управление и экономика».

Дальнейшим развитием дистанционного обучения является система открытого образования, главной целью которой является подготовка будущих специалистов к эффективному участию в условиях информационного общества. Эта система будет основываться на следующих основных принципах:

- индивидуализации обучения во времени и пространстве;

- свободе выбора методов обучения;
- свободе развития обучающихся, снятие жестких норм ограничивающих развитие личности;
- приоритете самостоятельной работы обучающихся при необходимости научно-методической и учебной помощи консультантов (тьюторов).

Решаемые в рамках системы дистанционного обучения и открытого образования задачи значительно расширяют новые возможности в области реализации государственной кадровой политики.

# 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И МАШИН

## Моделирование процесса обмолота льновороха вальцовым молотильным аппаратом

Кругленья В. Е., доц., канд. техн. наук, Кудрявцев А. Н., ассистент, канд. техн. наук, Алексеев А. С., инженер, БГСХА, г. Горки

Для обмолота досушенного до кондиционной влажности льновороха в БГСХА разработано молотильное устройство вальцового типа с эластичной рифленой поверхностью, в котором выступы плавно переходят во впадины, образуя криволинейный молотильный зазор (рис. 1).

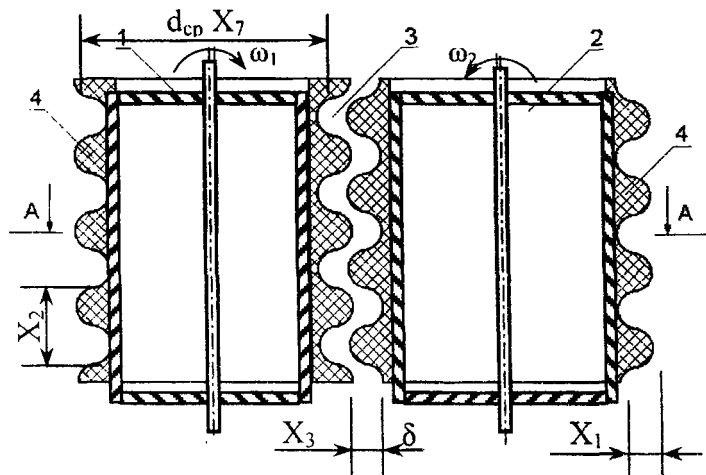


Рис. 1. Схема молотильного устройства с эластичной рифленой рабочей поверхностью: 1, 2 – вальцы; 3 – молотильный зазор; 4 – эластичная рифленая поверхность.

В качестве параметра оптимизации была принята степень выделения семян  $E$ . Увеличение значения этого параметра приводит к увеличению выхода продуктивных семян и поэтому в значительной мере влияет на величину показателей экономической эффективности предлагаемого молотильного аппарата.

Для того, чтобы определить оптимальное сочетание выделенных факторов, были проведены эксперименты согласно матрице планирования полного факторного эксперимента  $2^3$ , которая включала восемь опытов. Опыты проводились в трехкратной повторности. Проверку адекватности результатов осуществляли путем сравнения табличного критерия Фишера с

расчетным. Поскольку расчетное значение критерия Фишера  $F_p = 25,3$  значительно больше табличного  $F_T = 3,01$ , поэтому гипотеза об описании результатов экспериментов линейной моделью  $\hat{y} = 93,458 - 1,402 \cdot x_3 + 2,103 \cdot x_5 - 3,468 \cdot x_6$  отвергается. Поэтому в дальнейших исследованиях с целью изучения и описания области оптимума необходимо использовать планирование второго порядка.

В табл. 1 представлены результаты выбора значений основных уровней варьирования факторов.

Таблица 1. Факторы и уровни их варьирования

| Наименование фактора                                                                      | Обозначение | Уровни варьирования |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------|--------------|
|                                                                                           |             | Нижний (-1)         | верхний (+1) |
| Высота рифов вальцов, м                                                                   | $X_1$       | 0,01                | 0,06         |
| Ширина основания рифов вальцов, м                                                         | $X_2$       | 0,025               | 0,150        |
| Зазор между вальцами, м                                                                   | $X_3$       | 0,001               | 0,006        |
| Пропускная способность молотильного аппарата на единицу длины поверхности вальцов, кг/с·м | $X_4$       | 0,27                | 0,52         |
| Частота вращения вальцов, мин <sup>-1</sup>                                               | $X_5$       | 150                 | 250          |
| Показатель кинематического режима вальцов                                                 | $X_6$       | 1,0                 | 1,5          |
| Средний диаметр вальцов, м                                                                | $X_7$       | 0,15                | 0,30         |
| Содержание примесей в ворохе, %                                                           | $X_8$       | 10                  | 60           |

В сельском хозяйстве для большинства технологических процессов с допустимой погрешностью до 5 % обычно достаточным является описание поверхности отклика полиномом второго порядка.

В результате анализа нами был выбран трехуровневый план Бокса-Бенкина для трех факторов, включающий 15 опытов. Опыты проводились в трехкратной повторности в рандомизированном порядке. С учетом данных крутого восхождения центр эксперимента был выбран в новой точке. Интервалы и уровни варьирования факторов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Уровни и интервалы варьирования факторов

| Наименование фактора                        | Обозначение | Уровни и интервалы варьирования |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------------|---------------------------------|--------|--------|--------|
|                                             |             | (-1)                            | (0)    | (+1)   | m, шаг |
| Зазор между вальцами, м                     | $\delta$    | 0,0025                          | 0,0030 | 0,0035 | 0,0005 |
| Частота вращения вальцов, мин <sup>-1</sup> | $\omega$    | 170                             | 210    | 250    | 40     |
| Показатель кинематического режима вальцов   | $\lambda$   | 1,2                             | 1,3    | 1,4    | 0,1    |

По полученным результатам производили расчет коэффициентов регрессии. Поскольку  $F_p = 2,09 < F_T = 2,51$ , то полученная модель адекватна и имеет вид:  $E = 17,21 + 2313,33 \cdot \delta + 0,1 \cdot \omega + 115,22 \cdot \lambda + 1,75 \cdot \delta \cdot \omega - 1716,67 \cdot \delta \cdot \lambda - 0,0058 \cdot \omega \cdot \lambda - 189444,44 \cdot \delta^2 - 0,00023 \cdot \omega^2 - 46,07 \cdot \lambda^2$  (2).

В результате проведенных расчетов было установлено, что разность между расчетным и экспериментальным значениями параметра оптимизации не превышает 5 %. На основании этого можно сделать вывод, что экспериментальные данные согласуются с расчетными и подтверждаются ими.

### Model of power consumption during beating of waste paper stock

**Adam Mroziński, Zbigniew Kikiewicz**, University of Technology and Agriculture in Bydgoszcz, Bydgoszcz, Poland

In the paper analysis of power consumption by disc refiner were carried out. This analysis was realized by investigations carried out in the Bydgoszcz Paper Mill. The investigations carried out in the range of slot:  $0,04 \div 0,25$  mm. The authors have shared of total power consumption on composition powers. Separated composition powers are used up on definite processes, which are reached during treatment of waste paper stock at variable slot: refining, beating, cutting.

The most typical refiners in papermaking are the conventional double disc refiner. On these devices beating process was realized. Beating of paper stock is one from basic processes of paper treatment and also is one from most energy-consuming processes. Power delivered on engine shaft in the time of beating changes in dependence on many factors. And in peculiarity from slot between discs refiner -  $x$  and from each composition powers. These powers are consumed on different processes, which occurred in disc refiner during beating. Total power consumption we can show by formula, in which are the basic processes:

$$N_t = N_b + N_r + N_c + N_f; \text{ (kW)} \quad (1)$$

where:  $N_b$  – power consumed on beating;  $N_r$  – power consumed on refining;  $N_c$  – power consumed on cutting of fibres;  $N_f$  – power consumed on metallic friction between beating surfaces.

In the fig. 1 example chart obtained during investigations was presented. On the base of investigation curves A-B-C-D-E were received (for different dryness). The other curves on base of mathematical analysis were obtained. After simplification we have:

Power consumed on beating:  $N_b = k_b \cdot n \cdot p \cdot (D_z^3 - D_w^3); \text{ (kW)}$  (2)  
 where:  $k_b$  – solidity coefficient of beating;  $n$  – rotational speed (rev/min),  $p$  – beating pressure (Pa);  $D_z$  - outside diameter of disc (m),  $D_w$  - inside diameter of disc (m).

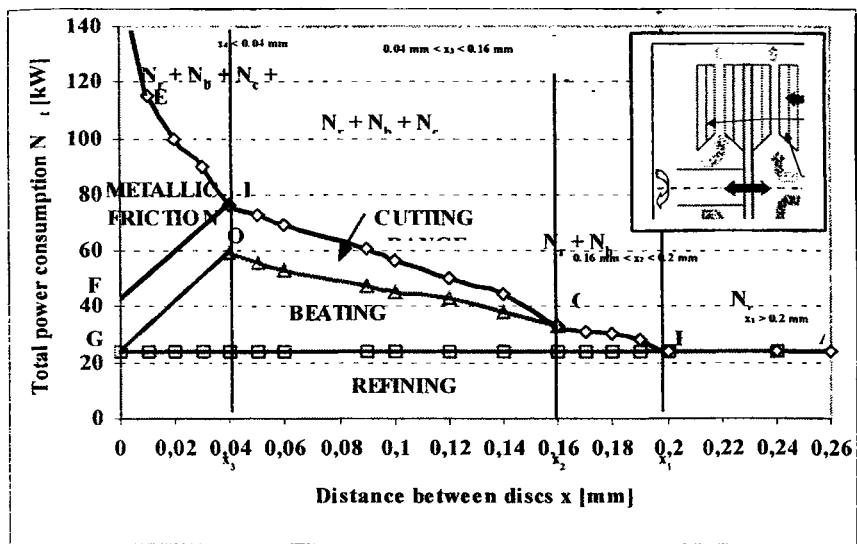


Fig. 1. Chart of total power consumption in function of the slot -  $x$  for disc refiner with regard to composition powers (dryness of stock 2 %)

$$\text{Power consumed on refining: } N_r = k_r \cdot n^3 \cdot (D_z^5 - D_w^5); \text{ (kW)} \quad (3)$$

where:  $k_r$  – solidity coefficient of refining.

Power consumed on fibres cutting:

$$N_c = P_c \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot l \cdot k \cdot \tau \cdot n \cdot d_w; \text{ (kW)} \quad (4)$$

where:  $P_c$  – elementary cutting force (on knives length unit) (N/m);  $l$  – average length of movable and non-movable discs knives, on of which reaches cutting process (m);  $z_1$  i  $z_2$  – knives number of movable and non-movable discs;  $k$  – coefficient of length using of intersecting knives on cutting process;  $\tau$  – intensity of cutting,  $d_w$  – width of fiber cutting layer (m).

#### Power consumed on metallic friction

Frictions metallic range in fig. 1 represents area: D-E-G, power consumed on metallic friction we can give by formula:

$$N_f = \frac{\pi^2 \cdot b^2 \cdot p \cdot \alpha_t \cdot \sigma \cdot n \cdot (D_z^3 - D_w^3)}{6 \cdot t^2}; \text{ (kW)} \quad (5)$$

where:  $\alpha_t$  – coefficient of knives metallic friction;  $\sigma$  – summary coefficient of irregularity of frontal surface of knives, mechanical damages, angle of knives setting and knives material;  $b$  – width of knives (m),  $t$  – knives pitch (m).

#### Conclusions

Showed above mathematical model of power consumption by disc refiner makes possible calculating of composition powers at simplified geometry of refiner disks.

## Проблематика моделирования молотковых зерновых мельниц

Ежи КАЛЬВАЙ, Техническая сельскохозяйственная академия, г. Быдгощ, Республика Польша

Зерновые в нашем климате являются основным пищевым компонентом как для человека, так и для домашнего скота. Из 20 млн тонн ежегодно производимого в Республике Польша зерна около 14 млн т предназначены как раз на кормовые цели. Почти 60 % рациона кормосмесей составляет зерно. С учетом физиологических особенностей животных зерно должно быть измельчено. Этот процесс почти повсеместно реализуется посредством молотковых зерновых мельниц, которые, кроме многих известных преимуществ, характеризуются высокой энергоемкостью процесса (45 кДж/кг), в то время как их энергетический КПД не превосходит 7-8 %. Все это объясняет необходимость дальнейших работ по совершенствованию эффективности названных машин.

На рис. 1 представлена схема измельчителя зерна. В связи с тем, что нами начат модернизационный процесс с пристальным учетом энергетического баланса (рассеяния энергии), то позволим себе введение некоторых необходимых замечаний:

1. Течение основного процесса в рабочей камере носит случайный характер и зависит от вероятности попадания рабочей поверхности вращающегося молотка по зерновке;
2. Функционально машина несет в себе две технологические операции: измельчение и просев – производительности их должны совпадать;
3. Энергия рабочего комплекса в рабочей камере используется на эффективные удары частичек зерновок о молотки, упругие удары, соударения между собой, эффективные и упругие удары о сито, перемещение частиц через отверстия, преодоление пневматических сопротивлений и приведение воздуха в движение.

Подводя промежуточный результат рассуждений, следует подчеркнуть, что проблема комплексного моделирования с целью оптимизации и модернизации измельчителя, является сложным заданием.

Мы планировали проведение экспериментальных энергетических исследований на универсальном лабораторном стенде. С этой целью в первую очередь были разработаны критериальные уравнения, описывающие конструкцию модели (стенда) в лабораторном масштабе, являющегося уменьшением образца - реального оригинала.

В качестве эстиматора машины принята ее производительность, в то время как метод исследования – анализ размерностей. Отсюда общее математическое выражение носит следующий вид:

$$Q = f(\zeta \cdot D \cdot L \cdot v), \quad (1)$$

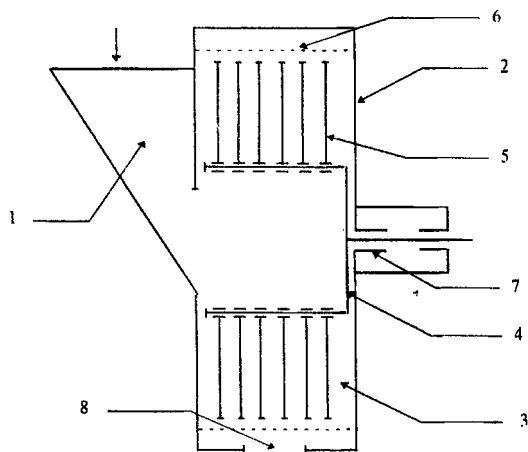


Рис. 1. Молотковый измельчитель зерна; 1 - загрузочный бункер; 2 - корпус; 3 - рабочая камера (измельчения); 4 - ротор; 5 - молотки; 6 - сито; 7 - подшипники; 8 - выгрузное отверстие.

где:  $Q$  - производительность мельницы;  $\zeta$  - насыпная плотность материала;  $D$  - диаметр рабочей камеры;  $L$  - ширина камеры измельчения;  $V$  - окружная скорость молотков.

Или эквивалент в показательном (экспоненциальном) виде:

$$Q = A \cdot \zeta^a \cdot D^b \cdot L^c \cdot v^d, \quad (2)$$

где:  $A$  - постоянная;  $a, b, c, d$  - показатели степеней.

Отсюда формула величин имеет вид:

$$MT^{-1} = A(M \cdot L^{-3})^a \cdot L^b \cdot L^c \quad (3)$$

Решение уравнения (3) в соответствии с правилами анализа величин позволяет получить следующий вид:

$$Q = A \cdot \zeta \cdot V \cdot D^2 \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^x \quad (4)$$

$$\frac{q}{a \cdot \zeta \cdot v \cdot d^2} = \left(\frac{l}{d}\right)^x \quad (5)$$

где:  $\frac{Q}{\zeta \cdot v \cdot D^2}$  - критерий, число Эйлера;  $\frac{L}{D}$

- критерий геометрического подобия.

Подставляя в уравнение 5 данные, полученные на польском образцовом измельчителе (Н-113), получены следующие зависимости:

$$\begin{aligned}
Q_1 &= \left(\frac{L}{D}\right)^{6,39} \cdot \zeta \cdot v \cdot D^2; \quad d_1 = 4 \text{ mm, материал} - \text{ячмень}; \\
Q_{21} &= \left(\frac{L}{D}\right)^{6,31} \cdot \zeta \cdot v \cdot D^2; \quad d_2 = 5 \text{ mm, материал} - \text{ячмень} \\
Q_3 &= \left(\frac{L}{D}\right)^{6,11} \cdot \zeta \cdot v \cdot D^2; \quad d_3 = 6 \text{ mm, материал} - \text{ячмень}
\end{aligned} \tag{6}$$

где:  $d_1, d_2, d_3$  – диаметры отверстий сита измельчителя, вмонтированного поверх рабочей камеры.

Критериальные уравнения (6) дают возможность создать лабораторную модель, являющуюся объектом исследований по оптимизации и модернизации, а также исследований единичных операций, представляющих собой составляющие математической модели процесса ударного измельчения зерна.

### **Метод Монте-Карло в обосновании критической степени покрытия при применении пестицидов**

**Маркевич А. Е.,** доц., канд. техн. наук, БГСХА, г. Горки

Основным фактором, влияющим на эффективность действия препарата является степень покрытия поверхности растения рабочей жидкостью. Этот показатель рассчитывается как отношение площади, контактирующей с препаратом, к общей площади обрабатываемой поверхности. Анализ большого экспериментального материала позволил сформулировать требования по минимально необходимой (критической) степени покрытия для различных видов препаратов: гербициды – 1 %, инсектициды – 3 %, фунгициды – 5 %.

Размер образующихся при работе распылителя капель и степень их неоднородности в наибольшей степени влияют на величину степени покрытия. Поэтому, при создании машин для применения ядохимикатов необходимо обоснованно подходить к выбору рабочих органов, обеспечивающих оптимальную степень дробления жидкости.

В реальных условиях диаметр образуемых распылителями капель - случайная величина, подчиненная логарифмически-нормальному закону распределения. Для численной характеристики размера капель использовались: медианно-массовый диаметр (ММД), медианно-числовой диаметр (МЧД) и коэффициент полидисперсности  $K_n$ , рассчитываемый как отношение ММД к МЧД.

Густота покрытия обрабатываемой поверхности  $\lambda$  (шт./см<sup>2</sup>)- так же случайная величина, распределенная по закону Пуассона. Капли случайным образом располагаются на обрабатываемой поверхности и их следы могут

перекрываться, приводя к уменьшению степени покрытия по сравнению с суммой площадей следов капель.

Таким образом, степень покрытия является функцией нескольких случайных величин, каждая из которых имеет свой закон распределения.

Задача сводится к необходимости определения функции распределения степени покрытия поверхности и ее числовых характеристик. Решение задачи аналитическими методами неприемлемо из-за громоздкости получаемых формул и чрезвычайных трудностей при их применении для решения практических задач. Кроме того, точность получаемых результатов крайне низка по причине необходимости принятия ряда допущений и использования только числовых характеристик случайных величин.

Для решения поставленной задачи нами был использован метод статистических испытаний (Монте-Карло). Суть метода состоит в следующем: вместо вычисления характеристик распределения степени покрытия, сложным образом зависящих от ряда случайных факторов, их определяли с помощью так называемого "розыгрыша". Идею "розыгрыша" можно пояснить на следующем примере: предположим проводится сто опытов, когда на площадку единичной площади выбрасывается одинаковое количество капель. Размеры капель - случайная величина, но характеристики распределения этой случайной величины в каждом опыте неизменны. Капли оседают на площадку хаотически, т.е. координаты центров их следов - величина случайная, распределенная равномерно в интервале, равном длине стороны площадки. Измерив в каждом опыте степень покрытия мы получим числовой вектор, анализируя который легко получить экспериментальную функцию распределения и ее числовые характеристики.

Каждый опыт проводился в трехсоткратной повторности. Медианно-массовый диаметр капель изменялся в опытах от 100 до 600 мкм с шагом 100 мкм при  $K_n = 1, 2, 3, 4$ . Густота покрытия изменялась от 25 до 500 капель/см<sup>2</sup> с шагом 25 шт./см<sup>2</sup> - в пределах первой сотни и 100 шт./см<sup>2</sup> в интервале от 100 до 500 шт./см<sup>2</sup>.

Программа, реализующая метод Монте-Карло, разработана нами в среде программирования Borland Pascal v. 7.0 и может работать на любом IBM - совместимом компьютере, имеющем не менее 600 КБайт основной оперативной памяти и DOS версии 3.3 и выше.

Специальный блок программы позволяет получить изображение поверхности, покрытой каплями. Используя возможности программы можно получить покрытия, которые затем применять как эталонные для приблизительной оценки размеров капель и густоты покрытия при настройке опрыскивателя в производственных условиях.

На основе использования метода статистических испытаний (Монте-Карло) получены экспериментальные функции распределения степени покрытия и количества жидкости на единице площади поверхности при использовании полидисперсного распыла. С помощью регрессионного анали-

за получены аналитические зависимости параметров распределений степени покрытия и количества жидкости от густоты покрытия поверхности и дисперсионных характеристик распылителя. Так, средняя степень покрытия  $U_{cp}$  и стандартное отклонение степени покрытия могут быть определены по формулам:  $U_{cp} = (0,73 / K_n - 10^{-4} \cdot \lambda(6,26 / K_n - 1,66)) \lambda d_m^2$ ,

$$\sigma_u = (0,92d_m - 0,34d_n) \ln(\lambda) - (2,2d_m - 1,27d_n),$$

где  $d_m$  - ММД, мкм;  $d_n$  - МЧД, мкм.

На основе полученных результатов предложена методика обоснования эксплуатационных и технических характеристик опрыскивателя, опирающаяся на обеспечение степени покрытия, превышающей критическую.

### **Параметры копира датчиков геометрических размеров компонентов картофельного вороха.**

**Филиппов А. И.**, ассистент, ГГАУ, г. Гродно.

В гродненском государственном аграрном университете разработано автоматизированное устройство для разделения компонентов картофельного вороха (Сб. «Современные проблемы машиноведения» / международной научно-технической конференции. В двух частях, Гомель 2000 год. Гомельский государственный технический университет – часть 2. с.89-90.), в котором производится взвешивание каждого компонента (клубень, комок почвы, камень), определение геометрических размеров компонента и вычисление коэффициента раздела путём деления массы компонента на произведение трёх его размеров. Полученные коэффициенты раздела у клубней и примесей имеют существенные различия.

Чёткость работы устройства зависит от точности взвешивания и определения размеров. В этой связи нами сделан анализ работы копира устройства как одного из важных составляющих измерителя размеров.

Полосок-копир 1 с радиусом поворота  $R$  (рис.1) закреплен шарнирно на рамке устройства с первоначальным углом к вертикали  $\varphi$  и опирается на микровыключатель 2. Под воздействием движущегося по стрелке А компонента 3 вороха полосок отклоняется на угол  $\alpha$ , причем, в случае, если компонент прямоугольного сечения, начало касания компонентом полоска соответствует начальной точке отсчета длины  $a$ , что фиксируется микровыключателем 3, соединенным с электронной частью устройства. После поворота на угол  $\alpha$ , который зависит от толщины  $s$ , полосок скользит по верхней кромке компонента, сходит с него и по радиусу  $R$  опускается вниз до касания с микровыключателем 2, фиксирующим конечную длину компонента.



Таким образом, математическое обоснование размеров и формы рабочих органов сельскохозяйственных машин имеет не только теоретическое, но и большее прикладное значение.

### Обоснование параметров распылителя при совмещении операций по уходу за посевами овощных культур на гребнях

Гордеенко О. В., БГСХА, г. Горки

Ряд технологических процессов сельскохозяйственного производства основан на перемещении частиц (твердых или жидких) в воздушном потоке. К ним относятся: опрыскивание (при химической защите растений); полив (с помощью дождевальных установок); протравливание семян (в восходящем воздушном потоке) и т. д. Качество выполнения технологического процесса определяется кинематическими параметрами полета частиц в окружающей среде.

Применительно к гребневой технологии возделывания овощных культур, задача о перемещении капли жидкости в окружающей среде может быть сформулирована в следующем виде: «С какой начальной скоростью  $V_0$  и под каким углом  $\varphi_0$  (рис.1) капля жидкости массой  $m$ , выброшенная из сопла распылителя, установленного на высоте  $H$  над обрабатываемой поверхностью, достигнет защитной зоны растений (верхней поверхности гребня) шириной  $2a$  не далее, чем в точке А (точке перехода горизонтальной

в боковую поверхность гребня). Силами сопротивления окружающей среды пренебречь».

При такой постановке задачи, движение капли осуществляется только под действием силы тяжести  $G$ . Разместим распылитель ( $O$ ) на высоте  $H$  над обрабатываемой поверхностью так, чтобы ось симметрии факела распыла делила верхнюю поверхность гребня на две равные части шириной « $a$ ». Составим дифференциальные уравнения движения капли в проекциях на естественные оси:

$$m \cdot \frac{dV}{dt} = mg \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

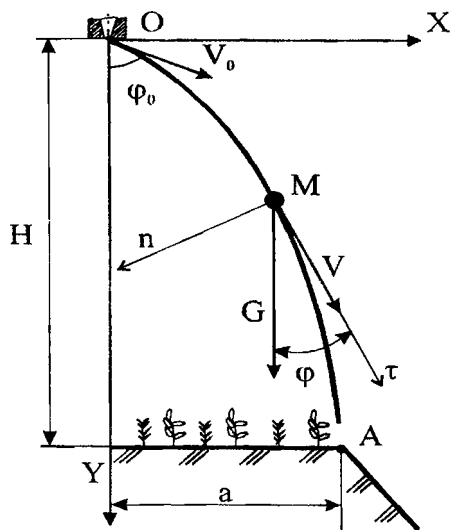


Рис.1 Расчетная схема.

$$m \cdot \frac{V^2}{\rho} = mg \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

где  $\rho$  – радиус кривизны траектории точки М в заданный момент времени.

Интегрирование уравнений (1,2) с учетом начальных условий ( $t=0$ ;  $V=V_0$ ;  $\varphi=\varphi_0$ ) позволяет определить закон изменения скорости капли, выброшенной из сопла распылителя под углом  $\varphi_0$  к вертикале со скоростью  $V_0$ , при отсутствии сил сопротивления окружающей среды:

$$V \cdot \sin \varphi = V_0 \cdot \sin \varphi_0 = \text{const} \quad (3)$$

Из равенства (3) следует, что форма и размер капли не оказывает влияния на скорость ее падения в среде, не оказывающей сопротивления движению.

Движение капли жидкости относительно неподвижных осей координат ХОУ описывается дифференциальными уравнениями:

$$dx = V_0 \cdot \sin \varphi_0 \cdot dt \quad dy = g \cdot t \cdot dt \quad (4)$$

Интегрирование уравнений (4), с учетом начальных условий ( $t=0$ ;  $x_0=y_0=0$ ), позволяет определить координаты капли на траектории ее движения:

$$x = V_0 \cdot \sin \varphi_0 \cdot t \quad y = 0,5 g \cdot t^2 + V_0 \cdot t \cdot \cos \varphi_0 \quad (5)$$

Исключая из уравнений (5) параметр времени  $t$ , после очевидных преобразований получим уравнение траектории движения капли:

$$y = \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V_0^2} \left( 1 + \text{ctg}^2 \varphi_0 \right) + x \cdot \text{ctg} \varphi_0 \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что капля жидкости под действием сил тяжести в пустоте будет двигаться по параболе с вертикальной осью симметрии и вершиной, совпадающей с точкой вылета капли из сопла распылителя. Геометрические параметры параболы определяются скоростью вылета и углом факела распыла.

Из уравнения (6) определим значение угла  $\varphi_0$ , при котором капля жидкости, двигаясь по параболе, достигает фиксированной точки А с координатами  $X=a$  и  $Y=H$ .

$$\text{ctg} \varphi_0 = \frac{-V_0^2 + \sqrt{V_0^4 - g(g \cdot a^2 - 2 \cdot H \cdot V_0^2)}}{g \cdot a} \quad (7)$$

Функция (7) будет иметь действительные корни при условии, что  $2 \cdot H \cdot V_0^2 > g \cdot a^2$  или комплексные, если  $2 \cdot H \cdot V_0^2 < g \cdot a^2$  (8)

Механический смысл комплексных корней заключается в том, что при заданной начальной скорости  $V_0$  капля не может пройти через фиксированную точку А. Эта точка окажется за «границей области химической обработки».

Так как высота «Н» установки распылителя и ширина «а» верхней поверхности гребня являются технологическими параметрами, то из уравнения (7) с учетом неравенств (8) нетрудно установить пределы изменения скорости вылета капли из сопла распылителя, при которых она не покинет зону обрабатываемой поверхности.

$$\sqrt{\frac{g \cdot a^2}{2 \cdot H}} < V_0 \leq \sqrt{g \cdot \left( H + \sqrt{H^2 + a^2} \right)} \quad (9)$$

Зависимости (7) и (9) служат основанием к выбору распылителей для химической защиты совмещенной с междурядной обработкой овощных культур, возделываемых на гребнях. Расчетами установлено, что для обработки защитной зоны рядка шириной  $a=0,1\text{м.}$ , при высоте установки распылителя над поверхностью гребня  $H=0,3\text{м.}$ , необходимо использовать распылитель с углом факела распыла  $2\varphi_0=44,6^\circ$ , обеспечивающим скорость вылета жидкости из сопла  $V_0=2,46\text{ м/с.}$  Данным требованиям в большей степени отвечает узкофакельный распылитель TP40015E фирмы «TeeJet».

### Кинематика и динамика поворота ведущей дифференциальной тележки.

Горин Г. С., докт. техн. наук, профессор, Головач В.М., аспирант, БГАТУ, г. Минск

На рис. приведены построения схемы кинематики поворота ведущей дифференциальной тележки (которой может быть задний ведущий задний мост трактора) под действием отклоняющего момента  $M_{откл.}$ , направленного по часовой стрелке. При отсутствии момента  $M_{откл.}$ , поворот происходит вокруг центра скоростей, расположенного на пересечении осей вращения передних и задних колес на виде в плане.

Если поворот происходит с буксованием колес, то следуя Ф.А.Опейко на линии, перпендикулярной плоскостям качения колес найдем центра вращения  $O_3$  и  $O_4$ , расположенные на расстояниях (эксцентриситетах) от середины пятна контакта колеса

$$e_3 = (R + 0,5B)\delta_3,$$

$$e_4 = (R - 0,5B)\delta_4.$$

Если межколесный дифференциал (МКД) – простой, а нормальные нагрузки на колеса  $N_3=N_4$ , то буксования  $\delta_3$  и  $\delta_4$  и касательные силы  $P_{к3}$  и  $P_{к4}$  колес  $i=3$  и  $i=4$  равны. Практически коэффициент распределения крутящих

моментов касательных сил тяги  $K_p = \frac{P_{\kappa 4}}{P_{\kappa 3} + P_{\kappa 4}}$  даже у простого МКД

равен  $\kappa_p = 0,55$ . Поэтому касательные силы тяги  $P_{\kappa 4} > P_{\kappa 3}$ , соответственно, толкающие реакции  $X_{\kappa 4} > X_{\kappa 3}$ . Под действием отклоняющего момента внешнее колесо ускоряется на скорость  $\Delta V$ , а внутреннее - замедляется на ту же скорость  $V_3 = V_3^0 + \Delta V$ ,  $V_4 = V_4^0 - \Delta V$ ,

где  $V_3^0$  и  $V_4^0$  - скорости при  $M_{откл} = 0$ .

Отложим скорости  $V_3$  и  $V_4$  в центрах вращения  $O_3$  и  $O_4$  и соединим концы векторов названных скоростей  $V_3$  и  $V_4$  штриховой линией. На последней находится центр новых скоростей поворота тележки. При этом

$$V_3 + V_4 = V_3^0 + V_4^0. \quad (1)$$

Аналогичная штриховая линия  $M_3M_4$ , соединяющая концы векторов  $\Delta V$ , проведенных в центрах  $O_3$  и  $O_4$  не проходит через центр моста, где расположен МКД. Поэтому при повороте с  $M_{откл}$  МКД не может обеспечить распределения скоростей колес, в соответствии с формулой (1), необходимого для движения без буксования и скольжения колес. Из подобия  $\Delta A(O_3O_4)$  и

$\Delta AM_3B$  выразим отрезок  $AM_3$ ,  $AM_3 = \frac{e_3}{0,5B + e_3}$ , тогда скорость допол-

нительного буксования колеса  $i=3$  равна  $\Delta V_3^\delta = \Delta V \left( \frac{0,5B - e_3}{0,5B} - 1 \right)$ .

Аналогичным образом определим скорость скольжения  $\Delta V_4^s$  колеса

$$i=4 \quad \Delta V_4^s = \Delta V \left( 1 - \frac{0,5B - e_4}{0,5B} \right).$$

Отложим скорость  $\Delta V_3^s$  в центре колеса  $i=3$ , а скорость  $\Delta V_4^s$  в центре - колеса  $i=4$  и соединим концы векторов скоростей штриховой линией. Последняя проходит через полюс трения. Координата последнего  $a_s$  смещена в сторону колеса, на которое приходится большая нормальная нагрузка

$$a_s = 0,5B \frac{N_4 - N_3}{N_4 + N_3}.$$

$$\text{Тогда } \frac{\Delta V_3^\delta}{\Delta V_4^\delta} = \frac{0,5B + a_s}{0,5B - a_s}.$$

Результаты анализа показывают, что при повороте с тяговой нагрузкой трактора с колеей  $B=1,68\text{м}$  в результате догрузки колеса  $i=4$

$a_s = 0,10 \dots 0,15 \text{ м.}$

Угловая скорость поворота тележки в результате скольжения – буксования колес направлена по часовой стрелке  $\omega_{sd} = \frac{\Delta V_3^\delta + \Delta V_3^s}{B + e_3 - e_4}$

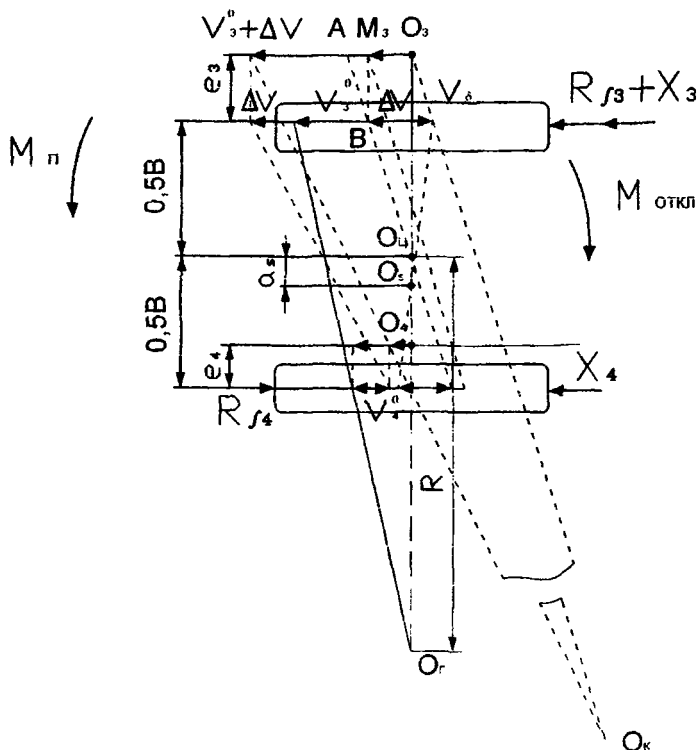


Рис. Кинематика и динамика схема поворота ведущей дифференциальной тележки.

Угловая скорость поворота тележки в результате качения со скольжением и буксованием колес направлена против часовой стрелке

$$\omega_{\pi} = \frac{(V_3 + \Delta V - \Delta V_3^\delta) - (V_4 - \Delta V + \Delta V_4^s)}{B}$$

При сложении скоростей  $V_3$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta V_3^\delta$ ,  $\Delta V_4^s$  образуется новый центр скоростей  $O_k$ . Для нахождения его на рис выполнены необходимые построения. В результате поворота рамы тележки по часовой стрелке внешнее колесо последней получает дополнительное буксование

$$\Delta\delta_3 = \frac{\Delta V_3^\delta}{V_3 + \Delta V}, \text{ а внутреннее – скольжение } \Delta\delta_4 = \frac{\Delta V_4^s}{V_4 - \Delta V}.$$

Полученная расчетная схема используется при построении модели и программы расчета поворота трактора с тяговой нагрузкой.

### **Силы и реакции почвы, действующие на пахотный агрегат на базе мобильного энергосредства.**

**Миранович О. Л.**, канд. техн. наук, **Головач В. М.**, аспирант, БГАТУ, г. Минск

Под мобильным энергосредством понимается средство малой механизации (СММ), работающее с канатной тягой орудия и без нее (рис. 1 и 2).

При прямолинейном установившемся движении и трогании, на СММ в продольной плоскости действуют следующие внешние силы и реакции:  $G$  – вес СММ с продольной координатой  $a$  от центра тяжести до прямой, проведенной через геометрическую ось колес перпендикулярно опорной поверхности,  $V_k$  – нормальные реакции дороги, приложенные к ведущим колесам, смещенные вперед на расстояние  $a_k$  от прямой, проведенной через ось ведущих колес перпендикулярно их опорной поверхности,  $X_k$  – реакции дороги, параллельные опорной поверхности, действующие по направлению движения, равные толкающей силе, приложенной в геометрической оси ведущих колес,  $V_n$  – нормальные реакции дороги, приложенные к ведомым колесам, смещенные вперед на расстояние  $a_n$  от прямой, проведенной через ось ведомых колес перпендикулярно их опорной поверхности,  $X_n$  – реакции дороги, параллельные опорной поверхности, действующие в сторону обратную движению,  $P_{кр.п}$  – тяговое сопротивление сельхозорудия, приложенное в точке  $K$  на глубине  $h_{кр}$  от опорной поверхности. Тяговое сопротивление направлено под углом  $\gamma_{кр}$  к этой поверхности,  $P_j$  – суммарная сила инерции поступательно движущихся масс, возникающая при неравномерной скорости движения и приложенная в центре тяжести СММ,  $P_{кр.я}$  – тяговое усилие в канате, передаваемое якорным устройством,  $V_y$  – нормальные реакции якорного устройства,  $X_y$  – продольная составляющая реакций якорного устройства,  $X_{кр.я}$  – реакции, возникающие в канате под действием силы  $P_{кр.я}$ .

Величина, направление и точка приложения результирующей  $P_{кр.п}$  зависит от характера выполняемой сельскохозяйственной операции, почвенных условий, состояния рабочих органов машины и др. Сложив векторы реакции  $P_{кр.п}$  с весом орудия  $G_n$ , получаем результирующую силу  $P_{кр.п.рез.}$  наклоненную под углом  $\theta$  к опорной поверхности (угол  $\theta = 18...23^\circ$  – для плугов общего назначения). Разложим ее на две составляющие:

- продольную  $P_{кр,x}$ , которую можно рассматривать как тяговое сопротивление машины;

- вертикальную  $P_{кр,y} \cdot \operatorname{tg} \theta$ , которая является результирующей силой веса  $G_n$  и равнодействующей всех вертикальных реакций почвы  $P_{кр,y}$ .

Для СММ в ведущем режиме (без тягового каната) (рис. 1) справедливо:

$$\sum Y = 0; Y_n - G - N - P_{кр,y} - G_n + P_{j,y} = 0;$$

$$\sum X = 0; X_k - P_{кр,x} - P_{j,x} = 0.$$

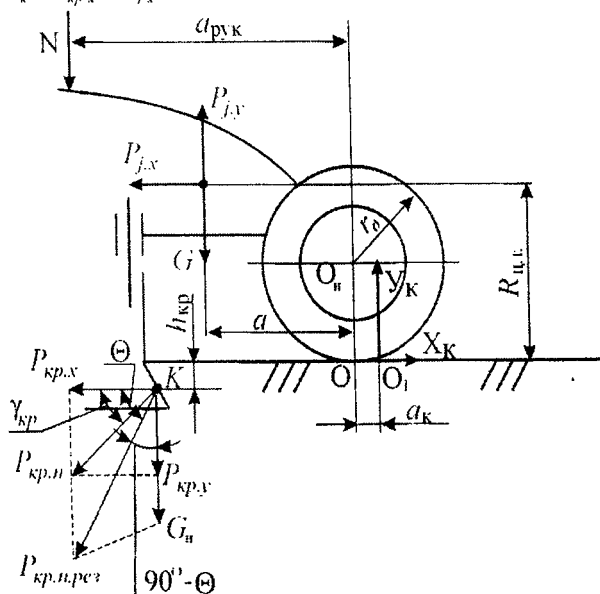


Рис. 1. Силы, действующие на агрегат в ведущем режиме в продольной плоскости

Для СММ в ведомом режиме (с тяговым канатом) (рис. 2) справедливо:

$$\sum Y = 0; Y_n - G - N - P_{кр,y} - G_n + P_{j,y} = 0;$$

$$\sum X = 0; P_{кр,y} - X_n - P_{кр,x} - P_{j,x} = 0.$$

Для якорного устройства (рис. 2) справедливо:

$$\sum X = 0; X_n - X_{кр,y} = 0;$$

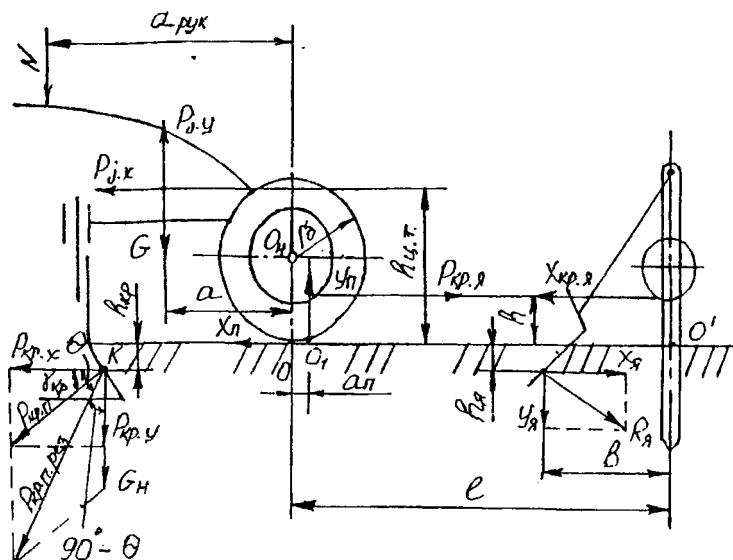
$$\sum M_{O'} = 0; -X_{я}h_{я} - Y_{я}b - X_{кр,y}h = 0$$

Тогда в общем случае:

$$Y_k = Y_n = G + N + P_{кр,y} + G_n - P_{j,y};$$

$$X_k = P_{кр,y} + P_{j,x};$$

$$Y_{\text{я}} = \frac{-X_{\text{кр.я}} h - X_{\text{я}} h_{\text{я}}}{b};$$

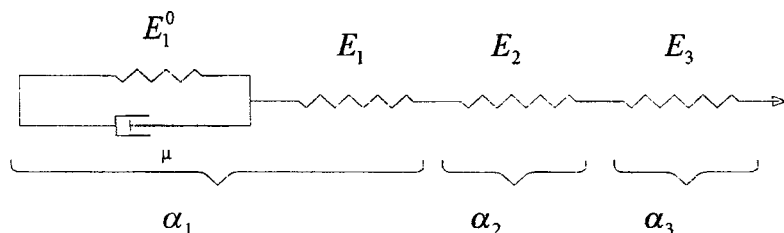

$$Y_K = Y_n = G + N + P_{\text{кп.х}} \operatorname{tg} \theta + G_{\text{н}} - P_{\text{л.в}};$$

Таким образом, реакции приложенные к опорным поверхностям СММ в ведущем режиме зависят от веса СММ и сельхозорудия, нормального усилия на рукоятках управления, тягового сопротивления сельхозорудия; в ведомом – дополнительно: от высоты подвеса каната, тягового усилия якорного устройства, жесткости каната и опоры, удлинения каната и т.д.

## Влияние пористости почвы на ее деформацию при динамических нагрузках

**Чигарев Ю. В.**, докт. физ.-мат. наук, профессор, **Романюк Н.Н.**, БГАТУ, г. Минск, **Нововойский Р.**, Щетинская с/х академия, г. Щетин, РП

Для описания законов неупругого сопротивления почв часто используются реологические модели Фойгта или Максвелла. В случае динамического нагружения данные модели имеют недостатки. Среда Фойгта в момент приложения ударной (динамической) нагрузки ведет себя как несжимаемая, а среда Максвелла при действии стационарной нагрузки неограниченно деформируется. Для решения волновых задач наиболее подходит модель обобщенной вязкоупругой среды. Так как уплотнение почвы происходит за счет переупаковки жидких и твердых частиц, то модель почвы в общем случае можно рассматривать как 3-х фазную среду, состоящую из твердой, жидкой и газообразной фаз (рис.).



В одномерном случае относительная деформация единичного объема почвы будет:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot \alpha_1 + \varepsilon_2 \cdot \alpha_2 + \varepsilon_3 \cdot \alpha_3 \quad (1)$$

где:  $\varepsilon_i, \alpha_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) - относительная деформация и концентрация объемов газообразной, жидкой и твердой фаз соответственно. Так как давление пневматических колес на почву менее 1 МПа, то объемы твердой и жидкой фаз можно считать несжимаемыми, т.е.  $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$

Тогда полная деформация единичного объема будет:

$$\varepsilon = \alpha_1 \cdot \varepsilon_1 \quad (2)$$

Газообразная фаза почвы характеризуется наличием в ней пор (пористостью).

Связь между напряжением и деформацией в любой момент времени для обобщенной вязкоупругой среды будет иметь вид:

$$\mu \cdot \varepsilon_1 + \dot{\varepsilon}_1 = \frac{\dot{\sigma}}{E_{\mu}} + \frac{\mu \cdot \sigma}{E_c}, \quad (3)$$

где:  $\varepsilon_1$  - деформация пружины;

$\sigma$  - нормальное напряжение;

$E_d$  - динамический модуль упругости пружины  $|E_1|$

$E_1^0$  - модуль упругости пружины  $|E_1^0|$ ;

$\dot{\varepsilon}_1^0$  - скорость распространения деформации;

$\eta$  - коэффициент вязкости.

$\dot{\sigma}$  - скорость распространения напряжения;

$E_c = \frac{E_d \cdot E_1^0}{E_d + E_1^0}$  - статический модуль упругости;

$\mu = \frac{E_d \cdot E_c}{(E_d - E_c) \cdot \eta}$  - параметр вязкости.

Нагрузка, действующая на движитель, определяется по формуле:

$$Q(t) = P + G(t), \quad (4)$$

где  $G(t) = P_0 \cdot \sin \omega \cdot t$ ;

$P$  - статическая (постоянная) нагрузка;

$G(t)$  - динамическая составляющая нагрузки, образованная дисбалансами вращающихся узлов машин и колебательным движением орудий.

В зоне контакта движителя с почвой напряжение изменяется:

- при синусоидальном нагружении:

$$\sigma = 0 \quad \text{при} \quad t \leq 0; \\ \sigma = \sigma_m \cdot \sin \omega \cdot t \quad \text{при} \quad 0 \leq t \leq \infty, \quad (5)$$

- при ударном нагружении:

$$\sigma = \sigma_m (1 - t / \Theta) \quad \text{при} \quad 0 \leq t \leq \Theta; \\ \sigma = 0 \quad \text{при} \quad 0 \geq t, t \geq \Theta. \quad (6)$$

Решая совместно (3) и (5), а также (3) и (6), находим изменение деформации почвы:

- при синусоидальном нагружении:

$$\varepsilon_1(t) = \frac{K}{\omega^2 + \mu^2} \cdot (\omega \cdot \sin \omega \cdot t + \mu \cdot \cos \omega \cdot t) + \\ + \frac{L}{\omega^2 + \mu^2} (\mu \cdot \sin \omega \cdot t - \omega \cdot \cos \omega \cdot t) + C e^{-\mu \cdot t} \quad (7)$$

$$\text{где: } C = \frac{\sigma_m}{E_d} + \frac{L \cdot \omega}{\omega^2 + \mu^2} - \frac{K \cdot \mu}{\omega^2 + \mu^2}; K = \frac{\sigma_m \cdot \omega}{E_d}; L = \frac{\mu \cdot \sigma_m}{E_s}.$$

- при ударном нагружении:

$$\varepsilon_1(t) = -\frac{D}{\mu} - \frac{B}{\mu^2}(\mu \cdot t - 1) + M e^{-\mu t}, \quad (8)$$

$$\text{где: } M = \frac{\sigma_m}{E_d} + \frac{D}{\mu} - \frac{B}{\mu^2}, B = \frac{\mu \cdot \sigma_m}{\Theta \cdot E_c};$$

$$D = \frac{\sigma_m}{\Theta \cdot E_d} \cdot \left( 1 - \frac{E_d}{E_c} \cdot \mu \cdot \Theta \right).$$

Задавая различные величины концентрации объемов  $\alpha_1$  по формулам (2), (7) и (8), можно проследить, как влияет пористость почвы на ее деформацию при различных видах нагрузок.

### Влияние статических и динамических нагрузок на изменение структуры почвы

**Чигарев Ю. В.**, докт. физ.-мат. наук, профессор, **Романюк Н. Н.**, БГАТУ, г. Минск, **Костенский П.**, Щетинская с/х академия, г. Щетин, РП

Производство продуктов растениеводства неразрывно связано с обработкой почвы, с воздействием движителей и рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву. В результате воздействия изменяются физико-механические свойства почвы: плотность, твердость, пористость; изменяется ее структурный состав. В верхних слоях происходит уничтожение гумусообразующих живых веществ.

Агрономически ценной является только такая структура, которая обеспечивает почвенное плодородие. С этой точки зрения ценной частью почв считают агрегаты размером от 0,25 мм до 10 мм. Поэтому одним из резервов повышения производства сельскохозяйственной продукции является снижение уплотняющего воздействия на почву ходовых систем машинно-тракторных агрегатов (МТА).

Основным фактором, влияющим на уплотнение почвы, является давление ходовой системы, зависящее от типа движителя, давления воздуха в шине, скорости движения МТА, типа почвы, рельефа поверхности, статических и динамических нагрузок. С ростом массы машинно-тракторных агрегатов и их рабочих скоростей, значительно увеличиваются динамические нагрузки на почву, превосходящие статические в несколько раз, что вызы-

вает дополнительное уплотнение почвы, а также нарушение ее структуры. Динамические нагрузки ведут к сдвигу, переупаковке частиц почвы, разрушают ее структуру, увеличивают количество пылевидных фракций.

Применявшиеся до сих пор методы исследования физико-механических свойств почв уже не могут удовлетворять новому уровню исследований. Необходимо разработать такие методы исследований, которые будут учитывать время и скорость воздействия на почву ходовых систем: моделирование явлений и прогнозирование процессов уплотнения на разных почвах с учетом их реологических свойств, позволяющих учитывать скорости протекания деформации и прогнозирование ее величины.

С целью сравнения изменения гранулометрического состава почвы, представленной в виде реологической модели обобщенной вязкоупругой среды, от статических и динамических нагрузок были проведены сравнительные опыты. В процессе анализа определяли процентное содержание всех структурных соединений почвы различной величины в трех случаях:

1. до воздействия;
2. при статическом воздействии;
3. при динамическом воздействии.

Брали навеску почвы и просеивали ее на стандартных ситах с определенными отверстиями с последующим взвешиванием полученных отдельных фракций. Для сухого просеивания брали навеску воздушно-сухой почвы массой не менее 0,5 кг. После просеивания фракцию структурных комочков с каждого сита взвешивали на технических весах и вычисляли ее процент во взятой навеске при разных воздействиях.

Сравнивая показатели изменения структуры почвы, следует отметить:

1. Статическое и динамическое воздействие ведет к увеличению процентного содержания фракций размером менее 0,25 мм.
2. При динамическом воздействии процентное содержание фракций размером менее 0,25 мм значительно больше, чем при статическом.
3. Поскольку, количество фракций размером менее 0,25 мм значительно увеличивается, а они наиболее подвержены сдвигу, а, следовательно, водной и ветровой эрозии, все это приведет к уменьшению плодородия почвы.

### **Сравнительный анализ способов заготовки силосованных кормов с внесением консервантов**

**Кузьмицкий А. В., Дремук В. А., БГСХА, г. Горки**

Одним из путей снижения себестоимости продукции животноводства является применение высокопитательных силосованных кормов, способных в значительной степени уменьшить потребление дорогостоящих кон-

центратов. В Финляндии, например, на основе консервированного корма из многолетних трав разработана система кормления крупного рогатого скота под названием "Фармлайн". В её основе – высокое содержание в рационе силоса с консервантами и низкое – концентратов. При удое 5000 кг молока в год такая система позволяет расходовать зерна в 1,4 раза, а белковых концентратов – в 6,4 раза меньше.

Для решения проблемы сохранности кормов конкурируют два направления:

- заготовка силоса в траншейных силосохранилищах с внесением консервантов;
- применение "плёночных" технологий с обмоткой тюков проявленной растительной массы специальной плёнкой, а также заготовка силоса в плёночные рукава.

Для силосования тюков способом обмотки применяют специальные плёнки. Тюк обматывают минимум в 4 слоя. Защитные плёнки состоят из полиэтилена, красящего вещества, ультра-фиолетового стабилизатора, а также клеящего вещества. Эта плёнка толщиной 0,025 мм или 0,03 мм и шириной 50, 70 или 75 см специальным приспособлением на обмоточной машине растягивается на 55...70 %, прежде чем ею обматывают тюк. Предварительное напряжение обеспечивает плотное прилегание плёнки к тюку.

Для обмотки отдельных тюков имеются обмоточные машины различной конструкции

При больших объёмах заготовки используют прицепные машины, так как для их привода применяются трактора малой мощности и их можно использовать прямо на поле.

Если обмотку требуется вести на ходу, то необходимы энергонасыщенные тракторы с большой грузоподъёмностью и нагрузкой на переднюю ось, чтобы поднять и перемещать тюк весом 500...800 кг.

Сбор тюков производится либо фронтальным погрузчиком с подъёмными вилами, либо гидравлическим подъёмником в соединении с опрокидывающимся столом или гидравлически регулируемым несущим столом.

У машин с неподвижным держателем плёнки тюк вращается на специальном столе. У машин с вращающейся обмоточной рамкой тюк вращается только вокруг одной оси.

Снятие обмотанного тюка происходит путём гидравлического опрокидывания стола или же путём раздвижения несущего стола. Если эти машины навешиваются на колёсный погрузчик, то обмотанные тюки могут складироваться без специальных захватов.

Для небольших (фермерских) хозяйств с площадью до 60 га наиболее рационально использовать измельчитель, пресс для прямоугольных тюков и привлечённый полуприцеп-погрузчик. При больших площадях свои прицепы могут конкурировать с привлечёнными. Для того чтобы в своём хо-

зайстве вести заготовку силоса в круглых рулонах требуется площадь примерно 100 га, что соответствует примерно 1400...1600 рулонов в год. Если для тюкования привлекается привлечённая техника (механизированные отряды) при обмотке плёнкой круглых и прямоугольных тюков, что составляет затраты в 11 у.е. на 1 тюк ( $1,4 \text{ м}^3$ ), то это обходится дороже, чем обмотка своими силами.

Использование полуприцепов-погрузчиков при значительном расстоянии от поля до хранилища становится нерентабельным, так как большая часть времени затрачивается на транспортные работы.

Силосование тюков в длинный плёночный рукав собственными средствами механизации выгодно, если уборочная площадь составляет 80...100 га.

Основным направлением остается заготовка сенажа и силоса в траншейных силосохранилищах. Преимущества такой технологии: использование уже имеющихся хранилищ, снижение расхода плёнки по сравнению с рулонной технологией в 14 раз, высокая производительность уборочного комплекса (до 600 т/сут и выше), снижение приведенных затрат в 1,5 раза, расхода топлива в 1,3 раза, экономия до 30% консервантов. Например, в Германии в среднем 60...65% силосованных кормов заготавливается в наземных траншейных хранилищах с передвижными боковыми стенками и лишь 20...25% – по рулонной технологии.

Таким образом рациональное применение двух указанных технологий позволяет минимизировать затраты на заготовку силосованного корма и обеспечить, в зависимости от размера хозяйств, снижение себестоимости продукции животноводства.

### **Математическое моделирование процесса МАО мелкомодульных зубчатых колес**

**Ящерицын П. И., Сергеев Л. Е., Миронов А. М., ФТИ НАН Беларуси,  
БГАТУ, г. Минск, Беларусь**

В связи с возрастающими требованиями к повышению качества и производительности процесса обработки деталей машин всё больше ощущается необходимость применения новых способов финишных операций. Одним из таких методов является магнитно-абразивная обработка (МАО). При обработке гладких цилиндрических поверхностей картина магнитного поля в рабочей зоне электромагнитной системы (ЭМС) относительно изучена. Это нельзя сказать о прерывистой поверхности, поскольку магнитный поток в этом случае имеет сложное распределение. Одним из вариантов прерывистой поверхности является зубчатое колесо, широко применяемое в машиностроении. Для качественной финишной обработки этих деталей

необходимо знать распределение магнитной индукции в рабочей зоне, поскольку она является основной силовой характеристикой. Предпочтительным является математический путь решения задачи, дающий общие формулы для расчёта поля. Это позволяет определить с достаточной степенью точности распределение магнитной индукции. Исследование проводится между полюсным наконечником ЭМС и зубчатой поверхностью колеса. Для конформного отображения этого применяется интеграл Кристоффеля-Шварца. Решение интеграла Кристоффеля-Шварца для данного случая после ряда преобразований имеет вид:

$$\frac{P}{2d} = \frac{1}{\pi} \left\{ \ln(1 - \beta) - t \ln(t\beta - 1) + \frac{1}{2} [t \ln(1 + t\beta + t^2 \beta^2) - \ln(1 + \beta + \beta^2)] \right\} + \\ + \sqrt{3} \left( \operatorname{arctg} \frac{2 + t\beta}{\sqrt{3}t\beta} - \operatorname{arctg} \frac{2 + \beta}{\sqrt{3}\beta} \right) + \frac{\sqrt{3}}{2} (1 - t)$$

где  $t = \sqrt{a} = \frac{h}{b}$ ;  $\beta = \frac{B}{B_{\max}} = \frac{H}{H_{\max}} = \sqrt[3]{\frac{Q+1}{Q+t^3}}$ . (  $B, H$  – индукция и на-

пряжённость магнитного поля соответственно,  $\beta$  – относительная индукция ),  $P$  – шаг зубчатого колеса,  $h$  – глубина паза от полюса до окружности впадин зубчатого колеса,  $b$  – зазор между полюсом и окружностью вершин зубчатого колеса. Задаваясь значениями относительной индукции  $\beta$  можно определить соответствующие значения  $P/2b$  при разных  $\beta$ . При  $t=20$  (поскольку это более приемлемое условие обработки, методом МАО), преобразовав  $P/2b$  как  $m\pi/2b$  ( $m$ -модуль зубчатого колеса), при  $m\pi/2b \geq 15$ , имеем, что  $\beta \rightarrow 0$ . Принимая  $b=1$  мм, получим  $m \leq 2,5$  мм.

Проведённый расчёт подтверждает возможность магнитно-абразивной обработки зубчатых колёс. На основании этого расчёта были обработаны колёса с  $m=2,5$  мм с достижением требуемых эксплуатационных характеристик.

### Моделирование свойств почвы, обработанной комбинированным агрегатом

Орда А.Н., докт. техн. наук, Гирейко Н.А., аспирант, БГАТУ, г. Минск

Со времени появления первых тракторов и до сегодняшнего дня существовала и существует проблема воздействия машинно-тракторных агрегатов (МТА) на почву. Сегодня внимание акцентируется на экологической стороне данного вопроса. Экологический ущерб, вызванный переуплотнением почвы при принятых схемах почвообработки, проявляется, в основном, в процессах водной и ветровой эрозии. В результате нитраты, пестициды, соли тяжелых металлов с полей попадают в водоемы, вызывая их за-

грязнение и приводя к гибели водной флоры и фауны. Кроме того, под колесами МТА гибнут живущие в почве животные.

Помимо указанных экологических следствий переуплотнения почвы, следует отметить некоторые экономические аспекты указанной проблемы.

Обработка переуплотненной почвы требует дополнительных затрат на топливо и ремонт МТА, в некоторых случаях требуется проведение дополнительных почвообрабатывающих операций (дробление глыб почвы, проведение рыхления почвы в следах МТА). Уплотненная почва представляет собой неблагоприятную среду для развития культурных растений, вследствие чего сельское хозяйство несет убытки, связанные с недобором или ухудшением качества продукции.

Из большого разнообразия предлагаемых способов снижения негативного воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву наибольшее внимание заслуживает применение комбинированных почвообрабатывающих агрегатов. Совмещение нескольких операций, наряду со значительной экономией средств (на ГСМ, ремонт МТА, оплату труда), позволяет в несколько раз уменьшить количество проходов агрегатов по полю.

Несмотря на то, что в настоящее время имеется достаточно большое количество работ посвященных вопросам применения комбинированных агрегатов, в них внимание сосредоточено, в основном, на технических характеристиках указанных агрегатов или на экономических результатах их использования.

Авторы данной работы считают, что воздействию комбинированных агрегатов на почву, как на экологическую систему следует уделять больше внимания. Необходимо обосновать наиболее рациональную, с точки зрения экологичности и качества обработки почвы, компоновку комбинированного почвообрабатывающего агрегата и наиболее рациональные характеристики составляющих его рабочих органов.

Так как почва в некоторой мере обладает упругими свойствами, то ее относительная деформация и плотность после воздействия со стороны ходовой системы энергетического средства, является функцией времени (почва частично восстанавливает свою первоначальную плотность). Указанная зависимость выражается формулой:  $\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot e^{-t/\tau}$ ,

где  $\varepsilon_1$  — относительная деформация почвы в конце периода нагружения;  $\tau$  — время запаздывания деформации, с;  $t$  — время, прошедшее после деформирования почвы, с.

Это говорит о том, что имеет смысл при проектировании комбинированных агрегатов учитывать расстояние от энергетического средства до рабочих органов или соответствующим образом корректировать скорость движения агрегата с учетом почвенных условий.

Указанные мероприятия позволяют снизить энергоемкость процесса обработки почвы и, кроме этого, влияют на структуру и гранулометрический состав обработанной почвы.

Для моделирования взаимодействия рабочих органов комбинированного агрегата с почвой могут быть использованы известные реологические модели Фойгта и Максвелла, а также закономерности изменения параметров почвы при многократном нагружении. Оценку качества обработки можно производить по данным ситового анализа, используя уравнение Розина-Раммлера в форме кумулятивной характеристики по плюсу:

$$R = 100e^{-\left(\frac{x}{x_e}\right)^n},$$

где  $R$  – суммарный выход частиц крупнее размера  $x$ ;  $x$  – текущий размер частиц;  $x_e$  – размер частиц, крупнее которого оказывается 36,8 % материала;  $n$  – показатель, характеризующий рассеяние частиц по крупности.

Таким образом возможно моделировать физико-механические свойства почвы после прохода энергетического средства с комбинированным агрегатом, используя в качестве входных параметров расстояние от энергосредства до комбинированного агрегата, взаимное расположение рабочих органов в самом агрегате и скорость движения машинно-тракторного агрегата, а в качестве выходного параметра, по которому оценивается качество обработки, – гранулометрический состав почвы.

### **Определение величины потерь пестицидов при обработках в ветреную погоду**

**Крук И. С., канд. техн. наук, БГАТУ, Минск**

При опрыскивании сельскохозяйственных культур в ветреную погоду возрастают потери гербицидов из-за сноса. Это связано с тем, что капли раствора, вылетев из сопла распылителя, через малый промежуток времени достигают постоянной конечной скорости, которая зависит от их размеров. Если скорость ветра превосходит конечную скорость падения капли на обрабатываемую поверхность, то она сносится воздушным потоком и не попадает на объект обработки.

Эффективность применения пестицидов зависит не только от технического состояния машины, умелой ее эксплуатации, но и сроков, способов и качества их внесения. Отклонение от сроков внесения может быть вызвано ветреной погодой. При этом период внесения пестицидов ограничен агротехникой возделывания. Поэтому при проведении операций химической защиты посевов (посадок) может возникнуть вариант выбора: либо, соблюдая установленные сроки внесения, проводить обработки в ветреную

погоду, либо, зная величину потерь из-за сноса в данных условиях, ждать улучшения погодных условий. Чтобы теоретически определить величину сноса рабочего раствора ветром, необходимо иметь математические зависимости для различных типов распылителей.

Основными факторами, определяющими величину потерь являются: отношение давления в пневматической напорной магистрали к давлению в

жидкостной  $\frac{p_a}{p_w}$  (для пневматического распылителя с внутренним смешиванием потоков) и давление в жидкостной напорной магистрали  $p_w$  (для гидравлических распылителей), расстояние между выходным отверстием распылителя и обрабатываемым объектом, определяемое высотой установки над поверхностью гребня и углом наклона распылителя  $\alpha$ , скорости  $\vartheta_e$  и направления ветра  $\beta$ .

В результате проведенных исследований были получены математические модели, определяющие величину сноса рабочей жидкости (Sn,%) при работе гидравлических щелевых (1) и пневматических с внутренним смешиванием потоков (2) распылителей.

$$\begin{aligned} Sn = & 44,7548 - 78,3556 \cdot p_w - 0,3197 \cdot \alpha - 10,2271 \cdot \vartheta_e + 0,1073 \cdot \beta + \\ & + 264,3211 \cdot p_w^2 + 0,0097 \cdot \alpha^2 + 3,2807 \vartheta_e^2 + 0,0001 \cdot \beta^2 + \\ & + 0,3396 \cdot p_w \cdot \alpha + 9,9375 \cdot p_w \cdot \vartheta_e - 0,2417 \cdot p_w \cdot \beta + 0,1023 \cdot \alpha \cdot \vartheta_e - \\ & - 0,0013 \cdot \alpha \cdot \beta - 0,0414 \cdot \vartheta_e \cdot \beta. \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Sn = & 40,7221 - 15,1206 \cdot \frac{p_a}{p_w} - 0,4243 \cdot \alpha - 10,9363 \cdot \vartheta_e + 0,1645 \cdot \beta + \\ & + 6,2706 \cdot \frac{p_a^2}{p_w^2} + 0,0071 \cdot \alpha^2 + 2,7051 \vartheta_e^2 + 0,0004 \cdot \beta^2 + \\ & + 0,1071 \cdot \frac{p_a}{p_w} \cdot \alpha + 2,5813 \cdot \frac{p_a}{p_w} \cdot \vartheta_e - 0,0588 \cdot \frac{p_a}{p_w} \cdot \beta + 0,1148 \cdot \alpha \cdot \vartheta_e - \\ & - 0,0018 \cdot \alpha \cdot \beta - 0,0490 \cdot \vartheta_e \cdot \beta. \end{aligned} \quad (2)$$

Анализируя полученные зависимости следует отметить, что (рис. 1):

- при увеличении отношения давления в пневматической к давлению в жидкостной напорной магистрали доля снесенной жидкости также увеличивается. Это объясняется тем, что происходит изменение дисперсности распыла, то есть в факеле распыла становится больше мелких капель, которые легко сносятся ветром.

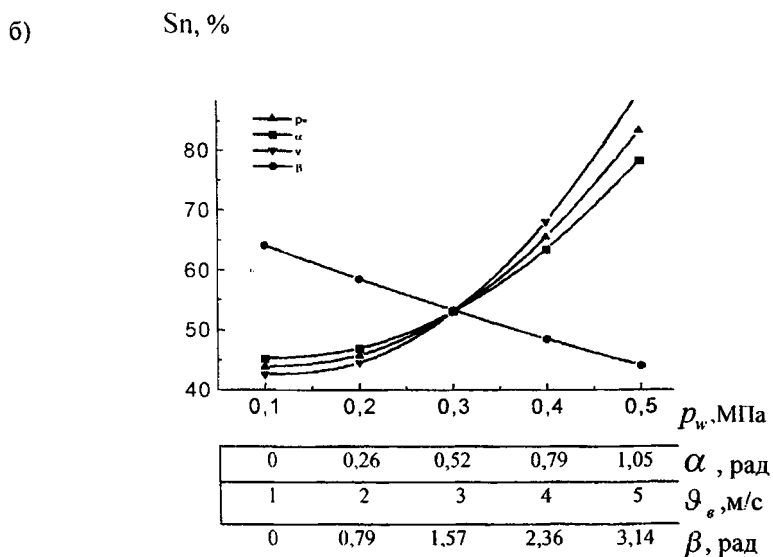
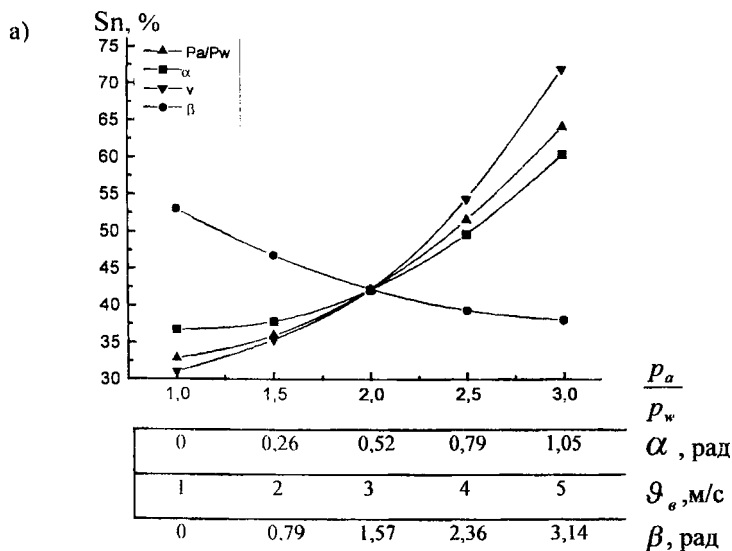


Рис. 1. Зависимость доли снесенной жидкости от влияния основных факторов при использовании пневматических (а) и гидравлических (б) распылителей

- при увеличении угла установки распылителя  $\alpha$  (при неизменной высоте) процент снесенной жидкости возрастает вследствие увеличения

расстояния до обрабатываемого объекта, которое растёт обратно пропорционально косинусу данного угла и определяет конечную скорость падения капли. При этом также играет роль условие, что с увеличением расстояния до обрабатываемого объекта уменьшается диаметр капель в факеле распыла вследствие додрабливания их воздухом окружающей среды.

- при изменении направления ветра  $\beta$  снос препарата снижается. Это объясняется тем, что изменяется направление и величина вектора результирующей скорости, равного сумме векторов скорости ветра  $\mathcal{G}_a$  и поступательной скорости движения капель.
- увеличение скорости ветра приводит к резкому росту доли снесенной жидкости, так как расширяется промежуток дисперсности распыла, в пределах которого большее количество капель имеют конечную скорость падения меньше скорости ветра.

### **Определение порога разрушающего воздействия воздушно-капельной струи на обрабатываемый объект при проведении операций химической защиты растений**

Крук И. С., канд. техн. наук, БГАТУ, г. Минск

Предположим, что капля жидкости, имеющая массу  $m_k$ , падает на поверхность со скоростью  $\mathcal{G}_k$ , тогда уравнение сохранения количества движения запишется как  $m_k \cdot \mathcal{G}_k = F \cdot t$ , (1)

где  $F$  - сила удара капли;  $t$  - время, в течение которого длится удар;

Так как продолжительность неупругого удара  $t = k \frac{d_k}{\mathcal{G}_k}$ , а упругого -

$t = \frac{2 \cdot d_k}{\mathcal{G}_{yb}}$ , то для случаев, когда распылитель наклонен к обрабатываемо-

му объекту (рис.1), зависимость (1) примет вид

- для неупругого удара капель

$$F_n = \frac{\rho_w \cdot \pi}{6 \cdot k} \mathcal{G}_k^2 \cdot d_k^2 \cdot \left( \cos \frac{\gamma}{2} \cdot \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \theta \right); \quad (2)$$

- для упругого удара капель;

$$F_d = \frac{\rho_w \cdot \pi \cdot \mathcal{G}_{oa}}{12} \mathcal{G}_e \cdot d_e^2 \cdot \left( \cos \frac{\gamma}{2} \cdot \sin \alpha + \sin \alpha \cdot \cos \theta \right), \quad (3)$$

где  $d_e$  - диаметр капли;  $k$  - коэффициент пропорциональности, равный 0,5;  $\mathcal{G}_{ув}$  - скорость распространения упругих волн в капле;  $\rho_w$  - плотность воды;  $\gamma$  - угол при вершине факела распыла;  $\theta$  - угол между осью  $OX$  и проекцией силы факела распыла на плоскость  $XOY$  (рис. 1).

Струе для достижения предела разрушающего воздействия необходимо преодолеть силы упругости и инерции объекта обработки. Учитывая различную прочность по направлениям, В.П.Горячкин предложил математические зависимости критической скорости удара, приводящей к разрушению

$$\mathcal{G}_{прод.кр} = \sigma_1 \sqrt{\frac{g}{E \cdot \gamma_0}}, \quad \mathcal{G}_{поп.кр} = \sigma_2 \sqrt{\frac{g}{G \cdot \rho_0}}, \quad (4)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  - соответственно предельные напряжения в продольном и поперечном направлениях;

$G, E$  - модули сдвига и упругости обрабатываемого объекта;

$\gamma_0, \rho_0$  - удельный вес и плотность обрабатываемого объекта.

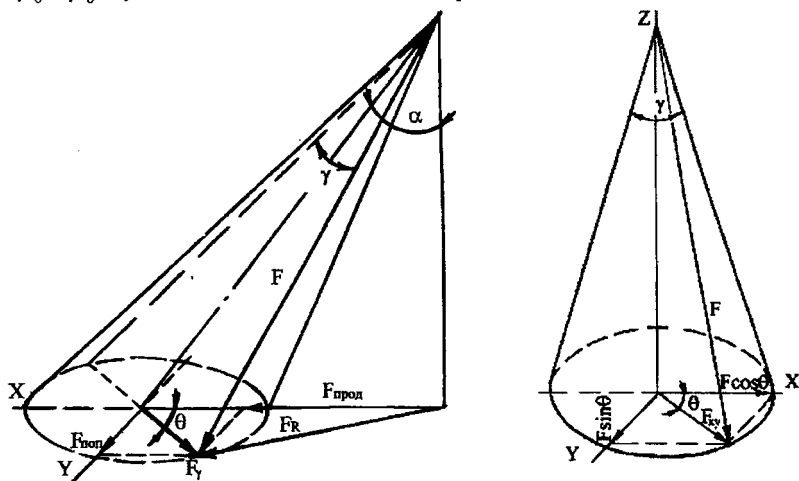


Рис. 1. Проекция сил на плоскость  $XOY$  при установке распылителя под углом  $\alpha$ .

Поэтому условие прочности примет вид

$$\overline{\mathcal{G}}_{прод.кр} + \overline{\mathcal{G}}_{поп.кр} \geq \overline{\mathcal{G}}_к + \overline{\mathcal{G}}_а \geq \overline{\mathcal{G}}_в, \quad (5)$$

где  $\mathcal{G}_а, \mathcal{G}_в$  - соответственно скорость воздушной составляющей струи и ветра.

Так как в справочной литературе даны не критические скорости разрушения объекта, а допустимые нагрузки или давление, то конечная зависимость должна определять данные величины. Исследуя параметры воздушно-капельной струи, применив математические преобразования к сложению продольных и поперечных сил и учитывая равенство  $p = F \cdot S$ , были получены уравнения прочности для определения разрушающего воздействия воздушно-капельной струи на обрабатываемый объект:

- для неупругого удара каплей

$$p_n = \frac{\cos \frac{\gamma}{2} \cdot \sin \alpha \pm \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \theta}{g} \times \\ \times \sqrt{\frac{\gamma_w^2 \cdot \pi^2}{36 \cdot k^2 \cdot S_\phi^2} g_k^4 \cdot d_k^4 + \gamma_a^2 \cdot g_a^4 + \frac{\gamma_w \cdot \gamma_a}{3 \cdot k \cdot S_\phi^2} \cdot \pi \cdot g_k^2 \cdot g_a^2 \cdot d_k^2 \cdot \cos \psi} \leq [p]$$

- для упругого удара каплей

$$p_y = \frac{\cos \frac{\gamma}{2} \cdot \sin \alpha \pm \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \theta}{g} \times \\ \times \sqrt{\frac{\gamma_w^2 \cdot \pi^2}{144 \cdot S_\phi^2} g_k^2 \cdot g_{ye}^2 \cdot d_k^4 + \gamma_a^2 \cdot g_a^4 + \frac{\gamma_w \cdot \gamma_a}{6 \cdot S_\phi} \pi \cdot g_k \cdot g_{ye} \cdot g_a^2 \cdot d_k^2 \cdot \cos \psi} \leq [p]$$

где  $S_\phi$  — площадь сечения факела распыла в момент соприкосновения с поверхностью.

Из полученных зависимостей установлено, что для песчаных почв критическая высота установки пневматического распылителя с внутренним смешиванием потоков в зависимости от входных параметров находится в пределах 12...18 см, а для суглинистых — 9...14.

### Исследование по объемному сжатию почв

Каминский Э., Чигарев Ю. В., докт. физ.-мат. наук, профессор., Коротченко А. С., аспирант, Глевитский, В. Г., канд. с/х наук, БГАТУ, г. Минск

При выборе приемов обработки почв необходимо учитывать плотность, механический состав и физическую спелость почвы, ее удельное сопротивление при вспашке.

Исследования многих ученых показали, что наивысшей продуктивности культурные растения достигают при оптимальной плотности той или иной почвы, которая колеблется в интервале 1,1-1,3 г/см<sup>3</sup>.

Переуплотнение почв это отрицательный фактор, влияющий на ее плодородие, урожайность культур, экологию агроландшафтов. Наряду с известными методами снижающими уплотнение почвы, особый интерес вызывают исследования по оценке несущей способности почвы в зависимости от концентрации поукосных и корневых остатков на поле.

Удельное давление, при котором небольшое приращение нагрузки вызывает значительный рост деформации почвы, называется ее несущей способностью. Несущая способность почвы зависит от ее структуры, влажности, плотности и концентрации пожнивных и корневых остатков. Пожнивные остатки могут быть поверхностными и заделанными в почву. Параметром, определяющим несущую способность почвы, может быть давление, оказываемое сельскохозяйственным деформатором на почву.

В случае сжатия полупространства деформатором (штампом) выделенный объем почвы сжимается в направлении большего из действующих напряжений и расширяется в перпендикулярных ему направлениях. Так как расширению объема препятствует сопротивление окружающей его почвы, то деформация сжатия фактически происходит при ограничении возможности бокового расширения. В связи с неопределенностью этого вида деформации можно рассматривать деформацию почвы при двух возможных случаях - при свободном боковом расширении и при полной невозможности последнего.

В лабораторных условиях испытание образцов почвы на сжатие происходит в жестком металлическом кольце (бюксе, стакане). При этом на стенки кольца действует давление, которое характеризуется коэффициентом бокового давления  $K$ . Коэффициент бокового давления для почв без пожнивных остатков, составляет примерно: пески - 0,40, суглинки - 0,60, глины - 0,70.

Опыты показывают, что фактическая величина бокового давления, оказываемой сжимаемой почвой на жесткие стенки зависит от внутренних сил связности, действующих в почве.

Проведенные исследования показали, что пожнивные остатки играют значимую роль в оценке несущей способности почвы.

Лабораторные испытания на почвенных образцах показали, что пожнивные остатки понижают коэффициент бокового расширения (сдвига) почвы. Особенно, это заметно когда пожнивные остатки находятся на поверхности образца. В этом случае при одной и той же вертикальной нагрузке коэффициент бокового сдвигания снижается в среднем на 3% при  $P = 0,2$  МПа и на 7% при  $P = 0,8$  МПа. Установлено, что предварительно уплотненные супесчаные почвы с пожнивными остатками так же имеют коэффициент бокового давления меньше, чем почвы без пожнивных остат-

ков. Так при вертикальной нагрузке  $P = 1,6$  МПа боковое давление с перемешанными пожнивными остатками равно 0,2МПа, а без пожнивных остатков равно 0,5МПа. Предварительно увлажненные до 30% дерново-подзолистые суглинистые почвы, в структуру которых включены пожневные остатки, уменьшают на 4-7% коэффициент бокового давления по сравнению с почвами той же влажности без пожнивных остатков. Установлено, что пожневные остатки включенные в структуру почвы изменяют ее пористость в сторону увеличения на 1-3%, что положительно сказывается на биологической активности почвы.

### **Включение муфты ВОМ при разгоне АРО с/х машин**

**Солонский М. А., Силкович Ю. Н.,** канд. техн. наук, доценты, **Рубацкий С. П.,** БГАТУ, г. Минск

У большинства с/х машин суммарный момент инерции вращающихся деталей соизмерим с моментом инерции маховика двигателя. Поскольку режимы включения ВОМ при выполнении с/х операций не единичные явления, например, при уборке кукурузы на силос комбайном КС – 2,6 число включений ВОМ за один час составляет более 14 раз. То проблема снижения динамических нагрузок в приводе МТА при переходных процессах имеет важное значение. Снижения динамических нагрузок и повышения производительности агрегата добиваются за счёт уменьшения этих нагрузок путём применения кусочно – линейной аппроксимации закона включения вала отбора мощности. Энергетические показатели двигателя снижаются с увеличением значения момента сопротивления на активных рабочих органах, что ведёт к уменьшению производительности МТА. При жёсткости привода ВОМ уборочного агрегата (трактор МТЗ – 80 + силосоуборочный комбайн КСС – 2) менее 250 и более 500 Нм/рад на валу двигателя возникают динамические нагрузки.

Принята четырёхмассовая модель системы «двигатель – АРО сельхозмашины», вычлененная из состава тракторного агрегата с учётом всех наиболее существенных связей при разгоне АРО сельхозмашины. Она позволяет характеристику ДВС и закон включения муфты представить в виде кусочно-непрерывной функции при неограниченном количестве линейных участков.

Наряду с линейным законом включения фрикционного устройства при оценке его нагруженности при переходных процессах используются также нелинейные законы включения по вогнутой, выпуклой, выпукло-вогнутой и вогнуто-выпуклой кривой.

Особенностью переходных процессов тракторных агрегатов с активными рабочими органами состоит в том, что к нагрузкам от сил сопротивле-

ния добавляются инерционные нагрузки, которые могут способствовать снижению угловой скорости коленчатого вала до значений, при которых двигатель заглохнет. Возможна пробуксовка ведущих элементов фрикционной муфты относительно ведомых при полном её включении из – за повышения момента инерционных сил над максимальным значением момента трения предохранительной муфты.

В результате решения системы дифференциальных уравнений определяется угловая скорость  $\omega_p$  коленчатого вала двигателя в момент прекращения буксования фрикционного устройства ВОМ, которая сравнивается с допускаемой скоростью  $\omega_0$  коленчатого вала при его замедленном вращении. При решении системы дифференциальных уравнений предусмотрена возможность оценивать нагруженность фрикционного устройства ВОМ и элементов привода, в частности, определять работу трения фрикционного устройства за одно включение, максимальную мощность трения и максимальные значения нагрузки в элементах привода.

Минимальная частота вращения коленчатого вала двигателя при включении муфты, характеризующая возможность осуществления разгона активных рабочих органов сельскохозяйственных машин  $\omega_p \geq [\omega_{\min}]$

где:  $[\omega_{\min}] = \omega_{m \max} - (20 \dots 30)$  рад/с – минимально допустимая угловая скорость коленчатого вала;  $\omega_{m \max}$  – угловая скорость коленчатого вала при максимальном крутящем моменте двигателя  $M_{\max}$ .

Максимальные динамические нагрузки  $M_{k \max}$  в элементах привода ВОМ.  $M_{k \max} = C(\varphi_i - \varphi_{i+1})_{\max} \leq [M_{k \max}]$   
где  $M_{k \max}$  – допустимый максимальный крутящий момент в элементах привода ВОМ;  $\varphi_i, \varphi_{i+1}$  – угол поворота  $i$  – той и  $(i+1)$  – й массами;  $C$  – жёсткость валов между  $i$  – той и  $(i+1)$  – й массами.

Износ рабочих поверхностей пар трения и нагрев элементов муфта зависит от величины работы трения при включении привода ВОМ. Работа трения муфты за одно включение в свою очередь не остаётся постоянной. Она зависит от вида сельхозоперации. Величина работы трения фрикцион-

ных пар за одно включение:  $A_{\text{тр}} = \int_0^{t_\delta} M_\phi(t) [\varphi_i(t) - \varphi_{i+1}(t)] dt \leq [a] F_t z$

где:  $\varphi_i(t), \varphi_{i+1}(t)$  – угловая скорость ведущих и ведомых элементов муфты;  $M_t$  – номинальная площадь одной пары трения;  $t$  – продолжительность буксования;  $[a]$  – допустимое значение удельной работы трения для данной фрикционной пары

Максимальное значение мгновенной мощности трения на рабочих поверхностях фрикционной муфты:

$$N_{\text{тр}i \max} = [M_\phi(t)(\varphi_i(t) - \varphi_{i+1}(t))]_{\max} \leq [n_{\text{тр. уд}}] F_t z$$

где:  $[n_{\text{тр. уд}}]$  – допустимое значение из условий тепловой напряжённости пар трения.

Анализ нагруженности привода ВОМ при разгоне активных рабочих органов с/х машин при различных условиях работы позволяет выбрать оптимальный закон включения фрикционной муфты привода ВОМ, обосновать требования к системе управления муфтой. Это позволит повысить надёжность привода ВОМ путём снижения динамических нагрузок.

## Моделирование тягово-энергетических показателей агрегата на базе тягового блока

Сильченко А.А., канд. техн. наук, БГАТУ, г. Минск

Тяговый блок (ТБ) – одноосное средство, тягового класса 1кН. Основные системы – трансмиссия, ходовая часть, система управления. Под тяговым агрегатом в общем, случае понимаем совокупность ТБ с сельхозорудием на задней навеске.

Цель работы – на основе математического моделирования установить как с ростом внешних сил и моментов, действующих на РО сельхозорудия, изменяются нормальные реакции опорной поверхности на колесах блока и опорной пяте сельхозорудия, а также энергетические показатели, влияющие на КПД агрегата, с учетом ограничений по отбору мощности с однофазной сети и усилий на рукоятках управления. Принимаем, что ТБ жестко соединен с сельхозорудием, т.е. является составной частью машинно-тракторного агрегата (МТА) и МТА работает на горизонтальном участке и скорость агрегата – установившаяся. Применены общепринятые обозначения сил. Из рис. следует

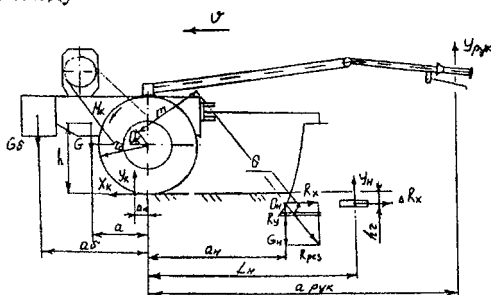


Рис. Расчетная схема тягового агрегата.

$$\sum X = 0. X_{\kappa} = R_{\kappa} + \Delta R_{\kappa}.$$

$$\sum Y = 0. G + G_{\delta} + R_{\delta} \operatorname{tg} \theta - Y_{\kappa} - Y_{\kappa 3} \pm Y_{\kappa 2} = 0,$$

$$\sum M_{O_{\kappa}} = 0. G_{\delta} \times a_{\delta} + G \times a_{\kappa} - X_{\kappa} \times r_{\delta} - Y_{\kappa} \times a_{\kappa} - R_{\delta} \times \operatorname{tg} \theta \times a_{\kappa} + (R_{\delta} + \Delta R_{\delta}) \times (r_{\delta} + h_{\delta}) + Y_{\kappa} \times l_{\kappa} + Y_{\kappa 3} \times a_{\kappa 3} = 0,$$

$$\text{При этом } M_{\kappa} = (X_{\kappa} + P_f) \times r_{\delta}, (-Y_{\kappa} \times a_{\kappa}) = M_f.$$

Введем понятие "паразитной" силы  $\Delta R_x$ , возникающей при догрузке полевой доски сельхозорудия частью веса ТБ.

С учетом коэффициента трения  $\mu$  определим силы трения в контакте полевой доски с почвой в продольно-вертикальной плоскости:  $\Delta R_x = Y_n \times \mu$ ,

Нормальная реакция почвы на РО навесного орудия:

$$Y_n = (R_x \times \operatorname{tg} \theta \cdot a_n - G_{\bar{o}} \times a_{\bar{o}} - G \times a - R_x \times (r_o + h_r) - Y_{pyk} \times a_{pyk} + M_k) / (L_n + \mu \times (r_o + h_r)),$$

Для того чтобы обеспечить положительный заглубляющий момент,  $R_{pe}$ ,  $mt$  необходимо выдержать соотношение:  $\operatorname{tg} \theta > r_o / a_n$ ,

Нормальная реакция, действующая на колеса ТБ равна:

$$Y_k = G + G_{\bar{o}} + G_n + R_x \times \operatorname{tg} \theta - Y_n \pm Y_{pyk},$$

Распределение нормальных реакций между колесами блока и РО сельхозорудия будем характеризовать коэффициентом распределения нормальной нагрузки  $\lambda$ . Из рис. следует

$$G_{\bar{o}} \times a_{\bar{o}} + G \times a - G_n \times a_n \pm Y_{pyk} \times a_{pyk} = 0.$$

Если  $Y_{pyk} = 0$ , через коэффициент распределения нормальной нагрузки обозначим выражение  $\lambda = (G \times a + G_{\bar{o}} \times a_{\bar{o}}) / (G_n \times a_n) = M_{онр} / M_{стн}$ ,

где  $M_{онр}$  - опрокидывающий момент,  $M_{онр} = G \times a + G_{\bar{o}} \times a_{\bar{o}}$ ,

$M_{стн}$  - стабилизирующий момент,  $M_{стн} = G_n \times a_n$ .

Тогда,  $G_n \times a_n \times (1 - \lambda) = Y_{pyk} \times a_{pyk}$ .

Общий вес МТА равен  $G + G_{\bar{o}} + G_n = G_{общ}$ ,

Отсюда следует:

если  $\lambda = 0$ , (при  $a = 0$ ,  $a_{\bar{o}} = 0$ ),  $G_n \times a_n = Y_{pyk} \times a_{pyk}$ , если  $\lambda > 1$ ,  $Y_{pyk} < 0$ ,

если  $\lambda = 1$ , (при  $G \times a + G_{\bar{o}} \times a_{\bar{o}} = G_n \times a_n$ ),  $Y_{pyk} = 0$ , если  $\lambda < 1$ ,  $Y_{pyk} > 0$ .

В виду того, что не установилось единого мнения, что следует отнести к полезно используемой машиной мощности. Мы предлагаем рассчитывать КПД агрегата следующим образом: При наличии сил трения, действующих на полевую доску, КПД тягового агрегата меньше, чем тяговый КПД отдельного ТБ:  $N_{кр.а} = (P_{кр} - \Delta R_x) V_o$ .

Тогда КПД, учитывающий потери на трение полевой доски:

$$\eta_r = N_{кр.а} / N_{кр} = (1 - \Delta R_x) / P_{кр}$$

а тяговый КПД агрегата:  $\eta_a = \eta_{тб} \times \eta_r = \eta_{тр} \times \eta_f \times \eta_{\delta} \times \eta_n$

Параметры тягового агрегата, полученные в результате математического моделирования тягово-энергетических показателей, заносим в табл.

Таблица. Параметры тягового агрегата

| $G$ , кН | $G_n$ , кН | $G_{\bar{o}}$ , кН | $a$ , м | $a_n$ , м | $a_{\bar{o}}$ , м | $a_{pyk}$ , м |
|----------|------------|--------------------|---------|-----------|-------------------|---------------|
| 1        | 2.         | 3                  | 4       | 5         | 6                 | 7             |
| 1,4      | 0,24       | 0,17; 0,34; 0,51   | 0,021   | 0,605     | 0,54              | 1,0           |

Продолжение табл.

| $h$ , м | $h_r$ , м | $L$ , м | $r_o$ , м    | $\theta$ , ° |
|---------|-----------|---------|--------------|--------------|
| 8       | 9         | 10      | 11           | 12           |
| 0,325   | 0,10      | 0,845   | 0,300; 0,225 | 32, 34       |

Для работы с тяговым усилием  $P_{кр} = 1 \text{ кН}$  масса ТБ должна составить  $m = 180...190 \text{ кг}$ ;

Неудовлетворительные энергетические показатели связаны с разгрузкой колес ТБ и большой догрузкой сельхозорудия  $U_n$  в процессе выполнения операций по обработке почвы;

При весе балластных грузов  $G_a = 0,51 \text{ кН}$  догрузка опорной пяты полевой доски отсутствует. Однако усилие, которое необходимо прикладывать к рукоятке при заглаблении орудия недопустимо велика, достигая  $0,18 \text{ кН}$ .

Таким образом, «паразитная» сила существенно влияет на тяговую мощность, а, следовательно, на КПД тягового агрегата при осуществлении операций по обработке почвы.

### **Инженерное проектирование прогрессивных технологий в растениеводстве**

**Непарко Т. А., БГАТУ, г. Минск**

Прогрессивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур - одно из наиболее эффективных средств повышения продуктивности сельскохозяйственного производства. Однако распространение прогрессивных технологий сдерживается из-за медленного освоения зональных систем земледелия, недостаточной технологической дисциплины, нехватки ресурсов и т.д. Главным в получении высокой отдачи от каждого поля является приспособление технологии к конкретным условиям, с учетом особенностей поля и возделываемой культуры, сорта, гибрида, т.е. инженерное проектирование технологий с учетом всего комплекса местных условий.

Проектирование технологий сейчас ограничивается в основном разработкой технологических карт. При этом типовые перспективные технологические карты, составляемые научными учреждениями, не учитывают своеобразие полей и хозяйств, а технологические карты, составляемые в хозяйствах, фиксируют сложившееся положение и не включают научных достижений.

С целью устранения противоречий нами разработана программа проектирования технологий на персональных ЭВМ типа IBM PC, работающих под управлением операционной системы MS DOS. Для проектирования применяем системный подход, рассматривая технологию как единое целое, ее элементы - как органичные составляющие этого целого, свойства которых определяем общими свойствами системы. Такой подход позволяет составить технологию из элементов, предназначенных для достижения запланированных конечных целей.

Декомпозицию технологий, как многофазной агрегативной технической системы, состоящей из кусочно-линейных комплексов, выполняем по ка-

лендарным периодам проведения сельскохозяйственных работ и протекания естественных процессов. Для практического использования математической модели технологии за предел ее расчленения, т.е. конечный элемент, принимаем технологическую операцию, выполняемую поодиночно работающими машинами и агрегатами, группами однородных машин и агрегатов (машинными отрядами), группами разнородных, но взаимосвязанных по функционированию машин и агрегатов (машинными комплексами). Это соответствует уровню организации использования техники в сельском хозяйстве Республики Беларусь.

Система целей прогрессивной технологии, определяющая ее содержание, зависит от вида технологии (интенсивная, индустриальная, почвозащитная, энергосберегающая и т.д.), культуры и сорта, а также от местных природно-хозяйственных условий.

Технической основой прогрессивной технологии служит технологический комплекс машин, способных по качеству работы и производительности обеспечить достижение общей цели технологии. Структуру и состав этого комплекса рассчитываем с помощью математической модели технологии путем вычисления производительности требуемых машин и выбора соответствующих технических средств по их характеристике и качеству работы.

Задача проектирования прогрессивной технологии состоит не только в разработке ее вариантов, удовлетворяющих общим целям, но и в получении оптимального варианта (наилучшего из возможных).

Для повышения эффективности использования машинного производства сельскохозяйственных культур необходимо располагать соответствующими методами и техническими средствами, способствующими решению оптимизационных задач в различных и особенно экстремальных ситуациях, поэтому технологии должны быть управляемыми, чего нельзя добиться без научных изысканий и применения ЭВМ.

С этой целью нами разработан метод, отражающий зависимость между продуктивностью сельскохозяйственных культур, критериями эффективности, качеством выполнения технологических операций, режимов и условий работы машин.

Для экспериментальной оценки достоверности предложенной методики в течение нескольких лет нами были проведены исследования в хозяйствах Гродненской, Брестской и Минской областей. Так как разработанные технологии содержали большое число новых элементов, использование которых было эффективно только в комплексе, то и их внедрение было комплексным. Набор машин, технологических материалов, а также поля были подготовлены заранее, до начала внедрения. Большую роль сыграла подготовка непосредственных исполнителей и руководителей, овладение ими всеми приемами технологий, строгое соблюдение технологической дисциплины.

Результаты экспериментов подтвердили удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных, что позволяет рекомендовать разработанный метод к применению при выполнении НИР и проектировании технологий непосредственно в хозяйствах.

### **Обоснование системы машин для механизации производственных процессов в растениеводстве**

**Непарко Т. А., БГАТУ, г.Минск**

Сформированная система машин (СМ) для АПК представляет собой совокупность взаимоувязанных технологических комплексов, обеспечивающих выполнение необходимых работ с требуемыми показателями качества для получения максимального количества продукции (при ограничении затратных критериев).

Сложившийся в настоящее время подход к формированию СМ для механизации производственных процессов в растениеводстве имеет серьезные недостатки. Существующая СМ представляет собой фактически перечень технических средств без достаточной оценки и обоснования каждого ее элемента, что ведет к неоправданному ее разрастанию, несовершенству типажа, узкой унификации, распылению средств и отставанию ее практической реализации. При определении объемов производства новых средств механизации не учитывается состояние действующего парка машин, обеспеченность хозяйств техникой. Ограниченное количество технических средств, операций и работ, разнообразие природно-климатических условий требуют принципиально новых подходов к обоснованию СМ.

Исходя из анализа существующего положения дел в области формирования и реализации СМ нами разработано методическое обеспечение и программа расчета всех этапов формирования СМ на основе оптимизации технических средств и состава машинно-тракторного парка (МТП) с учетом переменного характера эксплуатационных показателей, вызванного различием природных условий хозяйств, их специализации и объемов производства. Для комплексной оценки эффективности вариантов механизации производственных процессов в растениеводстве обоснован обобщенный показатель, характеризующий совокупные затраты основных производственных ресурсов, а также разработан алгоритм использования обобщенного показателя для поиска оптимальных путей совершенствования машин и технологий.

Программа реализована на Турбо-Паскале для персональных ЭВМ типа IBM PC, работающих под управлением операционной системы MS DOS.

Проведенные исследования в хозяйствах РБ и результаты экспериментов позволяют рекомендовать разработанный метод к применению при

выполнении НИР и проектировании отраслевых СМ и машинно-тракторного парка непосредственно хозяйствах.

### **Моделирование процессов уплотнения почвы движителями**

**Дутко Л. Ю., БГАТУ, г. Минск**

Тракторы и сельскохозяйственные машины передвигаясь по полю значительно уплотняют почву. Изучение воздействия ходовых систем на нее приобрело большое значение в связи с применением колесных тракторов и сельскохозяйственных машин, имеющих большую массу и грузоподъемность. В наибольшей степени уплотняется верхняя часть пахотного слоя. Равновесное состояние почвы после уплотнения ее тракторами не восстанавливается в течение вегетационного периода. Воздействие колес тракторов существенно снижает водопроницаемость и влагоемкость почвы, ухудшает ее водный режим. Уменьшается скважность почвы, масса корней, снижается биологическая активность почвы. В конечном счете уменьшается урожай сельскохозяйственных культур.

В Республике Беларусь эта проблема актуальна еще из-за того что наибольшее распространение имеют дерново-подзолистые почвы, а 50-70% пахотных земель расположены на эрозионно-опасных склонах. Из-за повышенной плотности и наличия следов от колес при интенсивном снеготаении и ливнях развиваются эрозионные процессы, выносятся за пределы поля удобрения, загрязняется среда.

Дерново-подзолистые почвы отличаются низкой оструктуренностью и малым содержанием водопрочных агрегатов. Поэтому они сильно подвержены уплотнению. Разуплотнение их под воздействием промерзания, оттаивания и других природных факторов длится годами, а агрофизические свойства не само восстанавливаются. Такие почвы необходимо разуплотнять путем воздействия сельскохозяйственных машин и орудий, что в свою очередь отражается на себестоимости продукции.

Изложенное выше позволяет сформулировать возникающую при эксплуатации машинно-тракторных агрегатов сельскохозяйственного назначения проблему - чрезмерное уплотнение почвы ходовыми системами, приводящее к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, повышению затрат энергии на передвижение, последующую обработку почвы и уменьшению производительности МТА.

Для решения данной проблемы при создании новой сельскохозяйственной техники необходимы теоретические исследования, учитывающие многообразие почвенных условий, то есть математические модели максимальной приближенные к реальной почве.

## Моделирование влияния метеоусловий на урожайность с/х культур

Плюгачев В. В., Ионин В. С., канд. техн. наук, доценты, БГАТУ, г. Минск

Главным фактором, определяющим урожайность сельскохозяйственных структур в Беларуси, является количество выпадающих осадков. Изменчивость количества выпадающих осадков в нашей стране, где по метеорологическим данным известно, что 25% всех дней месяца являются дождливыми, оказывает существенное влияние на собираемый урожай. Изменчивость определяется отношением нормированного отклонения к среднему значению месячных осадков и составляет в наших условиях примерно 0,6.

Попробуем, пользуясь работами Стэрна и Коэна, а также Стерна, Деннета и Дэйла, оценить количество осадков за  $n$  суток при условии, что сезонные колебания этого параметра на исследуемом отрезке времени в расчет не принимаются. Допустим, что суточные осадки описываются следующим образом:  $p$  - вероятность отсутствия осадков;  $q$  - вероятность выпадения  $h$  мм осадков.

Среднесуточное количество осадков  $r$  при этом составит:  $r=qn$ , а  $p$  и  $q$  удовлетворяют известному условию  $p + q = 1$ .

Если исходить из предположения, что между величинами осадков, выпадающих в разные сутки, отсутствует какая-либо статистическая зависимость, то распределение выпадаемых осадков задается членами биномиального разложения:

$$(p+q)^n = p^n + np^{n-1}q + (n(n-1))/(1*2) * p^{n-2}q^2 + \dots + (in)p^{n-i}q^i + \dots + q^n.$$

Предположим, что каждый период хорошей и плохой погоды имеет продолжительность  $n_p$  суток (например,  $n_p = 4$ ), и в течение этого периода либо непрерывно идет дождь, либо вовсе не идет. Для каждого месяца можно определить число  $n_{эфф}$  периодов по  $n_p$  суток (для  $n_p = 4$  при  $n = 31$  и  $n_{эфф} \approx 8$ )

$$n_{эфф} = ((1-q)/q)/(KB)^2; \quad (1)$$

$$n = n_{эфф} n_p.$$

Если в течение месяца имеют место (в среднем) восемь дождливых дней и  $KB = 0,6$ , то  $q = 8/31 \approx 0,25$ , а уравнение (1) дает  $n_{эфф} = 8,33$ , то есть продолжительность хорошей либо плохой погоды  $n_p = 31/8,33 = 3,72$  дня. Принято, что количество осадков распределено по биномиальному закону, только переменная  $n$  заменена на  $n_{эфф}$ . Среднесуточное количество осадков  $r$  определяется из выражения  $r=qn$ , и это дает возможность вычислить  $h$ .

Рассмотренная модель может применяться следующим образом. Прежде всего необходимо, пользуясь метеорологическими данными исследуемого района (области), вычислить коэффициент вариации (KB) среднемесячного количества осадков и среднее за месяц число дождливых дней  $n_p$ . Зна-

чения этих показателей могут быть одинаковыми для всех месяцев, а могут и отличаться. Затем определяется вероятность  $q$ , а с помощью уравнения (1) - эффективная продолжительность  $n_{эфф}$  периода хорошей (плохой) погоды. В модели переменные  $n_{эфф}$  и  $q$  используются как параметры. Текущая оценка количества выпадаемых осадков вычисляется для периодов продолжительностью  $n$  суток.

Для моделирования месячного ( $n$ -суточного блока) компьютер генерирует последовательности случайных чисел из интервала  $[0,1]$ . Если случайное число больше, чем  $(1-q)$ , то периоду из  $n$  суток приписывается дождливая погода с количеством осадков  $h$  мм в сутки.

### **Математическая тепловая модель процесса упрочняющего шлифования**

**Ефремов В. Д.**, докт. техн. наук, профессор, БГАТУ, г. Минск

Использование энергетических возможностей шлифования для одновременного упрочнения обрабатываемой поверхности весьма актуально и позволяет, в ряде случаев, исключить операции термической обработки с обеспечением необходимой геометрической точности обработанной поверхности.

С позиции термической обработки процесс упрочняющего шлифования должен удовлетворять следующим условиям: нагрев поверхности должен достигать (или превышать) значений критической температуры закалки, для обрабатываемой марки стали с учётом скорости нагрева; время выдержки указанной температуры должно быть достаточным для осуществления структурных превращений, а требуемая скорость охлаждения обеспечить закалку на требуемой глубине.

Обеспечение указанных температурно-временных условий сдерживается отсутствием математической модели, объективно отражающей реально происходящие тепловые процессы упрочняющего шлифования.

Известные математические модели шлифования носят приближенный характер и не пригодны для расчёта температурных полей в условиях упрочняющего шлифования.

В настоящей работе предлагается математическая модель расчёта температурных полей, основанная на решении уравнения теплопроводности с граничными условиями методом конечных элементов (МКЭ).

В соответствии с МКЭ производится дискретизация расчётной области, по результатам которой получается некоторое число элементов разбиения ( $N_e$ ) и узлов ( $N_y$ ), в которых рассчитывается температура. Для каждого  $i$ -го

узла ( $1 \leq i \leq N_y$ ) вводятся базисные функции ( $\Psi_i$ ) таким образом, что  $\Psi_{(r_i)} = 1$  и  $\Psi_{(r_j)} = 0$ .

В результате функция  $\Psi_i$  представляет собой «гиперпирамиду», построенную над  $i$ -м узлом.

В этих условиях температура  $T_{(r,\tau)}$ , выражается посредством базисных функций следующим образом:

$$T(r, \tau) = \sum_{j=1}^{N_y} T_j(\tau) \psi_j(r) \quad (1)$$

Для определения температуры в узловых точках расчётной области используется метод Бубнова - Галеркина, в соответствии с которым для каждого  $1 \leq i$  расчётную область разбивают на конечное число элементов и приводят к системе линейных уравнений, которые записываются в матричной форме

$$M^C(\tau) \frac{\partial T(\tau)}{\partial \tau} + M^\lambda(\tau) T(\tau) = Y(\tau) \quad (2)$$

где  $T(\tau)$  и  $Y(\tau)$  – векторы значений температуры и правых частей;  $M^C(\tau)$ ,  $M^\lambda(\tau)$  – матрицы теплоёмкости и теплопроводности обрабатываемого материала.

Уравнение (2) решается по разностной схеме Кранка-Николсона и может быть записано выражением (3) для определения  $T(\tau^{k+1})$

$$T(\tau^{k+1}) = (M_\tau)^{-1} [M_0 T(\tau^k) + Y_0] \quad (3)$$

$$\text{где } M_\tau = \hat{M}^C - \frac{\Delta \tau}{2} \hat{M}^\lambda; M_0 = \hat{M}^C + \frac{\Delta \tau}{2} \hat{M}^\lambda; Y_0 = \Delta \tau \hat{Y}$$

$\wedge$  - знак, указывающий на средние значения некоторой величины в течение промежутка времени  $[\tau^k, \tau^{k+1}]$ . Учитывая, что матрицы  $M_\tau$  и  $M_0$  являются ленточными и положительно определяемыми, обращение матрицы  $M_\tau$  в выражении (3) удобно производить методом Холесского, который требует меньше компьютерных ресурсов на хранение и решение матриц.

С учётом приведённой математической модели (3), алгоритм расчёта температурных полей  $T_{(r,\tau)}$  можно представить следующим образом:

- задаётся начальная температура обрабатываемой заготовки;
- определяется очередной шаг времени:  $\tau^{k+1} = \tau^k + \Delta \tau$ ;
- определяется поверхностная плотность теплового потока, обусловленная силами резания и трения в зоне контакта шлифовального круга с заго-

товкой.  $q_{ин} (r, \tau)$  в граничных узлах расчётной сетки, а также коэффициенты  $L_{(r)}$  и  $q_L$ :

- на основании решения уравнения теплопроводности МКЭ (путём решения системы линейных уравнений), заполняются матрицы  $M_r$  и  $M_o$  и вектор правых частей  $Y(\tau)$ . В соответствии с формулой (3) записываются вычисленные значения температуры в узлах расчётной сетки  $T_i(\tau^{k+1})$ ;

- если полученное время меньше заданного, то расчёт повторяется со следующего момента времени  $\tau^{k+1}$ , увеличенного на величину шага.

Приведенный выше алгоритм позволяет вычислить температурное поле по глубине обрабатываемой поверхности заготовки, подверженной упрочняющему шлифованию при известных значениях теплового потока  $q_{ин} (r, \tau)$ .

### Определение поверхностной плотности теплового потока при упрочняющем шлифовании

Ефремов В. Д., докт. техн. наук, профессор, БГАТУ, г. Минск

Для определения плотности теплового потока рассмотрим схемы плоского (рис. 1а) и круглого (рис. 1б) шлифования.

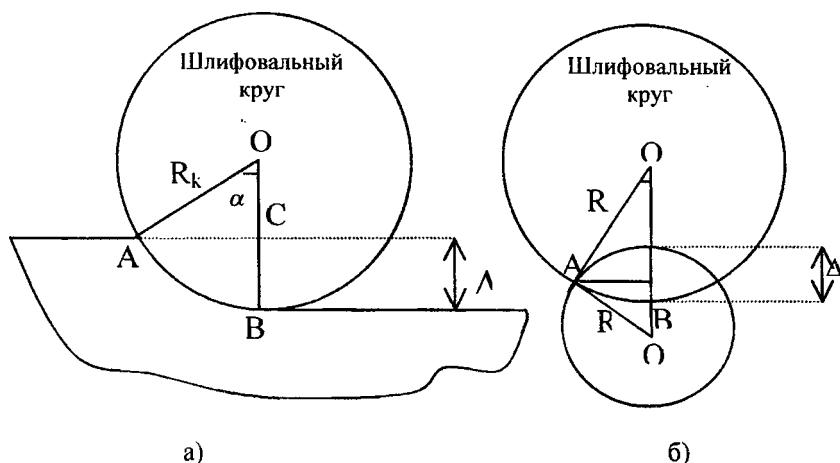


Рис. 1 Схемы расчёта длины дуги контакта при плоском (а) и круглом (б) шлифовании.

Дополнительный поток теплоты  $q(\vec{r}, \tau)$  появляется только в месте контакта шлифовального круга с деталью (дуга АВ, рис.1) и может быть выражен соотношением

$$q(\vec{r}) = \left[ \frac{F_z \cdot V_k}{L \cdot B} - q_k - q_m \right] \cdot \delta(\vec{r}, L, B) \quad (1)$$

где  $\delta = \begin{cases} 1, \vec{r} \in [\text{зона контакта}] \\ 0, \vec{r} \notin [\text{зона контакта}] \end{cases}$ ;  $F_z$  - сила резания, Н;  $V_k$  - скорость движения периферии круга ( $V_k = 2\pi \cdot R_k \cdot n$ ,  $n$  - частота вращения круга);  $L$  - длина контакта круга с деталью;  $B$  - ширина режущей кромки круга;  $q_k$  - тепловой поток, уходящий в шлифовальный круг;  $q_m$  - тепловой поток, уходящий со снимаемым металлом, а  $q_k$  не превышает нескольких процентов от тепла, выделяющегося за счёт сил резания и трения; а с учётом того, что силы резания известны только из экспериментов и с достаточно большой погрешностью (до 20%), то учитывать в явном виде  $q_k$  не имеет смысла, т.е. можно положить  $q_k = 0$ . Тепловой поток, уходящий со

$$\text{снимаемым металлом: } q_m = \frac{c_p M}{LB} (T - T_0), \quad (2)$$

где  $M = p \cdot \Delta \cdot V_p \cdot B$  - секундный объём снимаемого материала.

Сила резания  $F_z$  определяется экспериментально и используется в виде эмпирической зависимости типа:  $F_z = A \cdot \Delta^a \cdot S^b \cdot \theta_p^c \cdot \theta_k^d$ ,  $(3)$

где  $A, a, b, c, d$  - эмпирически подбираемые коэффициенты;  $S$  - площадь зоны контакта круга с деталью. Эксперименты показывают, что в диапазоне скоростей периферии круга от 15 до 35 м/с сила резания уменьшается с повышением скорости и коэффициент диаметра круга  $d \approx -0,33$ . Из физических соображений следует, что сила резания прямо пропорциональна ширине ( $B$ ), так как с ростом ширины все новые и новые зёрна вступают в работу. Этого нельзя сказать о влиянии длины зоны контакта ( $L$ ), т.к. несмотря на увеличение числа рабочих зерен возможна ситуация, когда зёрна попадают в канавки, уже прорезанные ранее идущими зёрнами. Однако, в

первом приближении можно считать, что  $F_z \propto L$ , а коэффициент  $A$  включает в себя поправку на длину зоны контакта. С учётом вышесказанного,

$$\text{имеем } F_z = A \cdot \Delta^a \cdot V_p^c \cdot V_k^{-0,33} \cdot L \cdot H, \quad (4)$$

Рассмотрим длину контакта круга с металлом при плоском шлифовании

$$(\text{рис.1a}) \quad L = |AB| = R_k \cdot \arccos \left( 1 - \frac{\Delta}{R_k} \right) \approx \sqrt{2R_k \cdot \Delta}, \quad (5)$$

тогда  $F_z'' \Delta^{0,62}$  и  $F_z'' V_p^{0,31}$ .

На основании вышеизложенного для расчёта поверхностной плотности можно предложить следующую формулу:

$$q(\vec{r}) = \left[ A \cdot \Delta^{0,62} V_p^{0,31} \cdot V_k^{0,67} - \frac{\rho \cdot \Delta \cdot V_p \cdot C_p}{L} (T - T_0) \right] \cdot \delta(\vec{r}, L, B), \quad (6)$$

где  $T_0$  – начальная температура заготовки;  $A$  – поправочный коэффициент.

Как показали эксперименты, проведённые автором, коэффициент  $A=1,40 \cdot 10^7$ .

Таким образом, полученная зависимость (6) плотности теплового потока в зоне контакта шлифовального круга с деталью, в процессе упрочняющего шлифования позволяет управлять тепловым процессом, а соответственно и параметрами упрочнения обрабатываемой поверхности.

### Компьютерная модель теплового процесса упрочняющего шлифования

**Ефремов В. Д.**, докт. техн. наук, профессор, БГАТУ, г. Минск

Учёт необходимых условий и режимов обработки с возможностью широкого варьирования их пределами, оперативное вмешательство в ход расчёта и изменения исходных данных, а также наглядное представление процесса в динамике с выдачей результатов в табличной или графической форме – далеко не полный перечень преимуществ использования компьютерных моделей.

Немаловажную роль играет также простота, компактность хранения и возможность многократного использования информации.

В соответствии с математической моделью при компьютерном моделировании тепловых процессов упрочняющего шлифования необходимо задать файл с теплофизическими свойствами обрабатываемого металла, размерами заготовки и детали, а также данные для построения её характерного сечения. Задаётся величина снимаемого припуска и число проходов, а также режимы шлифования: частота вращения шлифовального круга и заготовки, продольная подача, на основе которых рассчитывается температурное поле в заданных точках изделия на поверхности и по сечению (глубине).

Предполагается возможность выбора файла другой марки стали со своими физическими параметрами, при наличии последнего в директории. Возможно, также, создание нового файла. Предусматривается просмотр параметров стали в графическом режиме. В файле задаётся число узлов расчётной сетки.

Во втором разделе задаётся диаметр обрабатываемой поверхности, а также степень ее черноты. В этом разделе задаются: начальная температура и температура окружающей среды, шаг по времени (через число временных шагов) на один оборот заготовки. Кроме того, задаются: диаметр шлифовального круга и поправочный коэффициент к эмпирической формуле по определению плотности теплового потока.

В файле «Просмотр» задаются параметры для просмотра ранее рассчитанных результатов, а также устанавливаются дополнительные параметры просмотра в процессе расчёта, в том числе дополнительные точки изменения температуры.

Устанавливается режим графического просмотра результатов и выбирается файл с записанными ранее результатами расчёта для демонстрации последних. Задаются максимальные значения для графической температурной шкалы.

В разделе «Расчёт» определяются конкретные характеристики процесса упрочняющего шлифования по заданным геометрическим, теплофизическим и начальным параметрам, а также реализуется режим просмотра результатов.

В разделе «Запись» производится установка для записи параметров программы и результатов расчёта, а также установка дополнительных точек для просмотра температурных изменений.

По результатам расчёта производится запись в файл следующих параметров: узловых точек сетки конечных элементов, параметры меню и распределение температуры через заданное число шагов по времени и по сечению заготовки. Задаётся имя температурному файлу, в который при расчёте будет производиться запись результатов, а также число шагов по времени, через которые будет записываться распределение температуры.

В разделе «Охлаждение» задаются параметры охлаждения заготовки при упрочняющем шлифовании, в том числе производится выбор файла с температурной зависимостью коэффициента теплообмена  $A(t)$ . Обеспечивается возможность введения нового коэффициента теплообмена для новой охлаждающей среды. При этом выполняется просмотр коэффициента теплообмена в графическом режиме. Задаётся размер отставания полосы охлаждения от шлифовального круга и ширина полосы охлаждения.

С целью апробирования компьютерной модели расчёта температурного поля при упрочняющем шлифовании модернизирован круглошлифовальный станок мод.3132, у которого усилен привод главного движения, усовершенствованы приводы круговой и продольной подач.

Это позволило получить необходимый диапазон режимов упрочняющего шлифования для обеспечения требуемой степени и глубины упрочнённой зоны.

Испытание станка и компьютерной модели производилось применительно к пальцам передней рессоры автомобиля МАЗ из науглероженной стали 45.

По результатам упрочняющего шлифования на режимах, полученных расчётом с использованием компьютерной модели, изготовлена опытная партия пальцев. Результаты исследований показали, что степень и глубина упрочнённой зоны в 1,3 – 1,4 раза выше соответствующих параметров серийных пальцев.

Результаты стендовых сравнительных испытаний пальцев на износостойкость позволили рекомендовать технологию упрочняющего шлифования и её компьютерную модель для внедрения на ГП «МАЗ».

### **Возделывание картофеля**

**Лахмаков В. С.**, канд. техн. наук, доцент, **Майсеенко А. В.** БГАТУ, г. Минск.

Картофель хорошо растет на легких плодородных почвах с мелкокомковатой структурой, сохраняющих влажность в течение всего периода вегетации. В зависимости от типа почвы и климатических условий для создания оптимальной структуры почвы используются различные типы машин и виды технологических операций.

Говоря о технологии производства картофеля, прежде всего следует исходить из того, что технология должна максимально отвечать биологическим требованиям культуры. В настоящее время используются следующие технологии производства картофеля:

- «заворовская» технология;
- технология с посадкой по схеме 110 + 30 см;
- технология с междурядьями 90 см;
- технология с междурядьями 140 см;
- «голландская» технология.

Технология подготовки почвы под посадку картофеля включает основную, или зяблевую, и предпосевную обработки. Основная обработка почвы проводится в летне-осенний период и состоит из лущения жнивья и глубокой зяблевой вспашки. Зяблевая вспашка проводится через 2-3 недели после лущения стерни на глубину 27-30 см, на почвах с небольшим пахотным горизонтом - на всю его глубину. При зяблевой обработке, как правило, вносят основные минеральные удобрения (калий, фосфор). Органические удобрения предпочтительнее вносить под предшествующую культуру. Зяблевая вспашка проводится оборотным плугом «Лемкен», который не формирует свальных и развальных борозд. Весеннее боронование зяби с целью закрытия влаги не проводится, что позволяет ускорить подсыхание верхне-

го слоя почвы. Предпосадочная обработка почвы проводится фрезерными культиваторами типа «Доминатор» с вертикальным вращением ножей. Глубина обработки почвы 12-14 см. Этот агрегат выполняет одновременно три операции: фрезерование, планировку и прикатывание почвы.

Весенняя предпосевная подготовка почвы предусматривает сохранение влаги, накопленной почвой за осенне-зимний период, создание мелкокомковатого рыхлого пахотного слоя с выровненной поверхностью, борьбу с сорняками.

Для улучшения качества предпосевной обработки на суглинистых почвах проводят раннее рыхление культиваторами на глубину 12-16 см, а при поспевании нижнего горизонта - на глубину 25-27 см, на легких по механическому составу почвах после ранневесеннего боронования зяби- культивацию на глубину 16-18 см.

Краткое рассмотрение, существующих отечественных технологий выращивания картофеля, показывает, что применение машин с активными рабочими органами здесь ограничено, в ряде технологий используются приспособленные, а не серийные машины.

Посадка в предварительно нарезанные гребни не позволяет создать достаточный объем почвы в зоне формирования новых клубней, что приводит к снижению товарности урожая, проведение нескольких междурядных обработок при междурядьях 70 см вызывает повреждение корневой системы растений и снижение урожая.

«Голландская» технология выращивания картофеля характерна для многих западно-европейских стран с развитым картофелеводством. В этой технологии широко используются активные рабочие органы, минимальное количество междурядных обработок, междурядья увеличены до 75 см, для борьбы с сорной растительностью используются гербициды.

В настоящее время в Белорусском государственном аграрном техническом университете на кафедре «Гидравлика и гидравлические машины» разрабатывается картофелесажалка для квадратно-гнездовой посадки картофеля по голландской технологии.

Преимущество данного способа в том, что высокая и широкая гряда менее подвержена влиянию окружающей среды, чем гребни.

При жаре лучше сохраняется влага и почва меньше прогревается, при повышенной влажности гряды интенсивнее пропускают влагу, слои почвы, расположенные ниже клубней, не разрушаются и не подтапливаются при сильных дождях. Поэтому клубни меньше поражаются фитофторой и не накапливают соланина (не зеленеют).

Широкие междурядья (110 см) между лентами позволяют проводить обработку на больших скоростях, не уплотняя и не повреждая рядки картофеля. Таким образом, во время уборки в комбайн поступает только рыхлая, хорошо дренированная, насыщенная картофелем вершина гряды. Неуплотненная почва лучше сепарируется и при большой влажности на пере-

борный стол поступает в 3-4 раза меньше земли, чем при уборке картофеля с гребней.

Посадка картофеля в ленты, шириной 20-30 см, обеспечивает возможность локального внесения минеральных и органических удобрений, а также возможность борьбы с сорняками в рядках путем засыпания их пропастков при формировании гряды.

Локализация внесения удобрений позволяет лучше сбалансировать питание растений, исключить крайне негативное влияние неравномерности распределения удобрений при разбросном внесении, уменьшает потребность в удобрениях в 1,5-2 раза, не способствует развитию сорняков в междурядьях.

### **Некоторые особенности структуры программных комплексов конечно-элементного анализа**

**Кольцов А. Н., БГАТУ, г. Минск**

Анализ конструкций с использованием метода конечных элементов является в настоящее время фактическим мировым стандартом для прочностных и других видов расчетов конструкций. Основой этого служит универсальность метода, позволяющая единым способом рассчитывать различные конструкции с разными свойствами материалов.

Можно выделить следующие принципы организации программ конечно-элементного анализа:

- сравнительно простые программы конечно-элементного анализа встраиваются в известные пакеты САПР ориентированные на построение чертежа и фотореалистичного изображения (AutoCAD, T-FLEX и др.);
- система состоит из нескольких связанных модулей, каждый модуль выполняет свою задачу (геометрическое моделирование, различные типы анализа методом конечных элементов, визуализация результатов расчета), можно связывать модули различных производителей;
- полностью интегрированная среда для моделирования и анализа результатов.

Современные системы моделирования методом конечных элементов позволяют создавать сложные модели конструкций. Сложность моделей возросла настолько, что они становятся необозримыми для конструктора. Работа с такими моделями невозможна без средств структурирования. К таким средствам относятся:

- группировка элементов;
- библиотеки стандартных элементов;

- иерархия модели с отображением в виде дерева.

В таких случаях задача может быть разбита на подзадачи и распределена между несколькими исполнителями, а затем быть собрана в одну модель.

Существует класс задач, для которых слишком трудоемко или вообще невозможно построить модель с помощью редактора. Например, построить модель порошкового материала с нерегулярной структурой и заданными законами распределения частиц.

Один из путей решения этой проблемы – это встроенный специализированный язык программирования. Такие языки позволяют автоматизировать и, следовательно, существенно ускорить построение сложных моделей.

Другой путь решения проблемы – это открытый формат файла исходных данных. В этом случае можно создать специализированное программное обеспечение, которое будет генерировать модель и формировать файл исходных данных для пакета конечно-элементного анализа.

Недостатком первого пути, является необходимость изучения нового языка программирования и отсутствие среды программирования с поддержкой отладки.

Недостатком второго пути, является то, что каждому пользователю придется заново создавать:

- структуры данных;
- целую библиотеку процедур для генерирования и описания параметров конечных элементов;
- изучать формат файла исходных данных.

Используемый авторами подход, позволяет избежать этих недостатков.

Разработанный авторами статьи программный пакет *Skat-N*, поставляется с модулями, которые содержат библиотеку классов поддерживающих все необходимые структуры данных и процедуры для работы с ними. Модули написаны на языке *Object Pascal*, что позволяет использовать их в интегрированной среде разработки Delphi (или Kylix для операционной системы Linux). Delphi – это современная мощная среда программирования обладающая следующими достоинствами:

- проста для изучения и удобна в работе;
- полностью поддерживает объектно-ориентированное программирование;
- позволяет создавать приложения Windows любого уровня сложности;
- имеет встроенные средства отладки;
- поддерживает большинство известных СУБД;
- поддерживает COM технологии, что позволяет формировать отчетность в формате документов *Microsoft Word*.

Таким образом, пользователь получает в свое распоряжение удобный инструмент, который позволяет строить конечно-элементные модели прак-

тически любой сложности, с возможностью автоматического генерирования отчетов. Эту библиотеку легко адаптировать для любого другого пакета конечно-элементного анализа, всего лишь добавив поддержку формата файла исходных данных.

## Математическая модель расхода воздуха через щели механических вакуумных насосов

Колончук М. В. БНТУ, г. Минск

Аналитическое определение допустимой величины зазоров между подвижными деталями является важным этапом проектирования вакуумных насосов. Зазоры между деталями в рабочем пространстве вакуумного насоса образуют щели малой высоты, характеризующиеся тремя параметрами: высотой, длиной по фронту и глубиной. Размеры щелей определяют величину коэффициента полезного действия насосов. Большая трудоемкость экспериментального определения расхода воздуха через щель допускает приближенную математическую оценку зазоров вакуумного насоса. Методологию расчета предлагается базировать на стационарности щелей различной формы, истечении воздуха через них без теплообмена с внешней средой, учете эффективного сечения щелей. Этим требованиям удовлетворяют уравнение изменения количества движения с учетом потерь трения и уравнение неразрывности: 
$$\begin{cases} cdc + dp/\rho + (\lambda c^2 / 2D_s)dx = 0 \\ G_n = gfc \end{cases}$$

где  $c$  – скорость воздуха в щели;  $\rho$  – плотность воздуха;  $x$  – линейный размер в направлении потока воздуха;  $D_s$  – гидравлический диаметр щели ( $D_s \approx 2\delta$ );  $f$  – сечение щели;  $\lambda$  – коэффициент трения воздушного потока (0,03);  $g$  – ускорение силы тяжести;  $p$  – давление.

Из системы уравнений можно получить весовой расход  $q$  (кг/с·м<sup>2</sup>) в виде  $q = \sqrt{(\lambda b / D_s + 2 \ln p_2 / p_1)^{-1}} \sqrt{g/RT_2} \sqrt{p_2^2 - p_1^2}$ . Коэффициент под знаком первого корня в формуле учитывает уменьшение расхода воздуха вследствие потерь при движении воздуха через щель. Эта величина зависит от формы щели и соотношений между ее геометрическими параметрами, коэффициента трения и местных потерь, степени сжатия. Введением опытного коэффициента  $K_G$ , для согласования расхода воздуха, подсчитанного по формуле и полученного из опыта, формула видоизменяется

$$q = K_G \sqrt{(\lambda b / D_s + 2 \ln p_2 / p_1)^{-1}} \sqrt{g/RT_2} \sqrt{p_2^2 - p_1^2} \Leftrightarrow$$

$$q = K_p \sqrt{g/RT_2} \sqrt{p_2^2 - p_1^2}$$

Из уравнений следует, что

$$K_p = K_G \sqrt{(\lambda b / D_s + 2 \ln p_2 / p_1)^{-1}} \Leftrightarrow K_p = K_G K$$

где  $K_p$ ,  $K$  – соответственно эмпирический и теоретический коэффициенты.

Теоретический коэффициент расхода ( $K$ ) представлен в зависимости от теоретического параметра сопротивления –  $S_1 : K = \frac{1}{2\sqrt{\ln p_2 / p_1}} = \frac{1}{2\sqrt{S_1}}$

Высоту и глубину щелей предлагается определять на основе вероятного равенства слагаемых первого подкоренного выражения в формуле. При  $l \gg \delta$ , что обычно имеет место в щелях, имеем  $b / D_s \approx b / 2\delta \Leftrightarrow \lambda b / 2\delta = 2 \ln p_2 / p_1 \Leftrightarrow \delta = \lambda b / 4 \ln(p_2 / p_1)$ . Минимальный зазор щелей низковакуумных насосов (вакуум до 100 Па) должен составлять от 0,01 до 0,1 мм, а максимальный – до 1,4 мм (табл.1). Допустимые зазоры насосов для создания среднего вакуума составляют от 0,005 до 0,05 мм. Разность теоретических и экспериментальных данных (рис. 1) составляет не более 50%.

Таблица 1. Высота щелей вакуумного насоса (мкм), обеспечивающая требуемую степень разрежения воздуха при различной глубине щелей (мм).

| Степень сжатия | Глубина щели, мм |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|----------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
|                | 10               | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80   | 90   | 100  |
| 1,7            | 140              | 280 | 420 | 560 | 700 | 840 | 980 | 1120 | 1260 | 1400 |
| 1,8            | 130              | 260 | 390 | 520 | 650 | 780 | 910 | 1040 | 1170 | 1300 |
| 2              | 100              | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800  | 900  | 1000 |
| 2,75           | 74               | 148 | 222 | 296 | 370 | 444 | 518 | 692  | 766  | 740  |
| 5              | 50               | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400  | 500  | 550  |
| 10             | 33               | 66  | 99  | 132 | 165 | 198 | 231 | 264  | 297  | 330  |
| 20             | 25               | 50  | 75  | 100 | 125 | 150 | 175 | 200  | 225  | 250  |
| 30             | 22               | 44  | 66  | 88  | 110 | 132 | 154 | 176  | 198  | 220  |
| 40             | 20               | 40  | 60  | 80  | 100 | 120 | 140 | 160  | 180  | 200  |
| 50             | 19               | 38  | 57  | 76  | 95  | 114 | 133 | 152  | 171  | 190  |
| 60             | 18               | 36  | 54  | 72  | 90  | 108 | 126 | 144  | 162  | 180  |
| 70             | 17               | 34  | 51  | 68  | 85  | 102 | 119 | 136  | 153  | 170  |
| 80             | 17               | 34  | 51  | 68  | 85  | 102 | 119 | 136  | 153  | 170  |
| 90             | 16               | 32  | 48  | 64  | 80  | 96  | 112 | 128  | 144  | 160  |
| 100            | 16               | 32  | 48  | 64  | 80  | 96  | 112 | 128  | 144  | 160  |
| 1000           | 10               | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80   | 90   | 100  |
| 10000          | 8                | 16  | 24  | 32  | 40  | 48  | 56  | 64   | 72   | 80   |
| 100000         | 7                | 14  | 21  | 28  | 35  | 42  | 49  | 56   | 63   | 70   |
| 1000000        | 5                | 10  | 15  | 20  | 25  | 30  | 35  | 40   | 45   | 50   |

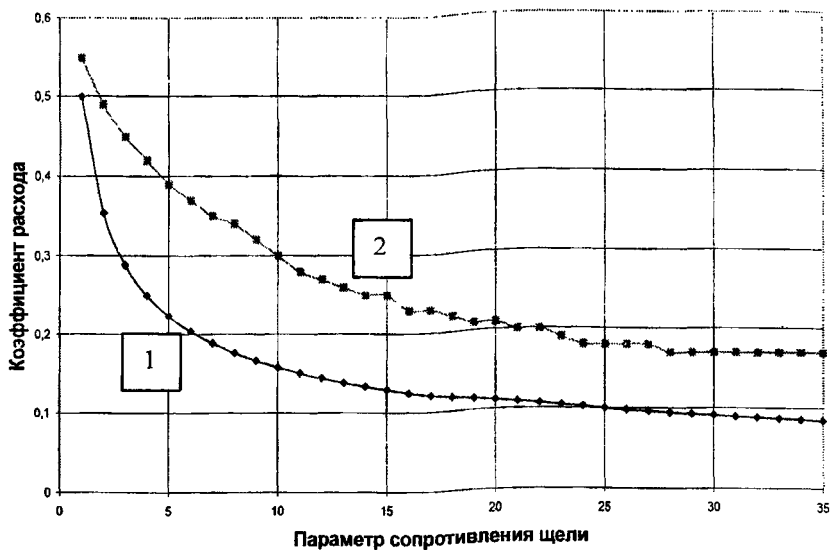


Рис. 1. Теоретический (1) и экспериментальный (2) коэффициенты расхода

### Моделирование двухслойных порошковых фильтров с учетом зоны перекрытия слоев

Капцевич В. М., Кусин Р. А., Кольцов А. Н., Корнеева В. К., БГАТУ, г. Минск

Эффективность использования порошковых материалов в качестве фильтров определяется максимальным значением коэффициента проницаемости при заданной величине пор, а также возможностью повышения грязеемкости и ресурса работы при сохранении заданной тонкости фильтрования. Одним из путей, которые позволяют получать пористые порошковые материалы (ППМ) с повышенными свойствами, являются методы получения ППМ с анизотропной структурой пор.

Наиболее распространенными изделиями с такой структурой, являются многослойные ППМ, у которых каждый слой выполнен из порошков с различными размерами частиц. Такие материалы имеют высокую проницаемость, грязеемкость и срок службы на много выше по сравнению с однослойными. Существующие теоретические представления при расчете проницаемости многослойных материалов не учитывают наличие зоны перекрытия между

слоями. Для расчета проницаемости с учетом зоны перекрытия рассмотрим случай, когда пористый материал состоит из двух слоев и зоны перекрытия. Первый и второй слои образованы соответственно из частиц порошка с размерами  $D_1$  и  $D_2$ , причем  $D_1 > D_2$ . Зона перекрытия, расположенная между первым и вторым слоем, состоит из частиц этих двух размеров. При этом мелкие частицы с размерами  $D_2$  расположены в промежутках между крупными частицами с размером  $D_1$ .

Рассматривая течение жидкости или газа через весь материал, на основании закона Дарси можно записать:  $Q = \frac{K_{\phi}}{\mu} \frac{\Delta P}{h} S t$  (1)

где  $Q$  – поток через все слои,  $K_{\phi}$  – эффективный коэффициент проницаемости,  $\Delta P$  – перепад давления на фильтре,  $S$  – площадь фильтра,  $\mu$  – вязкость жидкости,  $h$  – толщина фильтрующего материала.

Для каждого слоя формула потока можно записать следующим образом:

$$Q = \frac{K_1}{\mu} \frac{\Delta P_1}{h_1} S t, \quad Q = \frac{K_I}{\mu} \frac{\Delta P_I}{h_I} S t, \quad Q = \frac{K_2}{\mu} \frac{\Delta P_2}{h_2} S t \quad (2)$$

где индексы 1, 2 и П соответствуют слоям 1, 2 и переходной зоне.

Из формул (1-2) выводим формулу для расчета  $K_{\phi}$ :

$$K_{\phi} = h / \left( \frac{h_1}{K_1} + \frac{h_I}{K_I} \frac{S}{S_I} + \frac{h_2}{K_2} \right)$$

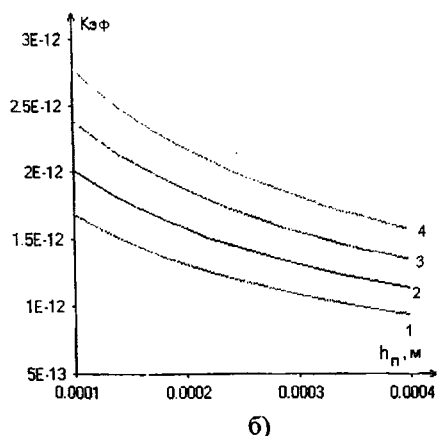
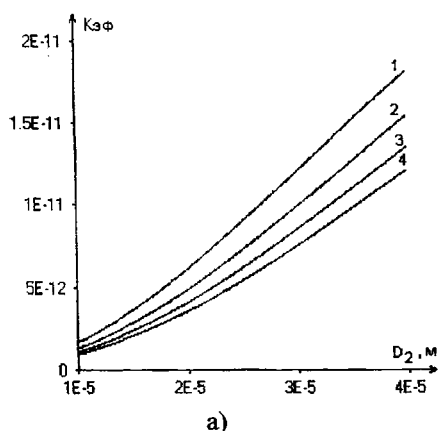


Рис. 1. а) Зависимость  $K_{\phi}(D_2)$  для разных  $h_{П}$ ; б) Зависимость  $K_{\phi}(h_{П})$  для разных  $D_2$ .

Для расчета величины  $S/S_I$  воспользуемся моделью элементарной ячейки. Тогда величина  $S_I$  в пределах такой ячейки изменяется от  $S_{I \min} = D_1^2 - \pi/4 D_1^2$  до  $S_{I \max} = D_1^2$ . Для характеристики всей зоны перекрытия возьмем среднее значение этой величины  $S_{I \text{до}} = D_1^2 - \pi/8 D_1^2$ . Тогда  $\frac{S}{S_I} = \frac{1}{1 - \pi/8}$ .

На основе разработанного авторами статьи программного комплекса «Порошковые фильтрующие материалы», была построена компьютерная модель двухслойного порошкового фильтра с учетом зоны перекрытия слоев.

На рис. 1.а. представлена зависимость  $K_{\text{эф}}(D_2)$  для  $h_{\text{п}}$  равных  $D_1, 2D_1, 3D_1, 4D_1$  соответственно, при  $D_1 = 100$  мкм. На рис. 1.б. зависимость  $K_{\text{эф}}(h_{\text{п}})$  для  $D_2$  равных  $0,1D_1, 0,2D_1, 0,3D_1, 0,4D_1$ , при  $D_1 = 100$  мкм.

### Моделирование процесса восстановления деталей машин с применением гибкого производственного модуля на постоянных магнитах

**Кожуро Л. М.,** докт. техн. наук, проф., **Миранович А. В.,** Тризна В. В.,  
БГАТУ, г. Минск

Восстановление и упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственного производства путем наплавки износостойких покрытий на поверхность последних является актуальной задачей. Для нанесения покрытий на поверхности деталей с применением гибкого производственного модуля (ГПМ) на постоянных магнитах использовался метод электромагнитной наплавки (ЭМН). Электромагнитные потоки энергии наиболее технологичны, легко управляемы и позволяют эффективно использовать ресурсо-энергосберегающие процессы.

С целью обеспечения заданных эксплуатационных свойств поверхностей деталей выполнены исследования с применением математического планирования эксперимента, которые проводили с использованием ГПМ на постоянных магнитах.

Анализ априорной информации и проведенные ранее исследования показали, что процесс ЭМН достаточно полно описывается статистическими моделями второго порядка, полученными по матрице центрального композиционного рототабельного униформ плана (ЦКРУП).

В качестве параметра оптимизации наплавки износостойких покрытий взят параметр - производительность процесса  $Q$ .

Независимыми переменными приняты следующие факторы: плотность разрядного тока  $i$ , А/мм<sup>2</sup>; величина рабочего зазора  $\delta$ , мм; скорость подачи

$S$ , мм/об; окружная скорость заготовки  $V$ , м/с; расход ферромагнитного порошка  $q$ , г/с·мм<sup>2</sup>.

Постоянными взяты факторы: магнитная индукция в рабочем зазоре  $B=0,9$  Тл; размер зерен ферромагнитного порошка  $\Delta=240\ldots320$  мкм; расход рабочей жидкости  $q=0,4\cdot10^{-3}$  дм<sup>3</sup>/(с·мм<sup>2</sup>), СОЖ – 50%-й раствор товарного эмульсола Э2 в воде, ферромагнитный порошок Fe-2%V.

С учетом известных работ установили условия проведения эксперимента для получения математической модели нанесения износостойких покрытий ЭМН (таблица). Все опыты рандомизировались во времени при помощи таблицы случайных чисел.

Обработка результатов экспериментов, полученных по матрице ЦКРУП второго порядка, с использованием прикладной программы Excel пакета MS Office, работающей в среде Windows, позволила получить математическую модель, устанавливающую зависимость исследуемого параметра  $Q$  от технологических факторов и определить оптимальный режим нанесения износостойкого покрытия:

$$Y=Q=2,822-1,005\cdot X_1+1,962\cdot X_2-4,448\cdot X_3-26,324\cdot X_4-0,723\cdot X_5-0,395\cdot X_1X_2+1,024\cdot X_1X_3+5,975\cdot X_1X_4+0,468\cdot X_1X_5-0,596\cdot X_2X_3-3,181\cdot X_2X_4-0,356\cdot X_2X_5+16,251\cdot X_3X_4+0,910\cdot X_3X_5+6,327\cdot X_4X_5-0,101\cdot X_1^2-0,029\cdot X_2^2-1,521\cdot X_1^2-39,752\cdot X_4^2-0,141\cdot X_5^2.$$

Таблица. Условия проведения опытов

| Уровень факторов             | Технологические факторы    |               |                |           |                                                      |
|------------------------------|----------------------------|---------------|----------------|-----------|------------------------------------------------------|
|                              | $i$ ,<br>А/мм <sup>2</sup> | $\delta$ , мм | $S$ ,<br>мм/об | $V$ , м/с | $q$ ,<br>г/(с·мм <sup>2</sup> )<br>·10 <sup>-3</sup> |
|                              | $X_1$                      | $X_2$         | $X_3$          | $X_4$     | $X_5$                                                |
| Основной (0)                 | 1,80                       | 2,00          | 0,25           | 0,06      | 2,55                                                 |
| Верхний (+1)                 | 2,20                       | 2,50          | 0,35           | 0,08      | 3,00                                                 |
| Нижний (-1)                  | 1,40                       | 1,50          | 0,15           | 0,04      | 2,10                                                 |
| Звездная точка (+ $\alpha$ ) | 2,60                       | 3,00          | 0,45           | 0,10      | 3,45                                                 |
| Звездная точка (- $\alpha$ ) | 1,00                       | 1,00          | 0,05           | 0,02      | 1,65                                                 |
| Интервалы<br>варьирования:   |                            |               |                |           |                                                      |
| основной                     | 0,40                       | 0,50          | 0,10           | 0,02      | 0,45                                                 |
| по $\alpha$                  | 0,80                       | 1,00          | 0,20           | 0,04      | 0,90                                                 |

Выявлено, что все коэффициенты регрессии значимы с 95%-й вероятностью по критерию Стьюдента. Также установлено, что математическая модель адекватна при 5%-м уровне значимости по критерию Фишера.

Установлено, что технологические факторы по степени влияния на параметр  $Q$  располагаются в следующий ряд:  $V \rightarrow S \rightarrow \delta \rightarrow g \rightarrow i$ . Определен следующий оптимальный режим нанесения износостойкого покрытия с применением ГПМ на постоянных магнитах:  $V=0,05$  м/с;  $S=0,17$  мм/об;  $\delta=2,00$  мм;  $q=2,65 \cdot 10^{-3}$  г/(с·мм<sup>2</sup>);  $i=1,70$  А/мм<sup>2</sup>.

### **Моделирование процесса упрочнения деталей машин комбинированной обработкой**

**Кожуро Л. М.,** докт. техн. наук, проф., **Тризна В. В.,** **Миранович А. В.,**  
БГАТУ, г. Минск

В настоящей работе исследуется комбинированный метод упрочнения деталей сельскохозяйственного производства с использованием электромагнитной наплавки (ЭМН) и электромеханического упрочнения (ЭМУ). Данная технология представляет собой формирование высокоизносостойкого покрытия методом ЭМН и последующей термомеханической обработкой, заключающейся в совместном действии механического давления шапrikового накатника и тепловой энергии, возникающей за счет электрического сопротивления при прохождении постоянного электрического тока в зоне контакта накатник-заготовка.

Проведенные ранее исследования показали, что процесс достаточно полно описывается статистическими моделями второго порядка, полученными по матрице центрального композиционного рототабельного униформ плана (ЦКРУП).

Учитывая вид и уровень оптимизации, в качестве параметра оптимизации ЭМН с ЭМУ взята производительность процесса  $Q$ .

Независимыми переменными были приняты основные факторы технологического режима: сила разрядного тока  $I$ , А; магнитная индукция в рабочем зазоре  $B$ , Тл; окружная скорость заготовки  $v$ , мм/с; скорость подачи  $s$ , мм/с; усилие деформирования  $P$ , кН.

Постоянными приняты следующие технологические факторы: рабочий зазор  $\delta=2,5$  мм; толщина слоя пасты  $\delta_1=1,5$  мм; состав пасты: ферромагнитный порошок Fe-2%V с размером зерен  $\Delta=240 \dots 320$  мкм – 50 %; эпоксидная смола ЭДП – 35 %; жидкое стекло – 15 %.

Условия проведения эксперимента приведены в таблице. Все опыты рандомизировались во времени при помощи генератора случайных чисел.

Обработка результатов экспериментов по матрицам ЦКРУП второго порядка с использованием прикладной программы Excel пакета MS Office, работающего в среде Windows, позволила получить математическую модель, определяющую зависимость исследуемого параметра от технологических факторов КМ ЭМН с ЭМУ:

$$Y=Q=28,904+0,002 \cdot X_1+9,5467 \cdot X_2+1,5763 \cdot X_3-0,080 \cdot X_4-2,190 \cdot X_5- \\ -0,009 \cdot X_1 X_2-0,189 \cdot X_1 X_3+0,0005 \cdot X_1 X_4+0,008 \cdot X_1 X_5-2,752 \cdot X_2 X_3-0,181 \cdot X_2 X_4+ \\ +4,325 \cdot X_2 X_5-0,046 \cdot X_3 X_4+0,550 \cdot X_3 X_5-0,009 \cdot X_4 X_5-0,0000335 \cdot X_1^2-40 \cdot X_2^2- \\ -0,973 \cdot X_3^2-0,004 \cdot X_4^2-0,200 \cdot X_5^2.$$

Таблица. Условия проведения опытов при ЭМН паст с ЭМУ

| Уровень факторов        | Технологические факторы |                |                |                |                |
|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                         | I, А                    | В, Тл          | s, мм/с        | V, мм/с        | P, кН          |
|                         | X <sub>1</sub>          | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> |
| Основной (0)            | 100                     | 1              | 0,84           | 6              | 1              |
| Верхний (+1)            | 120                     | 1,2            | 1,02           | 8              | 1,2            |
| Нижний (-1)             | 80                      | 0,8            | 0,66           | 4              | 0,8            |
| Звездная точка (+α)     | 140                     | 1,4            | 1,2            | 10             | 1,4            |
| Звездная точка (-α)     | 60                      | 0,6            | 0,48           | 4              | 0,6            |
| Интервалы варьирования: |                         |                |                |                |                |
| основной                | 20                      | 0,2            | 0,18           | 2              | 0,2            |
| по α                    | 40                      | 0,4            | 0,36           | 4              | 0,4            |

Выявлено, что все коэффициенты регрессии значимы с 95%-й вероятной вероятностью по критерию Стьюдента. Установлено, что математическая модель адекватна при 5%-м уровне значимости по критерию Фишера.

Установлено, что влияние технологических факторов на параметр Q по степени влияния располагаются в следующий ряд:  $v \rightarrow s \rightarrow I \rightarrow B \rightarrow P$ .

Определен следующий оптимальный режим нанесения износостойкого покрытия комбинированным методом ЭМН с ЭМУ:  $v=5$  мм/с;  $s=0,7$  мм/с;  $I=100$  А;  $B=1,1$  Тл;  $P=1$  кН.

### Упрощение динамических моделей механических систем

Силкович Ю. Н., Сацук С.М., канд. техн. наук, доценты, БГАТУ, Минск.

Динамическая модель механической системы представляет собой колебательную систему, состоящую из распределенных и сосредоточенных масс, соединенных упругими звеньями, и имеющую бесконечно большое число степеней свободы. Для выполнения расчетов такую систему заменяют упрощенной динамической моделью. Опыт моделирования реальных систем показывает, что с достаточной для практики точностью систему с

бесконечным числом степеней свободы можно моделировать в виде эквивалентной ей системы с сосредоточенными параметрами, имеющей конечное число степеней свободы и описываемой конечным числом дифференциальных уравнений.

Для удобства выполнения расчетов упрощенная динамическая модель должна быть максимально простой, но при этом с достаточной точностью отражать процессы в реальной динамической системе. Для ее получения необходимо учесть решающие факторы, определяющие интересующие нас свойства, отбросив несущественные. Правомерность такой идеализации решается сравнением результатов теоретических и экспериментальных исследований. В большинстве случаев адекватность модели достигается при допущении, что упругие связи в элементах динамической системы линейные, зазоры в соединениях отсутствуют, связи системы стационарны и голономны. Все реальные системы имеют распределенные параметры, но при анализе система приводится к дискретному виду, пренебрегая менее существенным свойством каждого элемента. Так как в системе имеются механические передачи, все ее параметры приводятся к одному валу (к одной угловой скорости).

Приведенная динамическая модель имеет большое число сосредоточенных масс и упругих звеньев. Численное решение системы дифференциальных уравнений большой размерности для такой модели представляет собой достаточно сложную и трудоемкую задачу даже при современном уровне развития вычислительной техники. Вследствие того, что возмущающие воздействия для механических систем обычно лежат в низкочастотной области, модель можно упростить таким образом, чтобы ее частотные свойства в области низких частот, меньших принятой граничной частоты, соответствовали исходной модели. При этом расчет многих характеристик на упрощенной модели обеспечивает достаточную для практических расчетов точность.

Наиболее простым методом упрощения динамических систем является метод парциальных частот, основанный на замене отдельных или парциальных одномассовых систем двухмассовыми или наоборот, на которые можно разбить любую цепную или разветвленную систему. Заменяющая система выбирается так, чтобы ее парциальная частота равнялась парциальной частоте заменяемой системы. Так как высшие частоты при этом существенно искажаются, для достижения приемлемой точности замена производится в случае, когда собственная частота парциальной системы намного больше верхней границы частотного диапазона, в котором требуется провести исследование динамической системы. В результате упрощенная модель имеет избыточное количество собственных частот при отклонении порядка 3...5%. Другие методы упрощения также не обеспечивают высокой точности, особенно для сложных разветвленных систем.

Предлагаемый способ упрощения основан на определении собственных частот и собственных векторов колебаний. Упрощение производится путем объединения отдельных, связанных между собой масс системы таким образом, чтобы общее их количество равнялось количеству собственных частот, меньших граничной частоты. Критерием для объединения масс является наименьшее по абсолютной величине значение разности амплитуд собственных колебаний для всех частот, меньших граничной. Параметры упрощенной системы определяются следующим образом:

- объединенная масса равна сумме объединяемых масс;
- амплитуда колебаний объединенной массы определяется из условия равенства суммы произведений объединяемых масс на амплитуды их колебаний и произведения объединенной массы на амплитуду ее колебаний;
- жесткости связей определяются из условия равенства суммы произведений жесткостей связей объединяемых масс со связанной с ними массой на разность амплитуд колебаний связанных масс и произведения жесткости связи объединенной массы с той же массой на разность амплитуд их колебаний, причем для обеспечения минимальной погрешности упрощения расчет производится для частоты, у которой эта разность максимальна.

Упрощение моделей данным способом целесообразно проводить с использованием математических пакетов, имеющих средства для определения собственных чисел и собственных векторов матриц. Авторами было проведено упрощение динамической модели трактора Т-150К, состоящей из 16 масс, с собственными частотами до 1100 Гц. Для принятой граничной частоты, равной 100 Гц, при помощи пакета MATHCAD была получена упрощенная модель, состоящая из 10 масс, при этом погрешность составила менее 1%.

Таким образом, предложенный способ упрощения динамических моделей позволяет обеспечить достаточно высокую точность при небольших затратах времени и упростить моделирование механических систем в требуемом частотном диапазоне.

### **К моделированию комбинированных агрегатов с учетом экологобережного воздействия на почву**

**Камински Э., ИБМЭР, Польша, Чнгарев Ю. В.,** докт. физ.-мат. наук, профессор, **Крук И. С.,** канд. техн. наук, **Зубович Д. Г.,** БГАТУ, г. Минск

Механические обработки почвы являются важнейшим технологическим процессом в земледелии. В системе подготовки почвы возможны варианты раздельного проведения семи и более взаимосвязанных технологических

операций. Многократные проходы агрегатов по полю ведут к накоплению остаточных деформаций в пахатном и подпахатном слоях, к переуплотнению почвы ходовыми системами, созданию, так называемой, плужной подошвы, которая препятствует развитию корневой системы и подводу грунтовых вод. Все это отрицательно сказывается на урожайности культур и экологии агроландшафтов.

Сокращение числа проходов агрегатов по полю возможно за счет применения комбинированных сельскохозяйственных машин, позволяющих совместить две и более технологических операций, рационально загрузить энергетическое средство и, тем самым, снизить эксплуатационные издержки и себестоимость продукции растениеводства, а также сохранить структуру и плодородие почвы.

Отечественные и зарубежные заводы-изготовители предлагают широкий спектр комбинированных почвообрабатывающих агрегатов, которые можно условно разделить на две группы: для подготовки почвы под пропашные культуры и сплошной обработки. При подготовке почвы под пропашные культуры основное внимание уделяется обработке корнеобитаемого слоя, а при сплошной – объемной обработке всего пахатного горизонта.

При проведении операций основной обработки почвы предпочтение отдается оборотным плугам, позволяющим производить вспашку челночным способом. Основными узлами сельскохозяйственных машин данного типа являются: рама, опорное колесо, лево- и правооборачивающие корпуса и механизм поворота. За рубежом, в частности фирмой John Deere, выпускаются плуги, которые комплектуются секциями дисковых борон и агрегат за один проход по полю выполняет технологические операции глубокой вспашки и поверхностного рыхления.

Из комбинированных агрегатов для сплошной обработки почвы, производимых в Республике Беларусь, являются АКШ-6, АК-3,6 и АРК-4, разработанные Белорусским научно-исследовательским институтом механизации сельского хозяйства. Агрегаты АКШ-6 и АК-3,6 за один проход по полю выполняют четыре технологические операции: рыхление, боронование, выравнивание и прикатывание почвы, - что важно при возделывании зерновых культур. АРК-4 предназначен для глубокого рыхления подпахатного горизонта и обработки верхнего слоя. В общем случае данные агрегаты состоят из рамы, опорных колес, рыхлителей.

Полученные положительные результаты применения локального внутрипочвенного метода внесения минеральных удобрений при подготовке почвы под посадку пропашных культур определили новые направления в развитии сельскохозяйственной техники. Данный метод был взят за основу при разработке комбинированных агрегатов, совмещающих технологические операции глубокого рыхления подпахатного горизонта зоны развития корневой системы, локального внесения минеральных удобрений и нарезки гребней УПГ-2,8Г (БГАТУ) и МВВ-3,6 (БелНИИМСХ).

Основу конструкции данных агрегатов составляет почвообрабатывающая машина, состоящая из рамы опорных колес, рабочих органов, на которой монтируется вспомогательное оборудование для локального внесения минеральных удобрений, включающее емкость, туковысевающий аппарат с направляющими и приводом.

Проведенные опыты по агротехническому состоянию почвы, после указанных технологических операций, имели удовлетворительные показатели по плотности, воздухопроницаемости, сдвигу почвы.

В настоящее время отечественными и зарубежными заводами предпочтение отдается выпуску комбинированных почвообрабатывающих агрегатов, позволяющих совместить две и более технологических операций, что позволяет рационально загрузить энергетическое средство, снизить себестоимость продукции растениеводства, уменьшить опасность переуплотнения почвы и улучшить экологию агроландшафтов.

### **Математическое моделирование наплавки в электромагнитном поле с поверхностным пластическим деформированием по параметру относительной износостойкости**

**Кожуро Л. М., Крутов А. В., БГАТУ, г. Минск**

В современном машиностроительном и ремонтном производствах особое внимание уделяется обеспечению повышенного ресурса упрочненных и восстановленных деталей. Известно, что упрочнение и восстановление деталей экономически целесообразно, так как являются основой ресурс- и энергосбережения в народном хозяйстве. Подавляющее большинство отказов (свыше 80 %) машин обусловлено процессами изнашивания или комплексными причинами, где изнашивание играет доминирующую роль.

Состояние исследований в области нанесения износостойких покрытий в электромагнитном поле показывает, что эффективным и доступным методом является электромагнитная наплавка с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД), которая реализуется на простом оборудовании и позволяет наносить покрытия на упрочняемые и восстанавливаемые детали, обладающие повышенной износостойкостью, практически без термического влияния на основную массу детали.

Известно, что основной целью любого технологического процесса является обеспечение заданных характеристик качества изделия наиболее производительным путем при минимальных затратах. Отсюда вытекает необходимость в использовании двух критериев оптимальности: максимальной производительности и минимальной себестоимости. Однако в зависимости от вида и уровня оптимизации технологического процесса могут использоваться и другие критерии, объединенные в группы экономических, тех-

нико-экономических, технологических и эксплуатационных критериев.

Для получения математической модели ЭМН с ППД прочных и износостойких покрытий, по которой можно установить степень влияния технологических факторов на параметр процесса и произвести оптимизацию его режима, применили центральный композиционный ротатабельный униформ-план (ЦКРУП) второго порядка. Анализ априорной информации и проведенные исследования показали, что ЭМН с ППД достаточно полно описываются статистическими моделями второго порядка, полученными по ЦКРУП. В качестве параметра оптимизации ЭМН с ППД взяли эксплуатационный параметр – относительную износостойкость

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_0}{\Delta h},$$

где  $\Delta h_0$  – высота изношенного слоя эталона;

$\Delta h$  – высота изношенного слоя исследуемого материала покрытия.

Величины  $\Delta h_0$  и  $\Delta h$  определяются при одинаковых режимах нагружения.

Необходимо отметить, что относительная износостойкость является интегральной характеристикой для выбранной пары трения и режима ее нагружения. Она не связывает износ с процессами взаимодействия и разрушения в зоне контакта. Поэтому оптимальный режим ЭМН с ППД, определенный по относительной износостойкости, наиболее полно обеспечива-ет эксплуатационные характеристики покрытий.

В качестве эталона в работе была принята сталь 45 нормализованная и закаленная с нагрева ТВЧ на глубину 1,2 ...1,6 мм до 52...54 HRC. Независимыми переменными приняты основные технологические факторы режима наплавки: сила разрядного тока  $I$ , А; усилия деформирования  $P$ , Н; магнитная индукция в рабочем зазоре  $B$ , Тл; скорость подачи  $S$ , мм/об; окружная скорость образца  $V$ , м/с.

Выбор данных независимых переменных технологических факторов обусловлен тем, что, во-первых, наши исследования показали, что они оказывают наибольшее влияние на параметр процесса; во-вторых, исследования проводили на гибком производственном модуле с адаптивным управлением величиной разрядного тока и усилия деформирования, обеспечивающим стабильность процесса наплавки и постоянство всех технологических факторов.

Постоянными факторами в опытах были следующие: размер зерен ферропорошка  $\Delta = 315/250$  мкм; рабочий зазор  $\delta = 1,8$  мм; удельный расход ферропорошка  $q = 3,2 \cdot 10^{-3}$  г/(с·мм<sup>2</sup>); удельный расход рабочей жидкости  $g = 0,4 \cdot 10^{-3}$  дм<sup>3</sup>/(с·мм<sup>2</sup>); диаметр шарика накатника из стали ШХ 15, равный 6,5 мм.

В качестве ферропорошка использовали композицию Fe – 6,5 % Cr, а рабочей жидкости – 5 %-й водный раствор Syntilo R4 фирмы Castrol Industrial.

Условия проведения экспериментов по матрице ЦКРУП второго порядка представлены в табл.

Таблица

| Уровни факторов | Условия опытов          |                |                |                |                |
|-----------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                 | Технологические факторы |                |                |                |                |
|                 | P, Н                    | I, А           | B, Тл          | S, мм/об       | Y, м/с         |
|                 | X <sub>1</sub>          | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> |
| 0               | 1000                    | 100            | 0,8            | 0,30           | 0,080          |
| +1              | 1250                    | 120            | 1,0            | 0,42           | 0,091          |
| -1              | 750                     | 80             | 0,6            | 0,18           | 0,069          |
| +α              | 1500                    | 140            | 1,2            | 0,54           | 0,102          |
| -α              | 500                     | 60             | 0,4            | 0,06           | 0,058          |

Обработку полученных данных производили с помощью пакета прикладных программ MATHCAD PLUS 6.0 и MATHEMATICA 2.2, работающих в среде Windows.

Экспериментальные исследования проводили на образцах из стали 45, представляющих собой кольца с наружным диаметром 40 мм, внутренним – 16 мм и высотой 12 мм. Образцы подвергали нормализации и обрабатывали до шероховатости поверхности Ra = 12,5 мкм.

В работе износостойкость покрытий, полученных ЭМН с ППД, изучалась в условиях гидроабразивного изнашивания при трении скольжения на машине для испытаний материалов на трение и износ 2070 CMT-1 по схеме «вал-колодка» линейным методом.

Колодка из чугуна ХТВ имела высоту 10 мм, что позволило сохранять измерительную базу, так как по краям образца оставались цилиндрические ленточки. Измерение образцов производили в двух взаимноперпендикулярных плоскостях по двум сечениям, используя оптический длинномер ИЗВ-1, точность измерения каждого составляла 0,001 мм.

Для ускорения процесса изнашивания использовали масляно-абразивную смесь (масло индустриальное 20, содержащее 2 % карбида бора, зерна последнего составляли 4...5 мкм), которую в количестве 40 мл заливали в камеру для масла. При этом для каждой партии испытываемых образцов использовали свежую порцию смеси.

Образцы после наплавки покрытий шлифовались до шероховатости поверхности Ra=0,63 мкм. Затем они прирабатывались с колодкой. Окончание приработки определяли по стабилизации момента трения пары, регистрируемого аппаратурой машины.

Режим испытаний соответствовал условиям работы деталей сельскохозяйственных машин, для которых характерна скорость скольжения до 2,5 м/с и удельная нагрузка 3 МПа. Испытывали партии по пять образцов.

Математическая модель, определяющая зависимость относительной износостойкости покрытия  $Y = \varepsilon$  от технологических факторов В, I, В, S, V в нормированном виде соответственно  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  имеет следующий вид:

$$Y = \varepsilon = 2,3 + 0,28X_1 + 0,12X_2 + 0,22X_3 - 0,13X_4 - 0,08X_5 + \\ + 0,21X_1X_2 - 0,17X_1X_3 - 0,37X_1X_4 + 0,11X_1X_5 + \\ + 0,19X_2X_3 + 0,78X_2X_4 - 0,16X_2X_5 + 0,22X_3X_5 - \\ - 0,18X_4X_5 - 0,38X_1^2 - 0,14X_2^2 - 0,15X_3^2 - 0,11X_4^2 - 0,10X_5^2.$$

Проверка воспроизводимости опытов по критерию Кохрена при доверительной вероятности 0,95 показала, что гипотеза воспроизводимости опытов принимается. Выявлено, что не все коэффициенты регрессии значимы с 90%-й доверительной вероятностью по критерию Стьюдента. Также установлено, что модель адекватна при 5%-м уровне значимости по критерию Фишера.

Анализ полученной модели показывает, что технологические факторы по-разному влияют на параметр оптимизации и, кроме того, зависимость параметра от технологических факторов носит экстремальный характер. Обусловлено это совместным действием электрической, магнитной, тепловой и механической энергий при формировании покрытий в электромагнитном поле с ППД.

С учетом уровня значимости исследуемые факторы можно расположить в порядке убывания их влияния на параметр оптимизации в следующий ряд:

$$Y = \varepsilon : P \rightarrow B \rightarrow S \rightarrow I \rightarrow V.$$

Видно, что на относительную износостойкость наибольшее влияние оказывает усилие деформирования Р. Затем в порядке убывания значимости следует магнитная индукция В и скорость продольной подачи S. Замыкает ряд сила разрядного тока I и окружающая скорость образца V.

С ростом усилия Р увеличивается глубина и степень деформации и, следовательно, твердость покрытия. Значение магнитной индукции В в рабочей зоне влияет на жесткость цепочек зерен ферропорошка и совместно с I определяет время существования электрического разряда. Очевидно, что значение I, задавая количество теплоты, подводимой в зону наплавки, определяет фазовые и структурные превращения в покрытии и основе, а также глубину диффузии элементов ферропорошка в материал основы. Особую роль при формировании рельефа поверхности играют формообразующие движения S и V, связанные с перекрытием площадок при деформировании поверхности и поглощением тепла деталью.

По полученной математической модели ЭМН с ППД ферропорошка Fe – 6,5% Cr с применением ЭВМ получен следующий оптимальный режим процесса:

$$P = 1000 \text{ Н}; I = 100 \text{ А}; B = 0,9 \text{ Тл}; S = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}; V = 0,08 \text{ м/с}.$$

Известно, что одним из важных показателей качества процессов формирования рабочих поверхностей трения при любых технологических схемах являются стабильность и воспроизводимость неизменных эксплуатационных свойств изделий. В этой связи значительный интерес вызывает дисперсия данных испытаний износостойкости покрытий, полученных на оптимальном режиме ЭМН с ППД ферропорошка Fe – 6,5% Cr.

Анализ результатов испытаний износостойкости покрытий (обрабатывалась партия образцов в количестве 50 штук) показал, что разброс экспериментальных данных не превышает 12%, что свидетельствует об устойчивости и стабильности процесса ЭМН с ППД, который обеспечивает толщину покрытия в пределах 0,50 ... 0,52 мм.

### Совершенствование процесса обкатки двигателей внутреннего сгорания

Андрюш В. Г., БГАТУ, г. Минск

В известном стенде для обкатки двигателя внутреннего сгорания о ходе приработки судят по величине механических потерь, когда длительность приработки задается в зависимости от момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала в контрольных точках при определенной частоте вращения.

Момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала существенно зависит от температуры обкатываемого двигателя (рис.1). Эта зависимость, аппроксимируя ее методом наименьших квадратов, может быть описана

$$\text{простой формулой вида: } M_c = a + bT + cT^2 \quad (1)$$

где  $M_c$  – момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала обкатываемого двигателя;  $T$  – температура обкатываемого двигателя;  $a, b, c$  – постоянные коэффициенты, для двигателя Д-65Н при частоте вращения  $800 \text{ мин}^{-1}$   $a = 110,1$ ;  $b = -1,47$ ;  $c = 7,95 \cdot 10^{-3}$ .

Поддерживать определенную температуру двигателя с высокой точностью на протяжении всей обкатки очень сложно, даже применяя специальное оборудование в связи с изменяющимися режимами приработки, окружающей температурой, охлаждающей жидкостью и т.д. Для того, чтобы не ожидать достижения определенной температуры обкатываемого двигателя и сократить общее время обкатки, уменьшив время измерения момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала в контрольных точках, в стенде для обкатки двигателя внутреннего сгорания (рис.2) измеряют дат-

чиком 16 температуру обкатываемого двигателя, вычисляют на линейризаторе 17 по формуле (1) момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала обкатанного двигателя при данной температуре, измеряют датчиком 12 момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала обкатываемого двигателя в конкретной контрольной точке при той же температуре, сравнивают их на третьем вычитающем элементе 18 и по разности между величиной момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала обкатываемого двигателя при данной температуре и величиной момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала обкатанного двигателя при той же температуре блоком 14 назначается длительность приработки до следующей контрольной точки. Чем меньше эта разность, тем меньше время необходимое для приработки обкатываемого двигателя, равенство моментов сопротивления прокручиванию обкатываемого и обкатанного двигателей (разность равна нулю) свидетельствует об окончании приработки деталей обкатываемого двигателя.

$M_c \cdot H_m$

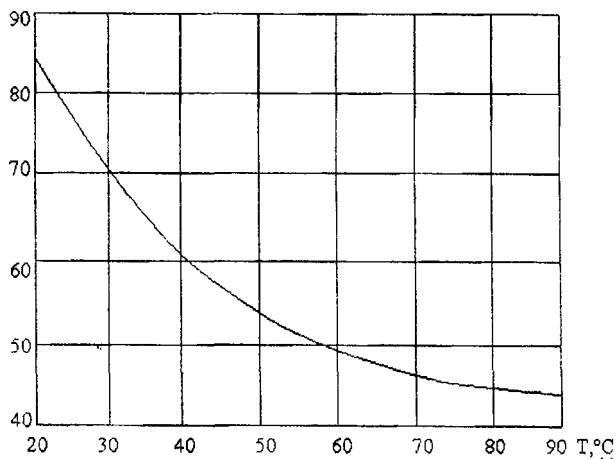


Рис.1. Зависимость момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала от температуры.

В режим прокручивания стенд переводится по команде блока 15 управления, при этом производится измерение момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала обкатываемого двигателя и его температура, сигнал, соответствующий разности моментов сопротивления прокручиванию коленчатого вала обкатываемого двигателя при данной температуре и обкатанного при такой же температуре с выхода третьего вычитающего элемента 18 поступает на вход устройства 13 опроса, где и запоминается, а в зависимости от величины сигнала с этого устройства блоком 14 назначе-

ния длительность приработки задается длительность приработки двигателя до следующей точки измерения.

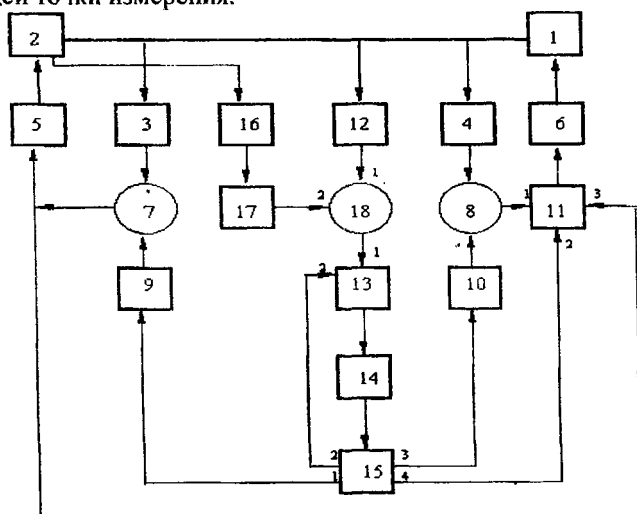


Рис. 2. Стенд для обкатки и испытания двигателя внутреннего сгорания.

Данное устройство позволяет сократить общее время обкатки за счет уменьшения времени измерения момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала путем учета влияния температуры обкатываемого двигателя на величину момента сопротивления прокручиванию.

## Employment of virtual models in production engineering

**Mikołajczyk Tadeusz**, University of Technology and Agriculture, t. Bydgoszcz, Poland

The new direction in production engineering are geometric and kinematics flexible (GKF) tools. This one replaces many commercial tools that rely on a constant geometry (fig 1). Tool with geometry of constant can represent as point, and GKF tool with variable geometry, which parameters can change in definite range fills area hyperspace, taking place suitable geometry constant tools.

Good idea of research end to presentations this kind of tools are virtual models permitting to analyze different setting and configurations models of tool before realization his prototype. In paper presents any examples worked out in Department of Production Engineering, University of Technology and Agriculture, Bydgoszcz (Poland).

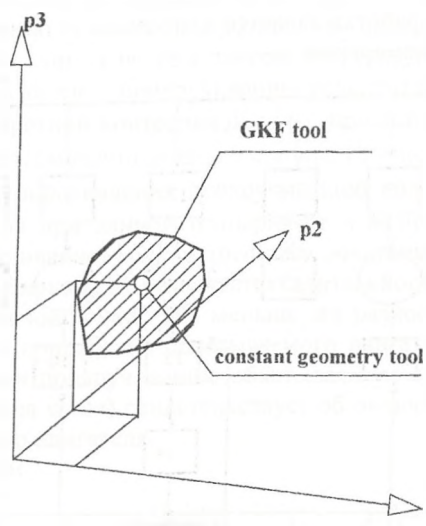


Fig. 1. Introduction constant geometry and GKF tool in three-dimensional space

On fig. 2 presents virtual models of tool with rotary cutting socket being able to take place of 14 examples of turning tools with constant geometry. This model in 3D STUDIO 2.0 (firms AUTODESK) program was prepared. Worked out algorithm of animation cutting socket reproducing change of cutting angle. Select phases of animation on fig. 2 are showed.

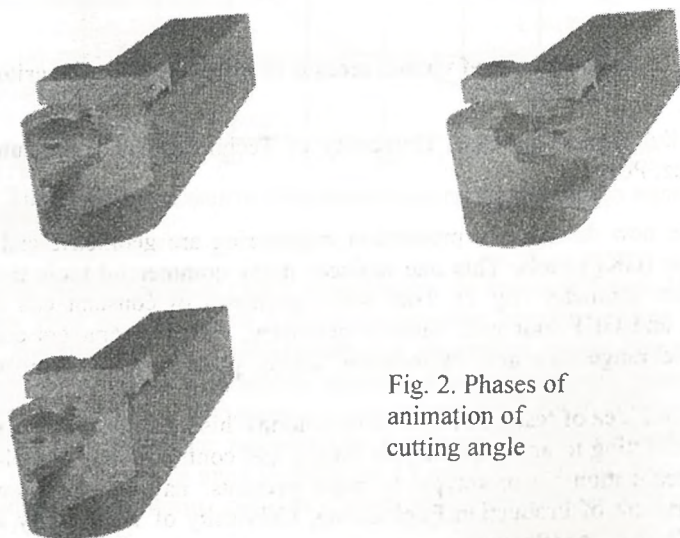


Fig. 2. Phases of animation of cutting angle

Animation of model showed correctness worked out of construction, besides this model is useful promotion and introduction of solution.

Virtual model of universal shape milling cutter presents on fig 3a. Tool consists of corps (1), in which are situated shape edges (2) tightened screws (3). Advantage of solution is possibility of obtaining with limited numbers of edges very large numbers outlines of milling cutter surface activity which examples of machining on fig. 3b are presents. Prototype of this tool was used to machining of wood.

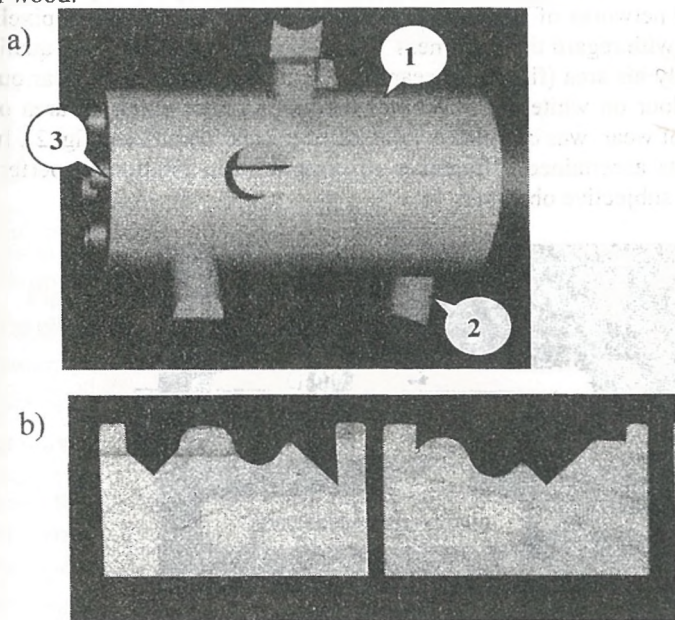


Fig. 3. Simulation of work universal shape milling cutter (a) and examples of machining (b)

Utilization of virtual models and computer animation creates possibility of investigations model of construction on the drawings without his realizations in metal, what is especially essential in chance of GKF tools.

### **Aplication of neural networks to surface estimation**

**Mikołajczyk Tadeusz**, University of Technology and Agriculture, t. Bydgoszcz, Poland

In last period grows up artificial intelligence use. Neural networks are one

from especially effective tools in this range. They find use in many spheres.

In papers introduced estimation of surface edge wear and roughness of worked surface helped with neural networks in examples, which was realized in Department of Production Engineering , University of Technology and Agriculture, Bydgoszcz (Poland).

To recognizing sizes of edge wear on the image especially worked out of software Neural Wear was used. In this software qualifies oneself area on which follows learnedly not superintended nets of SCBC type of not used edge surface view. Next neural networks of Neural Wear software past analysis of light pixels of image of wear with regard their nearness executes condition of surface qualifying automatically his area (fig. 1) to wear out. On recognized area of wear out pixels change colour on white and becomes definite number pixels of area of wear. From area of wear was calculated value of edge wear parameter (fig. 2). In execution attempts ascertained differences of error 8 % in relation to perfect measurements by subjective observer.

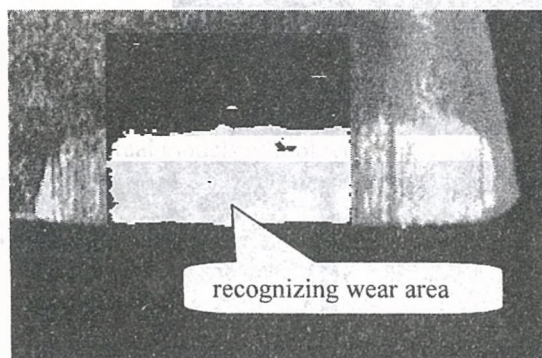


Fig 1. View o edge image past past Neural Wear processing

Photometric measurements of surface roughness was executed with use of equipped arrangement in illuminate laser and receiver in photodiode form. This simple arrangement is not in a position to equal to professional arrangements to no contact estimations of surface roughness. To graduating of arrangement one used neural networks. As entries of net except photometric signal used with two connected with surface roughness parameters feed -  $f$  and nose radius of edge -  $r$  , which determined height of surface roughness. How output layer was used results of contact method of surface roughness parameter  $R_a$ . Error of average lectures carried out about 10%. To measurements with learned neuron net in real time was used of special software Neural\_Ra. This software, with special neural networks object, in Visual Basic language worked out. The photometric signal transmitted to computer by PCL818L card (Advantech).

Analysis of knowledge on the literature basis and results of own works in range of use of neural networks in production engineering shows on high affec-

tivity this method, which makes possibility:

- automatic recognizing of edge wear with exactitude about 8%,
- graduating of photometric arrangement to measurement of surface roughness.

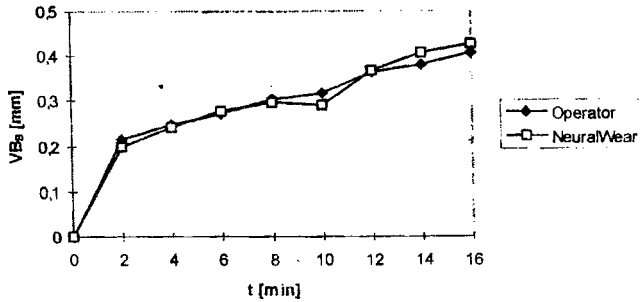


Fig. 2. Comparison of results of measurements by Neural Wear and subjective observer

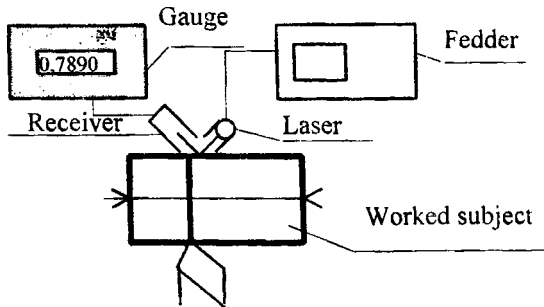


Fig. 3. Scheme of arrangement to photometric investigations

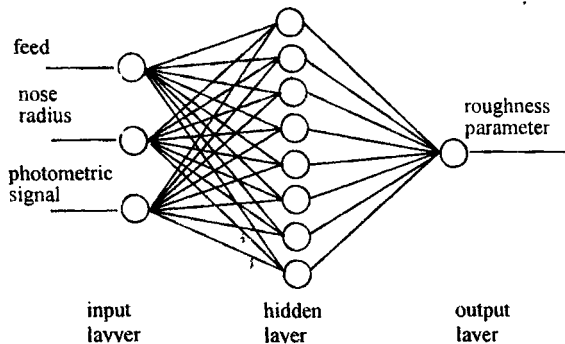


Fig. 4. Scheme of neural network used in investigations

## Моделирование динамики изнашивания почворезущих деталей

Ивашко В.С., Бетень Г.Ф., Кривцов А.В., БГАТУ, г. Минск

Структура модели почворезущих профилей (ПРП) включает исходные данные ( $t$  - время, характеристики изнашивания в разных сечениях), представляющие в системе координат  $XOY$  динамику изнашивания почворезущих профилей (ДИ ПРП) вектором абсцисс  $x_i$  и матрицами ординат опорных точек ( $Y'_{jn}$ ):

$$\begin{aligned} Y'_{jn} &= u'_n + y'_{jn}, n = \overline{1, N}, \\ j &= \overline{1, J}, t = \overline{0, T}. \end{aligned} \quad (1)$$

Рассматривая  $u'_n$  и  $y'_{jn}$  как дискретные реализации дискретного процесса соответственно изнашивания РЭ по ширине  $U(t)$  и его формоизменения  $Y_u(x, t)$  в системе координат  $xoy$ , случайную ДИ ПРП  $Y(x, t)$  в обобщённых координатах  $XOY$  можно представить суммой  $Y(x, t) = U(t) + Y_u(x, t)$  и моделировать ДИ ПРП почленно.

Выявленный подход к моделированию применим к большинству наблюдаемых на практике ДИ ПРП, представляющих собой *нестационарные случайные процессы* затупления в различных средах, развития задней фаски на плотных почвах, чрезмерного или недостаточного самозатачивания ПРП и др. (табл.). Тип моделей выбирают исходя из анализа полученных данных. Представленные в табл. значения  $u'_n$  и  $y'_{jn}$  составляют динамические (временные) ряды, уровнями которых служат реализации  $U(t)$  и  $Y_u(x, t)$ . Заменой этих реализаций оценками характеристик  $U(t)$  и  $Y_u(x, t)$  статистическое моделирование ДИ ПРП можно свести к математическому описанию динамических рядов усредненных по бокам величин  $\bar{u}(t)$  и  $\bar{y}_j(t)$  и дисперсий  $D_u(t)$  и  $D_{y_j}(t)$ .

Выявляемая по эмпирическим данным тенденция ряда износа ПРП по ширине аппроксимируется *уравнением тренда*

$$\hat{u} = f(t) = \varepsilon_u(t), \quad (2)$$

или уравнением авторегрессии

$$\hat{u} = f(a_i, a_{i-1} + \varepsilon_u(t)), \quad (3)$$

где  $i = \overline{1, I}$  - порядковые номера уравнений ряда;

$a_i$  – параметры модели;

$\varepsilon_u(t)$  – случайный остаток.

Случайное формоизменение профиля ПРП можно описать регрессионным уравнением с динамизированными коэффициентами  $a_i(t)$

$$\hat{y} = f(a_i(t), x + \varepsilon_y(x, t)), \quad (4)$$

где  $i = \overline{1, I}$  – порядковые номера коэффициентов уравнения.

Для этого по вектору  $(x_j)$  и столбцам  $y_j(t)$ , блоков табл. строят  $T + I$  однотипных регрессивных уравнений усредненных профильных  $\hat{p}(t)\hat{y} = f(a_i^t, x) + \varepsilon_y(x, t)$ . Входящие в них коэффициенты  $a_i^t$  от уравнения к уравнению изменяются и составляют  $I$  временных рядов с трендами  $a_i(t)$ . Статистическая модель ДИ ПРП предстанет суммой тренда (2) или авторегрессии (3) и регрессии (4)

$$\hat{Y} = \hat{u}(t) + \hat{y}(x, t), \quad (5)$$

Возможен и другой подход к моделированию, если изнашивание ПРП рассматривать как случайное смещение опорных точек профильных по уровням  $x_j$ . ДИ ПРП в этом случае можно представить системой  $J + I$  уровней уравнений трендов или авторегрессий усредненных ординат  $\hat{Y}_j(t)$  вида

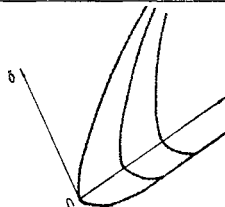
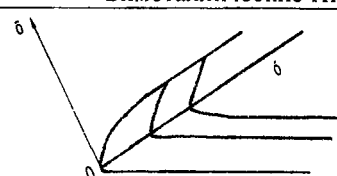
$$\hat{Y}_j^t = f(a_{ji}, \bar{Y}_{j-t}) + \varepsilon_{yj}(j, t), \quad (6)$$

где  $\tau$  – лаг ряда.

Такой подход удобен для описания изнашивания на тяжелых суглинках ПРП со сложным профилем – монометаллических (МПРП), наплавленном твердым сплавом (при чрезмерном самозатачивании) и др. Изнашивание ПРП с самозатачиванием в форме стабилизации профиля (СП) можно рассматривать как стационарный случайный процесс, если интенсивность изнашивания ПРП по ширине  $\gamma_{sl}$ , усредненные ординаты  $y_i(t)$  и их дисперсии  $D_{\gamma_{sl}}, D_{y_i}(t)$  варьируют в небольших пределах. Моделирование в этом случае сводится к нахождению усредненной величины  $\gamma_{sl}$ , построению уравнения регрессии усредненной профильной  $y(x)$  по всему наблюдаемому ансамблю и их доверительных интервалов

$$\hat{Y} = \bar{\gamma}_{sl}t + \bar{y}(x) + \varepsilon_y\gamma_{sl}(x, t), \quad (7)$$

Типы динамики изнашивания почворезущих профилей и их математические модели

| Наблюдаемая ДИ ПРЭ                              |                                                                                   | Математические модели для аппроксимации: 1-ДИ ПРЭ, 2-изнашивания ПРЭ по ширине, 3-профильных кривых                                                  |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характерные особенности                         | Схема                                                                             |                                                                                                                                                      |
| Монометаллические ПРП                           |                                                                                   |                                                                                                                                                      |
| Затупление плужных лемехов на тяжелых суглинках |  | 1-модели (5), (6) отдельно для верхней и нижней фосок; 2-алгебраические полиномы, уравнение авторегрессии (3); 3-экспоненты, уравнения авторегрессии |
| Биметаллические ПРП                             |                                                                                   | 1-уравнение регрессии (7)                                                                                                                            |
| Самозатачивание в форме стабилизации профиля    |  |                                                                                                                                                      |

## Тепловыделение при работе двигателей внутреннего сгорания

Лебеденко И.Г., Таврическая с.х.академия, Бохан Н.И., БГАТУ, г.Минск

Общее количество выделяемого при работе двигателя тепла зависит от типа двигателя, т.е. от количества потребляемого топлива.

При этом часть теплоты превращается в полезную работу, а часть затрачивается на различные потери в действительном цикле двигателя. Так теплота передается газами через стенки цилиндра, через стенки выпускного канала в головке при выпуске, теплота выделяемая за счет трения поршней и переданная через стенку цилиндра, переходящая в охлаждающую среду и уходящая с выхлопными газами.

Доля теплоты, превращенной в эффективную, составляет 32-37%, потери в охлаждающую среду 18-20%, с отработанными газами 37-30%.

Непроизводительные потери тепла могут быть уменьшены при условии их утилизации для нужд производства.

Одним из вариантов использования тепла, которые отдает двигатель в систему охлаждения, и того, что теряется с выхлопными газами, может быть использование этого тепла для подогрева приточного воздуха, которая обслуживает боксы, где происходит испытание двигателей.

При этом предварительный подогрев холодного наружного воздуха производится с использованием тепла оборотного водоснабжения в системе охлаждения двигателя, в результате чего отпадает необходимость в строительстве градирни. Затем догрев идет за счет использования тепла уходящих газов. В случае необходимости окончательное достижение температур, необходимых для приточного воздуха может быть достигнуто со значительной экономией, используя традиционные теплоносители.

Тепло воды оборотного водоснабжения используется для подогрева приточного воздуха приточной системы, подающей в воздух в боксы в 1-ой ступени подогрева, определяется по выражению

$$\Delta Qi = 7 \cdot G \cdot c \cdot \Delta t \text{ ккал/ч}$$

$\Delta Qi$  – тепло, которое можно отобрать от воды оборотного водоснабжения (ккал/ч) .

$G$  – расход воды в системе оборотного водоснабжения кг/ч,

$$2000 \times 7 = 14000 \text{ кг/ч.}$$

$\Delta t$  – перепад температур в калориферах 1-ой ступени,  $\Delta t = t_k - t_n$ ,

где  $t_k$  и  $t_n$  – соответственно конечная и начальные температуры воды в системе 1-ой ступени подогрева ( $t_k=85^\circ\text{C}$ ,  $t_n=65^\circ$ );

$C$  – теплоемкость воды (ккал/кг $^\circ\text{C}$ ).

Тогда  $\Delta Qi = 7 \times 2000 \times 20 = 280000$  ккал/ч. Экономическая эффективность  $\text{Эф}$  руб/год может быть представлена как разность

$$\text{Эф} = \Delta И_T - \Delta И_Э - \sum \Delta K_i - E_n \cdot \Delta A_i - \Delta P_i - \Delta \delta_i$$

где:  $\Delta И_T$  – экономия затрат на тепловую энергию руб/год;

$\Delta И_Э$  – дополнительные затраты на электроэнергию руб/год;

$\Delta K_i$  составляющие дополнительных капитальных затрат, руб;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений 1/год. ( $E_n=0,12$ ).

$\Delta A_i$ ,  $\Delta P_i$ ,  $\Delta \delta_i$  – дополнительные затраты на реновацию, текущий, капитальный ремонт и техническое обслуживание, руб./год.

С учетом годового расхода тепла, дополнительных затрат на электроэнергию, монтаж и наладку теплоутилизатора, затрат на воздухопроводы экономический эффект от внедрения теплоутилизатора определяем по формуле

$$\text{Эф} = \Delta И_T - \Delta И_Э - \sum \Delta K_i (E_n + \alpha)$$

Срок окупаемости внедрения теплоутилизации составит:

$$T_{ок} = \frac{\sum \Delta K_i}{\Delta И_T - \Delta И_Э - \sum \Delta K_i \alpha} = 5,25 \text{ года}$$

что значительно меньше нормативного срока окупаемости равного 8,33.

## Обоснование конструкции противоточного вертикально-секционного скоростного кондиционера фуражного зерна

Талалуев А. В., инженер, БГСХА, г. Горки

Анализ научных исследований и технологий углубленной обработки зернового сырья при производстве комбикормов показал, что применение различных способов гидротермической обработки (ГТО) позволяет улучшить питательную ценность конечного продукта, а, следовательно, способствует лучшему усвоению его организмом животных.

Необходимыми факторами ГТО являются: температура, влажность, давление, время обработки, различные механические воздействия.

Одним из методов, объединяющим в себе вышеперечисленные факторы, является скоростное кондиционирование. Данный метод позволяет, за короткий промежуток времени, произвести пропаривание материала и насыщение его дополнительной влагой, а также осуществить декстринизацию крахмала, денатурацию белка, инактивацию антипитательных веществ, практически полную стерилизацию конечной продукции от микроорганизмов и бактерий.

В БГСХА разработана конструкция противоточного вертикально-секционного скоростного кондиционера, которая обеспечивает направленное и активное воздействие тепла, влаги и давления на биохимические изменения обрабатываемого зернового сырья.

С целью определения конструктивных и технологических параметров разработанной установки, в БГСХА были проведены эксперименты на четырехсекционной опытной установке с диаметром секции 0,3 м. При проведении лабораторных исследований изучали динамику движения зернового материала, с одинаковым и противоположным направлениями поворота рабочих элементов на соседних секциях установки. В качестве параметров оптимизации были выбраны максимальная выдержка материала и минимальные потери давления в установке при устойчивом псевдооживленном слое. В качестве обрабатываемого материала использовался ячмень с эквивалентным диаметром зерен  $d_z=3,8$  мм, скоростью витания  $\vartheta_{\text{внт}}=9$  м/с, коэффициентом парусности  $k_p=0,0084$  л/м и влажностью  $W=14$  %.

Анализ результатов поисковых экспериментов противоточного вертикально-секционного скоростного кондиционера показал, что наиболее приемлемым является вариант конструкции с противоположным направлением поворота рабочих элементов на соседних секциях, и позволили определить рациональные интервалы варьирования факторов при кондиционировании зернового материала: подача материала – 300...600 кг/ч; подача носителя – 0,12...0,37 м<sup>3</sup>/с; угол поворота рабочего элемента – 20...30 град.; количество рабочих элементов – 3...6 штук. При этом было получено максимальное

значение выдержки материала в 4-хсекционном скоростном кондиционере равно 6,74 – 7,28 с.

В результате проведения основных экспериментов и обработки полученных данных были получены уравнения математической модели второго порядка для 4-хсекционного скоростного кондиционера:

$$\tau = -140,605 + 95,155 \cdot Q + 10,899 \cdot \alpha + 2,588 \cdot n - 0,694 \cdot Q \cdot \alpha + 1,370 \cdot Q \cdot n + 0,028 \cdot \alpha \cdot n - 176,304 \cdot Q^2 - 0,226 \cdot \alpha^2 - 0,435 \cdot n^2$$

$$\Delta P = -29228,588 + 318,166 \cdot Q + 144,836 \cdot \alpha + 16257,671 \cdot n + 142,711 \cdot Q \cdot \alpha + 56,978 \cdot Q \cdot n + 4,726 \cdot \alpha \cdot n - 9545,960 \cdot Q^2 - 4,057 \cdot \alpha^2 - 2337,961 \cdot n^2,$$

где  $\tau$  - выдержка материала в скоростном кондиционере, с;  $\Delta P$  – потери давления в скоростном кондиционере, Па;  $Q$  - подача носителя, м<sup>3</sup>/с;  $\alpha$  - угол поворота рабочего элемента, град.;  $n$  - количество рабочих элементов на секции, шт.

Полученные уравнения позволяют связать технологические и энергетические показатели с конструктивными параметрами установки и параметрами потока теплоносителя.

### **Определение рациональных параметров термодекстринизатора фуражного зерна**

**Курзенков С. В., ассистент, БГСХА, г. Горки**

На протяжении нескольких лет в БГСХА ведется работа по совершенствованию технологии высокотемпературной обработки зернового сырья.

Опыт работы термовструдера АО «Экомол» г. Орша позволил выявить основные недостатки его конструкции, среди которых – неустойчивое движение материала, что приводит к залеганию материала, а также большие гидравлические сопротивления в местах встречи потоков теплоносителя. Поэтому было проведено ряд изменений с целью доведения термовструдера до наиболее рациональной и работоспособной конструкции. Среди них самым принципиальным является замена встречноструйного движения потока газозвеси на прямоточное с установкой тормозных устройств.

Сотрудниками БГСХА была предложена конструкция термодекстринизатора, состоящая из ряда участков разгона и торможения (тормозного устройства). Такая конструкция позволяет создать пульсационное движение материала в установке, интенсифицировать процесс обработки и совместить его с пневмотранспортированием материала.

Был изготовлен лабораторный образец данной установки и проведены экспериментальные исследования по оптимизации конструктивных параметров и режимов работы на зерновых культурах ржи и сои.

Для изучения процесса движения зернового материала на основании априорной информации были выбраны следующие факторы: скорость носи-

теля ( $\vartheta_n$ , м/с), массовая подача материала ( $G_m$ , кг/ч), диаметр разгонного канала ( $d_{rp}$ , м), длина участка разгона ( $\ell$ , м), диаметр ( $D$ , м), высота рабочей части тормозного устройства ( $h$ , м). Учитывая, что величина диаметра трубопровода является определяющей пропускную способность установки и участвует при расчете всех остальных конструктивных параметров предлагаемой установки, она была зафиксирована  $d_{rp}=0,08$  м.

Результаты поисковых экспериментов позволили выбрать уровни и интервалы варьирования факторов при проведении планирования экспериментов: для ржи –  $\vartheta_n = 18 \div 24$ ,  $G_m = 200 \div 800$  кг/ч,  $\ell = 2,000 \div 6,000$  м,  $D = 0,200 \div 0,315$  м,  $h = 0,300 \div 0,600$  м; для сои –  $\vartheta_n = 20 \div 26$ ,  $G_m = 200 \div 600$  кг/ч,  $\ell = 4,000 \div 10,000$  м,  $D = 0,200 \div 0,270$  м,  $h = 0,400 \div 0,700$  м.

Все перечисленные факторы отвечают требованиям управляемости и независимости.

Как показали результаты исследований движения материала в установках данного типа, выдержка материала является параметром, определяющим степень обработки зернового материала в установке, а потери давления параметром, определяющим энергетику процесса. Поэтому за параметры оптимизации были выбраны следующие: выдержка в тормозном устройстве ( $\tau$ , с) и потери давления при прохождении потока газовзвеси тормозного устройства ( $\Delta P$ , Па).

Исследование влияния данных факторов на параметры оптимизации и их оптимизацию проводили в ходе многофакторного эксперимента.

В результате были получены следующие адекватные математические модели второго порядка и оптимальные решения по обоим из параметров оптимизации соответственно для ржи (1) и сои (2):

$$\tau = -5,438 + 0,053 \cdot \vartheta_n + 1,452 \cdot \ell + 15,687 \cdot h + 0,033 \cdot \vartheta_n \cdot \ell + 0,113 \cdot \vartheta_n \cdot h + 1,506 \cdot \ell \cdot h - 0,005 \cdot \vartheta_n^2 - 0,336 \cdot \ell^2 - 28,519 \cdot h^2, \quad G_m = 500 \text{ кг/ч}, \quad \vartheta_n = 23,5 \text{ м/с}, \quad \ell = 4,300 \text{ м}, \quad D = 0,270 \text{ м}, \quad h = 0,435 \text{ м}, \text{ при этом } \tau = 1,721 \text{ с.};$$

$$\Delta P = 1623,6 - 175,7 \cdot \vartheta_n + 4674,1 \cdot D - 1703,3 \cdot h - 18,7 \cdot \vartheta_n \cdot D + 28,4 \cdot \vartheta_n \cdot h + 463,1 \cdot D \cdot h + 4,7 \cdot \vartheta_n^2 - 7610,3 \cdot D^2 + 1729,0 \cdot h^2, \quad G_m = 500 \text{ кг/ч}, \quad \vartheta_n = 18,0 \text{ м/с}, \quad \ell = 4,300 \text{ м}, \quad D = 0,315 \text{ м}, \quad h = 0,387 \text{ м}, \text{ при этом } \Delta P = 350,6 \text{ Па};$$

$$\tau = -69,665 - 0,256 \cdot \vartheta_n + 8,749 \cdot \ell + 156,602 \cdot h + 0,0816 \cdot \vartheta_n \cdot \ell + 0,986 \cdot \vartheta_n \cdot h - 7,074 \cdot \ell \cdot h - 0,017 \cdot \vartheta_n^2 - 0,487 \cdot \ell^2 - 114,894 \cdot h^2, \quad G_m = 400 \text{ кг/ч}, \quad \vartheta_n = 25,1 \text{ м/с}, \quad \ell = 6,887 \text{ м}, \quad D = 0,230 \text{ м}, \quad h = 0,577 \text{ м}, \text{ при этом } \tau = 2,45 \text{ с.};$$

$$\Delta P = 4015,2 - 204,7 \cdot \vartheta_n + 6074,9 \cdot D - 5827,6 \cdot h + 257,0 \cdot \vartheta_n \cdot D + 43,1 \cdot \vartheta_n \cdot h + 1109,3 \cdot D \cdot h + 5,1 \cdot \vartheta_n^2 - 22864,8 \cdot D^2 + 5178,0 \cdot h^2, \quad G_m = 400 \text{ кг/ч}, \quad \vartheta_n = 20,0 \text{ м/с}, \quad \ell = 7,000 \text{ м}, \quad D = 0,270 \text{ м}, \quad h = 0,508 \text{ м}, \text{ при этом } \Delta P = 371,6 \text{ Па}.$$

В результате решение компромиссной задачи были получены следующие рациональные параметры установки: для ржи –  $\vartheta_n = 18,9$  м/с,  $G_m = 500$  кг/ч,  $\ell = 4,217$  м,  $D = 0,307$  м,  $h = 0,394$  м при этом  $\tau = 1,600$  с,  $\Delta P = 359,6$  Па и для сои –  $\vartheta_n = 21,6$  м/с,  $G_m = 400$  кг/ч,  $\ell = 6,964$  м,  $D = 0,257$  м,  $h = 0,530$  м при этом

$\tau=2,145 \text{ c, } \Delta P=416,7 \text{ Pa.}$

## Intelligent granulation system of grain

**Józef FLIZIKOWSKI**, prof., dr hab. eng., Academy of Technology and Agriculture (ATR) in Bydgoszcz, Bydgoszcz, Poland

**1. Introduction.** This paper contains practical fundamentals of both design and intelligent milling process innovations, that make use of analogy between a grain and a machine member and that treat a grain as part of grinder - granulator design. The author has applied eco-balance method of food granulators analysis. Results of research potentials' studies, actively controlled towards: mathematical description of general or selected machine operation, influencing machine environment of food in both active and passive manner have also been described; whereas quality – as reliability estimator – means the distance between the actual system response and the response of design model. Faculty of Mechanics at the ATR in Bydgoszcz conducts intensive research on food processing aiming at describing the field of knowledge on mechanical engineering of grain milling - granulation [1, 3]. To show the depth of issues concerning a grinder (design) it is necessary to find the adequate field of knowledge. As it can be assumed from the earlier results, the proper field of systematics, along with the field of knowledge and innovation, comprises fundamentals of the machine building and operation, as well as food environment appliances and installations. Obviously limited to machine design theory. The basis of the most considerations on brittle cracking, along with the mechanics of cracking, is Griffith's classic theory of gaps (1920 r.). So, the elastic distortion energy decreases by  $\Delta U_s = -\pi l^2 \sigma^2 / E$ . At the same time there is an increase of surface energy  $\gamma$ , necessary to create a new surface. This energy totals  $4l\gamma$ . And total energy of cracking development consists of those two energies

$$\Delta U = 4l\gamma - \frac{\pi l^2 \sigma^2}{E} \quad (1)$$

After it has reached the maximum value, further development of cracking is described by potential energy of elastic distortion of the plate, so there is no need to provide an external energy. At this moment the gap (its critical length -  $2l_{kr}$ ) is in the metastable state and is beginning to expand intrinsically at the speed comparable to the speed of sound, causing brittle cracking. Supposing, that random quantities of both inflicted and dismembering stresses are of normal distribution, it is possible to calculate basic indicators of seed grinding probability. The inflicted stress curve  $p(\sigma)$  and the temporary stress curve, that dismember a seed  $p(Z)$  have been shown in the fig.1. Supposing, that load probability distribution and grinding probability distribution are normal-type with the mean values and with standard deviations. Symbolic meaning of such grinding analysis is

worth paying attention to – because of great variety of seed characteristics and due to subjecting to the random grinding loads.

2. **Material and method.** The intelligent granulator design is the reason for creation, operation and „liquidation” of – „life in environment” as well as the subject of cognition of a machine. Theory of grinder design is therefore the basis of innovative methodology of proceedings with biological material during grinding process.

Theory of intelligent granulator system is made up of descriptions, models, rules and principles of food environment machines design, which can be reduced to the following criteria:

- **optimal load**, - the necessity to guard against harmful impact of machines on food, which might than be bad for health, environment and the design itself;
- **optimal material**, - special requirements in relation to internal structure of working elements of a grinder as well as their machining;
- **optimal stability**, - the necessity to ensure high standard of hygiene facility during operation of the machine, high peculiarity of some machining operation, which are very difficult to stabilize, mechanize or even, to automate; the necessity to measure, monitor and control biological features of food, previously processed in machines;
- **optimal relations of related quantities**, - loads - distortions - stress, maintenance of high smoothness, efficiency, continuity of technological operations, traditions - progress, innovations, „novelties” for food markets.

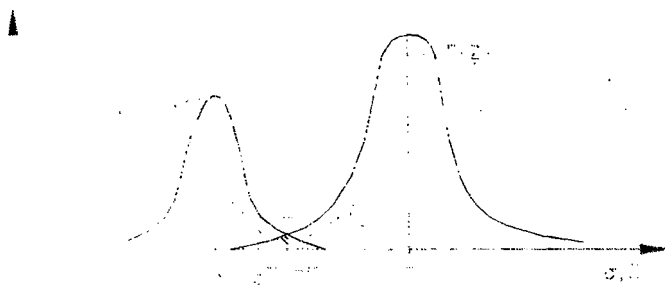


**Fig. 1.** Scheme for items grinding probability calculations

3. **Material and method.** The intelligent granulator design is the reason for creation, operation and „liquidation” of – „life in environment” as well as the subject of cognition of a machine. Theory of grinder design is therefore the basis of innovative methodology of proceedings with biological material during grinding process.

Theory of intelligent granulator system is made up of descriptions, models, rules and principles of food environment machines design, which can be reduced to the following criteria:

- **optimal load**, - the necessity to guard against harmful impact of machines on food, which might than be bad for health, environment and the design itself;
- **optimal material**, - special requirements in relation to internal structure of working elements of a grinder as well as their machining;
- **optimal stability**, - the necessity to ensure high standard of hygiene facility during operation of the machine, high peculiarity of some machining operation, which are very difficult to stabilize, mechanize or even, to automate; the necessity to measure, monitor and control biological features of food, previously processed in machines;
- **optimal relations of related quantities**, - loads - distortions - stress, maintenance of high smoothness, efficiency, continuity of technological operations, traditions - progress, innovations, „novelties” for food markets.

#### **Математическое моделирование процесса очистки воздуха в животноводческих помещениях**

**Кольга Д. Ф.**, доц., канд. техн. наук, БГАТУ, г. Минск, **В. Граф**, Институт повышения квалификации ИТР, г. Берлин, Германия

Проведенные в течение 1998-2000 годах исследования воздушной среды в свиноводческих, птицеводческих, кролиководческих и коневодческих помещениях показали, что параметры микроклимата в большинстве этих помещений далеко не оптимальны как для человека, так и для животных. В наших исследованиях определялись концентрации таких газов как аммиак  $\text{NH}_3$ , углекислый газ  $\text{CO}_2$ , окись азота  $\text{N}_2\text{O}$ , метан  $\text{CH}_4$  и диметиламин  $\text{C}_2\text{H}_7\text{N}$ , а также концентрация пыли, температура и влажность воздуха в различных точках помещения для различных половозрастных групп животных в различные периоды года. Были выявлены характерные для каждого вида животных вредные газы, величины их концентраций в зависимости от условий содержания и кормления, сезона и времени суток. Неблагоприятные параметры среды обитания могут оказать негативное воздействие как на здоровье и работоспособность оператора, так и на здоровье и продуктивные качества животных.

Для снижения концентрации вредных веществ в воздухе применялось ионизирование воздуха и очистка озонированием. Наряду с этим исследовались альтернативные системы содержания животных (свободно-выгульное в поле и свинарники с внешнеклиматическими параметрами) с целью выявления преимуществ каждой системы для использования их при создании новых прогрессивных систем.

Многообразие неблагоприятных факторов и сложный характер законов их изменения затрудняют адекватное проектирование систем очистки и вентиляции помещений. Повышение эффективности очистки воздуха в помещении за счет усовершенствования существующих и разработки новых методов невозможно без рассмотрения теории процесса очистки.

При составлении математической модели были приняты следующие допущения: мгновенная концентрация вредного вещества ( $n$ ) во всех точках помещения одинакова; концентрация компонентов воздушной среды в приточной вентиляции ( $n_1$ ) постоянна; кратность воздухообмена ( $k$ ) и выделение вредных веществ неизменны; сила тяжести не учитывается.

Составим уравнение материального баланса для элементарного промежутка времени ( $t, t+dt$ ):  $dq = dq_1 + dq_2 - dq_3$ , (1)  
где  $dq$  – изменение количества вредного вещества в воздухе помещения за время  $dt$ ;  $dq_1$  – количество вредного вещества, поступившего в помещение с приточным воздухом;  $dq_2$  – выделение вредного вещества от распределенного источника;  $dq_3$  – количество вредного вещества, удаленного из помещения;

$$dq_1 = n_1 k V dt, \quad (2) \quad dq_2 = p dt, \quad (3) \quad dq_3 = n k V dt, \quad (4) \quad dq = V dn. \quad (5)$$

В выражениях (2) ... (5):  $V$  – объем помещения,  $m^3$ ;  $k$  – кратность воздухообмена,  $1/c$ ;  $p$  – вредные выделения в помещении,  $mg/m^3$ .

$$\text{Подставив выражения (2) ... (5) в (1): } V dn = n_1 k V dt + p dt - n k V dt \quad (6)$$

Поделив обе части уравнения (6) на  $V dt$  получим дифференциальное уравнение:  $dn/dt = n_1 k + p/V - nk$  (7)

Решив уравнение (7) при начальных условиях  $t = 0$  и  $n = n_0$ , получим формулу для изменения концентрации вредного вещества во времени

$$n = (n_1 + p/kV)(1 - e^{-tk}) + n_0 e^{-tk}. \quad (8)$$

Зная закон изменения во времени концентрации вредного вещества, можно определить как мгновенную, так и установившуюся концентрацию вредного вещества в воздухе производственного помещения и оценить эффективность очистки воздуха. Очевидно, что установившуюся концентрацию воздуха в помещении можно определить по выражению:

$$n_y = \lim_{t \rightarrow \infty} n = n_1 + p/kV. \quad (9)$$

Подставив полученное выражение (9) в (8), получим:

$$n = n_y (1 - e^{-tk}) + n_0 e^{-tk}. \quad (10)$$

Эффективность мгновенной (текущей) очистки помещения (эффективность вентиляции) можно определить по выражению:  $\eta = (n_0 - n)/n_0$ . (11)

Эффективность очистки помещения при установившемся процессе (установившейся концентрации) можно определить из выражения:

$$\eta_y = (n_0 - n_y)/n_0. \quad (12)$$

Полученные математические выражения справедливы для любого вредного вещества и позволяют провести расчет и подобрать оптимальные па-

аметры вентиляционной системы для каждого вида животных.

### **Модернизированная конструкция трубных хлебопекарских печей**

**Феликс Хварсьтянек**, Техническая сельскохозяйственная Академия, г. Быдгощ, Республика Польша

Современные пекарские печи – это, в основном, циклотермические, электрические (сопротивления, излучения), а также трубные и каналные. Трубные печи отличаются высокой универсальностью применения, долговечностью и надежностью, а также бесшумностью и комфортностью в эксплуатации. Поэтому они постоянно (несмотря на вековые традиции) являются и объектом постоянного профессионального интереса конструкторов и пекарей. Систематические усовершенствования, особенно касающиеся конструкции корпуса (когда-то – керамический, ныне – металлический), способа получения тепла (вначале – огонь на твердом топливе, сегодня – масляные и газовые форсунки) довели конструкции трубных печей до такого уровня технической надежности, экономической и эксплуатационной эффективности, что эти печи пользуются все возрастающим спросом и использованием в пекарнях, особенно малой и средней производительности. Полученные технико-эксплуатационные достижения повлекли за собой то, что трубные печи успешно конкурируют с иными типами печей.

Универсальность трубных печей с точки зрения возможных в использовании источников тепловой энергии (подходят все виды топлива), а также технологическую универсальность – пригодны для производства всего ассортимента выпечки (хлеб, кондитерские изделия и др.), а также надежностью и безопасностью. Все это стало предпосылкой, что эти печи восстанавливают свои несколько утерянные позиции, особенно в отношении циклотермических печей (шум, сложная конструкция, более короткий срок), и даже электрических (повышенная аварийность, высокая цена эксплуатации). Электрические печи все более смело занимают новую технологическую нишу для выпечки мелких изделий и кондитерии, изготовленных на конкретные потребности магазинов и гастрономических объектов.

Профессиональный выпуск хлебных изделий, а также всех кондитерских товаров в малых и средних пекарнях является доминирующим производством трубных печей, и все более уменьшающемся проценте циклотермических печей.

Существующие тренды развития трубных печей все более подчеркивают важность энергосбережения, охраны окружающей среды и промсанитарии стали основным стимулом для разработки значительно улучшенных трубно-каналных печей, печей новой развивающейся генерации.

Описанная печь обладает следующими преимуществами:

1) Меньшее количество пластов нагревательных труб в сравнении с использованными и традиционными конструкционными решениями: по одному слою труб на одну рабочую камеру.

2) Компактная металлическая конструкция печи и минимальный зазор между рабочими камерами выпечки позволяет лучше использовать и отвести тепло с уровней нагревательных труб. Меньший риск перегрева труб.

3) Благодаря расположению камеры сжигания сзади печи нагревательные трубы являются простыми, что обеспечивает легкость их монтажа, регулирование и консервацию.

4) Фасад печи вместе с передними (всадными) дверцами может отделяться от корпуса печи, что значительно облегчает все консервационные и ремонтные операции.

5) Печь комплектуется в энергосберегающие двуслойные всадные дверцы, длина которых равняется ширине всей рабочей камеры. Эффектом этого является уменьшение потерь пара и теплоправильный расклад температуры в подине (днище), особенно в придверной области, элиминация перемещения изделий в процессе выпечки. Возможная загрузка печи загрузочными аппаратами.

6) Печь оборудована модернизированной системой запаривания рабочих камер. Эта система обладает высокой производительностью получаемого пара, равномерностью запаривания, защитой задней части рабочих камер от перегрева.

7) Аппарат добавочного производства пара позволяет нагревать и запаривать ферментационную камеру, а также лучше использовать тепло печи.

8) Смонтированные на печи подогреватели воды позволяют использовать энергию отходов.

9) Печь обладает сушильной камерой (над третьей камерой), использующей тепло отходов.

10) Подпечек (ниша размером 500x1800x2200) закрывается отдельными дверцами и служит для вступительного подсушивания изделий, а также как подручная технологическая духовка – и также использует тепло печи.

11) Конструкция печи, уменьшающая теплопотери, а также изоляция корпуса печи, гарантирующая поддержку стабильной температуры печи на уровне проведения выпечки мелких и кондитерских изделий еще в течение шести часов после выключения печи.

12) Уменьшение расходов использования энергии (топлива) и эксплуатации на 20 %.

13) Печь может поставляться пользователям в демонтированном виде (их размеры не превышают 80 см).

14) Температура припечной области не образует некомфортных тепловых режимов для персонала.

### **Требования по качеству для воды как материала в пищевой технологии и сельском хозяйстве**

**Мария Янковска, Техническая сельскохозяйственная Академия, г. Быдгощ, Республика Польша**

В пищевых технологиях и сельскохозяйственном производстве вода используется для производственных процессов как один из ее составляющих материалов, как энергоноситель, для вспомогательных операций, социальных целей. На всех этих этапах вода должна соответствовать параметрам качества питьевой воды. Предприятия используют воду из общественных водопроводов либо из собственных гидрозаборов (в основном, подземных источников).

Питьевая вода должна иметь полезный для здоровья человека и животных физико-химический состав, не должна содержать вредных составляющих, должна быть безопасной с точки зрения бактериологического влияния. Должна иметь приятные для потребителя органолептические свойства.

Источником питьевой воды являются открытые водоемы и подземные пласты. Натуральная вода – это раствор минеральных солей, поэтому она является источником многих макро- и микроэлементов, необходимых для правильного функционирования человеческого и животного организма. Однако, вследствие деградации природной среды наступает загрязнение вод антропогенными субстанциями: тяжелыми металлами, синтетическими органическими комплексами, радионуклидами. К органическим микрозагрязнениям относятся пестициды, полифлориновые бифенилы – PCB. Органические хлорные циклы –  $\text{ChZO}$ , многоциклические ароматические углеводороды WWA. Они выступают в водной среде в количествах от следовых до значительных, но даже следовыми количествами загрязнений нельзя пренебрегать, т.к. большинство из них непосредственно или посредством являются вредными для здоровья человека, а некоторые обладают свойствами мутагенными и канцерогенными. Такому опасному загрязнению подвержены, в основном, воды открытых водоемов (реки, являющиеся источником питьевой воды для крупных городских агломераций). В подземных пластах, до сих пор считающихся самыми чистыми, все более часто обнаруживают сверхнормированные концентрации азотных соединений, в основном нитратов и аммиака, а также появление антропогенных субстанций.

Из органических соединений натурального происхождения, например гумусные субстанции, как и их антропогенные, в процессе хлорирования воды образуют органические хлороподобные, в т.ч. мута- и канцерогенные

Также и озонирование воды влечет за собой образование целого ряда органических соединений, в том числе и повышенной токсичности в сравнении с родительскими формами. Вследствие деградации окружающей среды получение питьевой воды высокого и даже удовлетворительного качества становится все более трудной и дорогостоящей проблемой.

Требования по качеству воды для питья подвержены постоянной эволюции, увеличивается количество нормированных параметров, а существующие нормативы непрестанно заостряются. Они являются также отображением уровня науки в отношении влияния составляющих натуральной воды, а также антропогенных загрязнений на организм человека, опосредованно также информируют о возможности выступления этих загрязнений в источниках питьевой воды. Существующий уровень знаний учитывает все практические указания Всемирной Организации Здравоохранения (WHO); в свою очередь отдельные страны и общественные организации, например, Евросоюз, опираясь на эти рекомендации, реализуют новелизацию (пересмотр) своих норм. Актуальные, действующие требования ВОЗ в отношении питьевой воды опубликованы в 1993 г., для стран Евросоюза обязательные требования ограничивает Распоряжение Министра Здравоохранения от 04.09.2000 г.

В табл. 1 представлены основные органолептические и физикохимические параметры для питьевой воды, отвечающие польскому, Евросоюзному и ВОЗ стандартам. На основании этих данных можно утверждать, что польские предписания соответствуют требованиям Евросоюза и ВОЗ.

Сравнивая польскую норму, действующую ныне и деактуализированную (норму 1990 г.), можно утверждать, что снижена допустимая окраска и мутность воды. Чем лучше будет ликвидирована цветность воды, тем меньше возникнет в процессе дезинфекции вредных для здоровья вторичных микрозагрязнений. Частицы, являющиеся «замутителями» воды, чаще всего оказываются обычными конгломератами неорганическо-органической природы, которые являются очень хорошими сорбентами многих вредных для потребителя воды микрозагрязнителей, как, например, тяжелые металлы, WWA, PCB, некоторые  $\text{ChZO}$ , пестициды. Поэтому старательная ликвидация мутности имеет большое значение для снижения уровня иных загрязнений. Увеличено количество нормированных физикохимических параметров (с 43 до 68), в основном это касается органических антропогенных микрозагрязнений, во многих случаях снижена их допустимая концентрация.

Новые показатели качества, вошедшие в жизнь в Польше с 2000 г., требуют производство питьевой воды гораздо более высокого качества (пищевая ценность, здравотность, органолептические показатели) в сравнении с действовавшими ранее. Для выполнения более строгих требований к качеству питьевой воды необходимо повысить эффективность очистки на станциях питьевой воды. Это касается как повышения эффективности операций

уже используемых, так и введения новых. Виды единичных процессов, их параметры и технологический регламент должны быть разработаны или подобраны индивидуально для каждого использования воды на основе технологических исследований. Особенно тщательной очистки требует вода из открытых водоемов. Научно-технический прогресс в технологии очистки воды позволяет получить значительное повышение качества питьевой воды, но постоянно существует необходимость усовершенствования методик и аппаратов.

Таблица 1. Некоторые параметры питьевой воды по Польским нормативам, Директивам Евросоюза и здравотных критериев ВОЗ

| N                                 | Показатель качества или наименование субстанции | Требование или наибольшее допустимое содержание |                        |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
|                                   |                                                 | Dz. U nr 82 poz. 937 z 2000r. POLSKA            | Дир. 98/93/EC z 1998r. | Требования WHO z 1993r.             |
| А. Органолептические показатели   |                                                 |                                                 |                        |                                     |
| 1                                 | Цвет (mg/lPt)                                   | Не более, чем 15                                | Допустима              | 15                                  |
| 2                                 | Мутность (mg/lSiO <sub>2</sub> )                | Не более, чем 1                                 | Допустима              | 1/5                                 |
| 3                                 | Водные организмы                                | невидимы                                        | -                      | -                                   |
| 4                                 | Сероводород                                     | -                                               | невыражен              | 0,05                                |
| 5                                 | Запах                                           | допустимый                                      | допустимый             | Едва заметен                        |
| 6                                 | Раствор                                         | невидим                                         | -                      | -                                   |
| В. Неорганические субстанции mg/l |                                                 |                                                 |                        |                                     |
| 1                                 | Аммоний                                         | 0.5 (1,5 <sup>x</sup> )                         | 0,5                    | 1,5                                 |
| 2                                 | Antymon                                         | 0.005                                           | 0,005                  | 0,005 <sup>a</sup> <sub>b,(P)</sub> |
| 3                                 | Arsen                                           | 0.01                                            | 0,01                   | 0,01 <sup>(P)</sup>                 |
| 4                                 | Нитраты(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )          | 50                                              | 50                     | 50                                  |
| 5                                 | Нитриты(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )          | 0.1                                             | 0,50                   | 0,2/3,0 <sup>(P)</sup>              |
| 6                                 | Бар                                             | 0.7                                             | -                      | 0,7                                 |
| 7                                 | Бромистые                                       | 0.01                                            | 0,01                   | 0,025 <sup>b</sup> <sub>(P)</sub>   |
| 8                                 | Свободный хлор                                  | 0.3                                             | -                      | 0,6/1 <sup>(U)</sup> <sub>)</sub>   |
| 9                                 | Соединения хлора                                | 250                                             | 250                    | 250 <sup>a</sup>                    |
| 10                                | Хром (в т.ч. Cr <sup>6+</sup> )                 | 0.05 (0,003)                                    | 0,05                   | 0,05 <sup>(P)</sup>                 |
| 11                                | Соединения цинка                                | 0.05                                            | 0,05                   | 0,07                                |
| 12                                | Цинк                                            | 3                                               | -                      | 3 <sup>a</sup>                      |
| 13                                | Соединения фосфора                              | 1.5                                             | 1,5                    | 1,5                                 |

|                                       |                                            |         |         |                    |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|---------|---------|--------------------|
| 14                                    | Фосфор $P_2 O_5$                           | 5       | -       | -                  |
| 15                                    | Glin                                       | 0.2     | 0,2     | 0,2                |
| 16                                    | Кадмий                                     | 0.003   | 0,003   | 0,003              |
| 17                                    | Магний                                     | 50      | -       | -                  |
| 18                                    | Марганец                                   | 0.05    | 0,05    | 0,1/0,5<br>(P)     |
| 19                                    | Медь                                       | 1       | 2,0     | 1,0 <sup>(P)</sup> |
| 20                                    | Никель                                     | 0.02    | 0,02    | 0,02               |
| 21                                    | Олов                                       | 0.01    | 0,1     | 0,1                |
| 22                                    | Кислотность (pH)                           | 6.5-9.5 | 6,5-9,0 | 6,5-8,5            |
| 23                                    | Электрическая проводимость $\mu S cm^{-1}$ | 2500    | 2500    | -                  |
| 24                                    | Ртуть                                      | 0.001   | 0,001   | 0,001              |
| 25                                    | Селен                                      | 0.01    | 0,01    | 0,01               |
| 26                                    | Серные соединения                          | 250     | 250     | 250                |
| 27                                    | Соль                                       | 200     | 200     | 200 <sup>a</sup>   |
| 28                                    | Серебро                                    | 0.01    | -       | - <sup>c</sup>     |
| 29                                    | Твердость $CaCO_3$                         | 60-500  |         |                    |
| 30                                    | Железо                                     | 0.2     | 0,2     | 0,3                |
| С. Органические субстанции, $\mu g/l$ |                                            |         |         |                    |
| 1                                     | Бензин                                     | 1       | 1       | 10 <sup>b</sup>    |
| 2                                     | Бензопирен                                 | 0.010   | 0,010   | 0,7 <sup>b</sup>   |
| 3                                     | Бромодихлорметан                           | 15      | -       | 60                 |
| 4                                     | Бромоформ                                  | 50      | -       | 100                |
| 5                                     | Хлоробензен                                | 20      | -       | 30/300             |
| 6                                     | Хлороформ<br>(trichlorometan)              | 30      | -       | 200 <sup>b</sup>   |
| 7                                     | Хлорный уголь                              | 2       | -       | 2                  |
| 8                                     | Дихлоробензин                              | 30      | -       | 1/300              |
| 9                                     | Дихлорометан                               | 20      | -       | 20                 |
| 10                                    | Фенол                                      | 0.5     | -       | -                  |
| 11                                    | Формальдегид                               | 50      | -       | 900                |
| 12                                    | Стирен                                     | 10      | -       | 20                 |
| 13                                    | Трихлоробензен                             | 20      | -       | 20                 |
| 14                                    | Сумма THM<br>(wymienić)                    | 100*    | 100     | -                  |
| 15                                    | ChZT (метод с $KMnO_4$ )                   | 5000    | 5000    | -                  |
| 16                                    | Сумма WWA                                  | 0.1**   | 0,1     | -                  |
| 17                                    | Пестициды                                  | 0.1***  | 0,1     | -                  |
| 18                                    | Сумма пестицидов                           | 0.5***  | 0,5     | -                  |

Обозначения: х) – в подземных источниках нехлорированных аммоний натурального происхождения; (Р) – провизорные величины. Для субстанции, когда идет речь о лечебных эффектах есть ограничения безопасности при нормировании ТГД (допустимый дневной расход) является большей чем 1000; (I) – концентрация субстанций на уровне либо ниже установленного на основании допустимых критериев, влияет на вид, вкус или запах воды; 1) – субстанции, наличие которых в питьевой воде может влиять на вкус, цвет или запах; 2) – для субстанций, подозрительных как ракообразующие, при допустимом риске новообразований порядка  $10^3$  в течение всей жизни;

3) – нет возможности указания допустимых величин, основанных на здравотных критериях, т.к. их наличие в питьевой воде не составляет никакой опасности для здоровья; 4) – Сумма THM – хлороформ, бромформ, бромодихлорометан, дибромхлорометан; 5) – Сумма WWA – ракообразующие формы – бензо(б)флуорантен, бензо(к)флуорантен, индено (1, 2, 3 св) пирен; \*\* - Пестициды, инсектициды, гербициды, фунгициды, акарициды, альгициды, нематоциды, родентициды, снмициды, сопутствующие продукты, между прочим, регуляторы роста, продукты их метаболизма, деградации и реакций. Параметрическая величина каждого пестицида является индивидуальной, за исключением ольдрина/диольдрина и эпоксида гентахлора, для которых параметрическая величина составляет  $0,03 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  : \*\*\* Сумма всех параметрических величин отмеченных пестицидов

Вода, используемая в пищевой промышленности должна соответствовать определенным качественным нормам питьевой воды. На предприятиях, которые не осуществляют забор воды из публичных водопроводов, а из собственных источников, может появиться потребность модернизации станций очистки воды.

### Качественное исследование системы дифференциальных уравнений, описывающей зависимость плотности рыбных скоплений от распределения кормовых запасов.

Дедок Н. Н., БГАТУ, г. Минск

Исследуется система дифференциальных уравнений

$$\frac{dN}{dt} = N(kM - l), \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dt} = \mu - (b + pN)M,$$

описывающая зависимость плотности рыбных скоплений от распределения кормовых запасов. Ввиду практического смысла рассматриваются положительные коэффициенты и часть фазовой плоскости, для которой  $N \geq 0, M \geq 0$ .

Система (1) может иметь максимум два состояния равновесия  $O_1(0; \frac{\mu}{b})$  с корнями характеристического  $\lambda$  - уравнения

$$\lambda_1 = -b, \quad \lambda_2 = \frac{\mu k - bl}{b} \text{ и } O_2(\frac{\mu k - bl}{lp}; \frac{l}{k}).$$

Характеристическое  $r$  -уравнение для состояния равновесия  $O_2$  имеет вид  $r^2 + \sigma r + \Delta = 0$ , где  $\sigma = \frac{\mu k}{l}$ ,  $\Delta = \mu k - bl$ .

Установлено, что возможны следующие случаи: единственное состояние равновесия  $O_1$ , которое может быть устойчивым узлом или седло-узлом;  $O_1$  – седло и  $O_2$  - устойчивый узел или устойчивый фокус.

Изучено, что состояния равновесия на бесконечности являются седло-узлами.

Установлено отсутствие предельных циклов для системы (1).

Применяемые основные способы исследования – методы качественной теории дифференциальных уравнений.

### Применение операционного исчисления в исследованиях процессов и систем автоматического регулирования сельскохозяйственного производства

**Бурганская Л. И.**, канд. физ.-мат. наук, доцент, **Крутов А. В.**, канд. техн. наук, доцент, **Хвощинская Л. А.**, канд. физ.-мат. наук, доцент, БГАТУ, г. Минск

При современных стремительных темпах развития и обновления техники как никогда велика потребность в грамотных, отвечающих требованиям дня, обладающих глубокими знаниями инженерах. Их задача не только уметь эксплуатировать технику, но и создавать новые модели сельскохозяйственных машин и процессов с характеристиками, не уступающими лучшим зарубежным аналогам. Для этого специалисту необходимо владеть методами математического моделирования, иметь математическое мышление. На кафедре высшей математики университета стремятся дать знания будущим инженерам по многим специальным разделам математики, в частности, операционному исчислению, решению дифференциальных уравнений в частных производных, элементам теории устойчивости и т.д.

В докладе приводится основное содержание разработанного на кафедре методического пособия «Элементы операционного исчисления и устойчивости и их применение при исследовании некоторых систем автоматического регулирования». Операционное исчисление применяется при реше-

нии дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений. Здесь уделяется особое внимание изображению импульсных функций, символическому методу решения дифференциальных уравнений, дается понятие передаточной функции отдельных звеньев и систем автоматического регулирования. Рассматривается применение операционного исчисления при решении некоторых прикладных задач электротехники, а также при решении дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Дана классификация этих уравнений. В качестве примера рассматривается уравнение теплопроводности при заданных начальных и граничных условиях. Показан пример применения преобразования Лапласа по переменной  $t$  (время), с помощью которого приходят к обыкновенному дифференциальному уравнению. Решение такого уравнения является несравненно более простой задачей, чем решение дифференциального уравнения в частных производных. Решив полученное обыкновенное дифференциальное уравнение, находят оригинал, т.е. решение исходной задачи.

Приведены изображения по Лапласу функции ошибок Гаусса  $\operatorname{erf} x$  и  $\operatorname{erfc} x = 1 - \operatorname{erf} x$  и некоторые ее свойства. В качестве приложения этой теории дано описание нагрева моторного масла вертикально погруженной пластиной с поверхностно-распределенными электронагревателями в условиях естественной конвекции.

Излагаются также элементы теории устойчивости движения и ее приложение к некоторым системам автоматического регулирования, используемых в сельском хозяйстве. Ввиду того, что условия работы машинно-тракторных агрегатов в сельском хозяйстве резко отличаются от работы в промышленности своей не стабильностью, важность рассмотрения задач устойчивости очевидна. Введены основные понятия устойчивости. В частности, рассмотрены линейные системы, условие Рауса-Гурвица. Приведены также частотные критерии устойчивости для нелинейных систем, при этом используется символическая запись дифференциальных уравнений, передаточная функция  $W(p)$ , точнее частотная характеристика  $W(i\omega)$ . В качестве примера исследуется устойчивость САР картофелеуборочной машины.

### **Моделирование взаимодействия сыпучего консерванта с потоком растительной массы**

Кузьмицкий А. В., докт. техн. наук, Гурков И.И., аспирант, БГСХА, г. Горки

На протяжении десятилетий проблема хранения кормов остается одной из наиболее острых в отечественном животноводстве. В результате гниения силоса теряется до 30% кормов. При этом доказано, что в процессе хранения у оставшихся 70% кормов значительно уменьшается содержание белка

и снижается энергетическая ценность. Внесение консерванта позволяет снизить долю испорченного корма с 30% до 1-3%. В процессе брожения силоса входящие в состав консервантов органические кислоты полностью разлагаются на нейтральные компоненты, не оставляя никаких следов в молоке. В результате применения консервантов животноводческие хозяйства существенно снижают себестоимость молока, улучшая при этом его качество.

Представляет практический интерес изучение процесса взаимодействия частиц консерванта с кормовым потоком. При этом возможны следующие случаи: траектории полета частиц консерванта перпендикулярны движению кормового потока:  $\varphi = 0$ ; траектории полета частиц консерванта наклонены по ходу кормового потока:  $\varphi > 0$ ; частицы консерванта летят против кормового потока:  $\varphi < 0$ .

Моделирование указанного процесса с использованием теории вероятности позволило установить, что максимальное количество консерванта проходит через слой, если траектории полёта частиц имеют положительный угол наклона  $\varphi$  к скорости  $u$  потока, а скорости соотносятся как  $u = v_0 \sin \varphi$ , где  $v_0$  – скорость частиц консерванта. В этом случае промежутки между соседними частицами используются полностью при любой толщине  $d$  слоя. Отсюда следует, что консервант должен вводиться в кормовой поток под углом  $\varphi$ , определяемым выражением  $\varphi = \arcsin(u / v)$ .

С учетом того, что вероятность пролета частицы консерванта через слой растительной массы равна ее порозности, получено выражение для определения толщины  $L$  обрабатываемого слоя:  $L = 1,44 d_c (1 - \varepsilon)^{-0.5} / (\ln(1 / \varepsilon))$ , где  $d_c$  – средневзвешенный диаметр частиц с учетом листовой части, м;  $\varepsilon$  – порозность растительной массы.

В частности, для клевера лугового с длиной резки 20 мм. порозность составляет 0,67. При этом 95% консерванта распределяется в насыпном слое корма толщиной приблизительно 0,02 м. С увеличением длины резки до 60 мм. порозность составит 0,81, а толщина обрабатываемого слоя приблизительно 0,05 м.

Результат будет иным, если материал находится в воздушно-кормовом потоке. В этом случае его порозность определится конструктивными и кинематическими параметрами швырляки, а также поперечным сечением кормопровода. Так, применение лопастной швырляки или роторных рабочих органов позволяет получить значение порозности 0,89...0,94 и толщину обрабатываемого слоя 0,12...0,18, что является предпочтительным по сравнению с внесением в насыпной слой.

По результатам хозяйственных испытаний оборудования для внесения сыпучих консервантов на комбайне КПК – 3000 в агрегате с УЭС – 250 установлено, что питательность силоса повысилась в среднем на 47% (табл. 1).

Таблица 1. Показатели кормовой ценности консервированного силоса в учхозе БГСХА

| Качество силоса                                  |                 |                |
|--------------------------------------------------|-----------------|----------------|
|                                                  | без консерванта | с консервантом |
| Сухое вещество, %                                | 29,7            | 28,1           |
| Сырой протеин, %                                 | 11,9            | 12,6           |
| Сырая клетчатка, %                               | 31,6            | 30,5           |
| Усвояемость, %                                   | 59              | 64             |
| Энергетический эквивалент, кормовых единиц на кг | 0,19            | 0,28           |

Результаты исследований показывают, что применение консервантов позволяет добиться ощутимого увеличения энергетической ценности кормов, повысить их усвояемость и содержание белка. При этом способ внесения консервантов в кормовой поток позволяет добиться лучших результатов по сравнению с внесением консервантов в насыпной слой.

### Резонансные явления и способы их устранения

Морозова И. М., канд. физ.-мат. наук, БГАТУ, г. Минск

Явления резонанса хорошо известно в технике. В математических моделях, описывающих резонанс, это явление получило название как проблема малых знаменателей. Суть этой проблемы состоит в том, что при заданных известных величинах (частотах)  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ , при некоторых (часто целых) изменяющихся числах  $k_1, k_2, \dots, k_n$  величина  $B(\vec{k}) = |k_1\omega_1 + k_2\omega_2 + \dots + k_n\omega_n|$  может принимать малые значения. Если  $B(\vec{k})$  при этом находится в знаменателе дроби, который представлен в виде некоторого ряда, то это приводит к большому итоговому вкладу члена ряда, содержащего  $B(\vec{k})$ , т. е. к модельному резонансу. Например, такая же проблема возникает в рядах, к которым относится ряд вида

$$\sum_{k_1=1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_p=1}^{\infty} f_k(t) \sin(k_1 x) \dots \sin(k_p x),$$

для сходимости которого надо получить оценку снизу разности между характеристическими числами исходных уравнений, которые имеют вид  $B(\vec{k})$ .

Изучение поведения  $B(\vec{k})$  при фиксированных  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ , зачастую затруднено, так как приводит к трудным, а иногда и не решённым задачам

метрической теории диофантовых приближений. Но некоторые частные случаи этой проблемы могут быть разрешены.

Пусть вектор  $\vec{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \in K^n$ , где  $K^n$  - некоторый  $n$ -мерный куб. Тогда даже в случае когда вектор  $\vec{\omega} \in M^n$ , где  $M^n$  - некоторое многообразие из  $R^n$ , удаётся оценить меру (в смысле Лебега) таких  $\vec{\omega}$ , для которых  $B(\vec{k})$  принимает малые значения. Доказывается следующая теорема.

Далее через  $\mu$  обозначаем меру Лебега множества  $A$ ,  $K(w)$  - множество точек  $w$  куба  $K^n$ .

**Теорема.** Пусть  $\vec{\omega} \in M^n$ ,  $1 \leq m \leq n$  и  $w \in K(w)$  - это точки для которых неравенство

$$|B(\vec{k})| < Q^{-w}, \quad \text{где } \max_{1 \leq j \leq n} |k_j| \leq Q$$

выполняется хотя бы для одного вектора  $\vec{k} = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ .

Тогда для любого  $\varepsilon > 0$  можно указать такое значение  $w_0 = w_0(\varepsilon)$ , что при всех  $w > w_0$  справедливо неравенство  $\mu K(w) < \varepsilon$ .

Линейный вариант этой теоремы был применён в теории Колмогорова – Арнольда – Мозера.

## Математическая модель технологической операции сортировки ягод

Мисун Л. В., докт. техн. наук, Белаш А. И., Грищук В. М., БГАТУ, г. Минск

Операция решетной сортировки ягод характеризуется большим числом факторов, влияющих на ее протекание. Для выбора оптимального режима, исходя из свойств сортируемого вороха, необходимо разработать математическую модель, учитывающую влияние всех входных факторов на выходную характеристику этой операции - качество обработанных ягод. При большом числе влияющих факторов, для части из которых даже нет методов количественной оценки, разработка математической модели осуществима при использовании в исследованиях параметров «комплексного типа», определяющих влияние различных свойств компонентов вороха ягод на качество сортировки. При этом отдельные факторы правомерно и целесообразно объединить в комплексы, характеризующие результирующий эффект от их совместного влияния. Кроме того, при исследовании задачи в комплексных параметрах более отчетливо выступают внутренние связи, свойственные технологической операции, при этом количественная картина в целом становится более ясной. В конкретном случае в качестве параметра «комплексного типа», в достаточной мере характеризующего рассматриваемую операцию, приняли эффект решетной сортировки ( $\mu_c$ ).

При выделении некондиционной продукции толщина слоя ягод на решете больше размеров отдельных ягод, вследствие чего прохождение мелких ягод сквозь слой материала к поверхности решета заметно сказывается на выходных характеристиках операции сортировки. Сделаем допущение, что существует некоторая средняя длительность расслоения исходного материала  $t_0$ , в течение которой сортировка ягод через отверстия решета не происходит, а начинается она после окончания стадии расслоения (при  $t_c > t_0$ ), где  $t_c$  – время сортировки. С учетом этого, а также замены показателя эффекта сортировки через решето ( $\mu_c$ ) величиной, характеризующей среднее время сортировки ( $\tau = \frac{1}{\mu_c}$ ), математическая модель анализируемой операции выражается системой уравнений:

$$\begin{cases} m_{np} = 0, \text{ при } t_c \leq t_0, \\ m_{np} = m_{ax} \cdot (1 - e^{-\frac{t_c - t_0}{\tau}}), \text{ при } t_c > t_0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $m_{np}$  – масса проходовой некондиционной фракции (мелкие ягоды), выделенной под решето;  $m_{ax}$  – масса ягодного потока, подаваемого на сортировку.

Длина решет выбирается с расчетом, чтобы длительность обработки ягод была гораздо выше длительности расслоения материала. Поэтому для описания рассматриваемой технологической операции сортирования воспользуемся последним уравнением системы (1), т.е.

$$m_{np} = m_{ax} \cdot (1 - e^{-\frac{t_c - t_0}{\tau}}). \quad (2)$$

Зависимость массы сходовой фракции с решета от времени ( $m_{вых}(t_c)$ ), с учетом стадии расслоения материала, будет определяться выражением

$$m_{вых} = m_{ax} \cdot e^{-\frac{t_c - t_0}{\tau}}. \quad (3)$$

В соответствии с условием соблюдения оптимального режима, основной выходной характеристикой операции является содержание в обработанном материале проходовой фракции (некондиционные ягоды) ( $Q_{np}$ ). Состав исходного материала ( $Q_{исх}$ ) также характеризуется содержанием проходовой фракции ( $a_{np}$ ). Для получения математической модели в уравнении (3) от массы мелкой фракции ягод необходимо перейти к ее содержанию в исходном ( $a_{np}$ ) и обработанном материале ( $a_{вых}$ ):

$$\begin{cases} a_{np} = \frac{m_{ax} \cdot 100\%}{m_{cx} + m_{ax}}; \\ a_{вых} = \frac{m_{вых} \cdot 100\%}{m_{cx} + m_{вых}}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $m_{cx}$  - масса сходовой кондиционной фракции ягод.

Учитывая, что длина решет выбирается с расчетом, чтобы длительность обработки ягод ( $t_c$ ) была гораздо выше длительности расслоения материала ( $t_0$ ), а также сделав соответствующие преобразования, получим искомую связь содержания проходовой фракции на входе и выходе решетного сепаратора

$$a_0 = \frac{100\% \cdot a_{вых} \cdot e^{\frac{t_c - t_0}{\tau}}}{100\% - a_{вых} \cdot (1 + e^{\frac{t_c - t_0}{\tau}})} \quad (5)$$

Следует также отметить, что для конкретного сепаратора в пределах одной партии ягод длительность расслоения исходного материала и постоянная времени сортирования зависят, в основном, от свойств исходного материала и нагрузки на сортировальное устройство.

### Моделирование процесса компостирования навоза

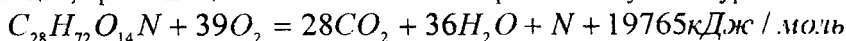
Кольга Д. Ф., канд. техн. наук, доцент, Конопляник Н. В., БГАТУ, г. Минск

Компостирование - один из важных приемов накопления местных органических удобрений. Оно необходимо для сохранения питательных веществ в одних органических удобрениях при их разложении (навоз) и усиления доступности для растений элементов питания в составе других (в торфе, соломе и др. инертном материале).

Чаще всего компост состоит из двух главных компонентов, неодинаковых по устойчивости к разложению микроорганизмами. Один из них (торф) играет преимущественно роль поглотителя влаги и аммиака и без компостирования слабо разлагается, другой - богат микрофлорой, содержит достаточное количество легко распадающихся азотистых органических соединений (фекалии, навозная жижа и т.п.). В таких компостах преобладает первый компонент (торф). Второго берут меньше (иногда 10-15% общей массы компоста) и лишь для того, чтобы вызвать вспышку микробиологических процессов разложения органических веществ. Такое компостирование называется *биологическим*. Оно обеспечивает накопление большого количества высококачественного органического удобрения за счет менее

ценных и более инертных материалов, которые сами по себе представляют невысокую удобрительную ценность. К этой группе компостов относят торфо-навозные, компосты из соломы, листовенно-навозные и опилочно-навозные и др.

Если составляющие подвергаются метаболическому окислению, то реакции, протекающие в компосте можно выразить следующим уравнением:



Из уравнения видно, что тепловыделение при биотермическом процессе пропорционально количеству разлагаемого органического вещества и можно рассчитать процент разложения его в процессе разложения. Основная цель этого приема - разложить отходы до такой степени, чтобы перевести содержащиеся в них питательные вещества в доступную для растений форму и устранить или значительно уменьшить возможность биологического связывания азота в почве после их внесения.

Под влиянием навоза азот торфа за короткий срок становится более подвижным и более доступным для растений. Навоз уменьшает также кислотность торфа, создает более благоприятные условия для деятельности микроорганизмов, участвующих в разложении органических (в том числе азотистых) веществ.

Процессы саморазогрева характеризуются превышением выделяемого при разложении органического вещества тепла над его потерями во внешнюю среду. Система дифференциальных уравнений, описывающих одновременный перенос воздуха, теплоты и влаги, имеющие место при экзотермических процессах в буртах органических материалов, в общем виде записывается:

$$\frac{\partial \tau}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a_t \frac{\partial \tau}{\partial x} \right) + \frac{v_b C_b \rho_b}{C_{cm} \rho_{cm}} \frac{\partial \tau}{\partial \tau} + \frac{\varepsilon_{pi} C_p}{C_{cm}} \frac{\partial W}{\partial \tau} + \frac{w}{C_{cm} \rho_{cm}}$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a_m \frac{\partial W}{\partial x} + a_m \delta \frac{\partial \tau}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial Co}{\partial \tau} = k_p m \frac{\partial^2 Co}{\partial x^2} - U_b \frac{\partial Co}{\partial x} - k_h Co F \varepsilon$$

где  $a_t$  и  $a_m$  - коэффициенты температуро и влаго проводности;  $C_{cm}$  - уд. теплоемкость смеси;  $\rho_{cm}$  - плотность смеси;  $U_b$  - скорость проникновения воздуха в бурт;  $m$  - пористость смеси;  $k_b$  - коэффициент воздухопроницаемости;  $C_b$  - удельная теплоемкость воздуха;  $\varepsilon$  - коэффициент превращения воды в пар;  $C_p$  - теплота парообразования;  $v_b$  - плотность воздуха;  $w$  - удельный тепловой поток реакции разложения;  $Co$  - концентрация кислорода воздуха в точке  $x$ ;  $k_p$  - константа скорости реакции разложения;  $F$  - эффективная поверхность воздушных пор.

Для решения этой системы уравнений на Учебном Научно-Производственном Комплексе БГАТУ проводятся полевые испытания. Навоз укладывают по всей длине плотно прилегающими штабелями шириной 2...3 м. Сверху каждый штабель покрывают торфом или резаной соломой слоем 15-20 см, чтобы сократить потери аммиачного азота. Температура навоза при хранении не должна превышать 60°C. При такой температуре 20...25% азота в торфе переходит в усвояемую форму. Для понижения температуры навоз следует уплотнить либо увлажнить навозной жижей или водой.

Для компостирования с навозом применяют торф, влажность которого не превышает 65-70%. Заготавливают его в летнее время послойно-поверхностным способом.

Соотношение между навозом и торфом при изготовлении компостов зависит от обеспеченности ими хозяйства, качества их и времени года. Так, в зимний период соотношение между ними может быть как 1:1, а летом 1:3.

### **К построению модели производства молока при беспривязном содержании коров**

**Романюк В., Чигарев Ю., Мороз Д.,** БГАТУ, г. Минск, Щецинская сельскохозяйственная академия, г. Щецин, Институт строительства, механизации, электрификации сельского хозяйства, г. Варшава.

Математические модели могут применяться для изучения систем, обеспечивающих производство молока при беспривязном содержании коров.

Известно, что выход молока данного животного на отрезке времени  $[t_{i-1}, t_i]$  можно записать в виде 
$$M_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} m(t) dt \quad (1)$$

где  $m(t)$  обычно принимается за функцию скорости секреции молока, а  $t$  – время в сутках.

Технология беспривязного содержания коров обуславливает дойку в доильном зале, где размещаются доильные установки. Доильные площадки  $x$  в зависимости от коровника могут представлять: тандем  $x_1$ , ёлочку  $x_2$ , параллельные  $x_3$ , карусель  $x_4$ . Различие доильных площадок связано также с количеством мест и их распределением  $y$  (однорядная  $y_1$ , двухрядная  $y_2$ , треугольная  $y_3$ ) и оснащением  $z$  (измерителями молока  $z_1$ , автоматизацией съёма и вывоза молока  $z_2$  и др.). Молоко из доильных установок при помощи насоса перекачивается трубопроводом в зал-холодильник для хранения. Объём холодильника должен учитывать количество молока  $w$  в пике лактации  $w_1$  и при конечной величине стада  $w_2$ . Минимальное количество моло-

ка  $w_3$  должно превосходить величину, при которой происходит его замерзание в данном холодильнике.

Таким образом, в общем случае функция  $m(t)$  зависит во многом от условий, определяемых параметрами  $x, y, z, w$ . Для каждого типа коровника данные параметры будут своими константами, зависящими от  $x_i, y_i, z_i, w_i$ , т. е. производственно-технологических условий беспривязного содержания коров.

Функцию  $m(t)$  представим в виде  $m(t) = xt^y e^{-\frac{z}{w}t}$  (2)

Параметры  $x, y, z, w$  имеют следующие размерности:  $x$  – кг·сут<sup>-(y+1)</sup>;  $y$  – безразмерная величина;  $z$  – кг/сут;  $w$  – кг.

Подставив (2) в (1) получим

$$M = x \left[ \int_0^{t_i} t^y e^{-\frac{z}{w}t} dt - \int_0^{t_{i-1}} t^y e^{-\frac{z}{w}t} dt \right] \quad (3)$$

Значения  $x, y, z, w$  зависят от производственно-технологических условий и определяются эмпирическим путём.

Если продифференцируем (2) по времени, то получим

$$\frac{dm}{dt} = xt^{y-1} \left( y - \frac{z}{w}t \right) e^{-\frac{z}{w}t} = \left( y - \frac{z}{w}t \right) \frac{m}{t} \quad (4)$$

Из полученного уравнения, в случае  $\frac{dm}{dt} = 0$ , получим время максимальной секрции молока  $t_{\max} = \frac{y}{z} w$  (5)

Отметим, что параметры  $x, y, z, w$  могут отражать и комплексные характеристики данного производства.

### Математическая модель дозирования кормосмеси пробковым краном при взаимодействии с кормораздаточной тележкой

Павловский В. А., БГАТУ, Минск

Быстродействующий пробковый кран применяется для слива жидкой кормосмеси из кормопровода в кормушки. Дозирование кормосмеси осуществляется открытием крана специальным исполнительным механизмом кормораздаточной тележкой. Движением кормораздаточной тележки управляет программируемый логический контроллер согласно заданной дозе и показаниям расходомера.

При наладке автоматизированной системы кормления свиней было выявлено отклонение выдаваемой заданной дозы от заданной. По результатам измерений было выявлено, что при заданной дозе равной константе выдаваемая доза превышает заданную. При этом значение дисперсии выданных доз было значительно меньше отклонения от заданной дозы. Таким образом, был сделан вывод о том, что некоторое количество кормосмеси не учитывается при подсчете выданной дозы.

Для определения причин этого явления и снижения погрешности до требований технического задания были проведены исследования процесса дозирования.

Целью исследования являлось определение выдаваемой дозы корма при повороте крана из положения “закрыто” в положение “открыто” и из положения “открыто” в положение “закрыто”, для последующей корректировки выданной дозы.

Сначала определялось изменение угла открытия крана от линейного перемещения кормораздаточной тележки, была определена функциональная однозначная аналитическая зависимость между координатой тележки и углом открытия крана. Выведена зависимость угла поворота крана от времени (при заданной скорости движения тележки в ограниченных координатах).

Затем был рассмотрен процесс изменения расхода через кран при изменении угла поворота рычага крана (площади проходного отверстия), получена аналитическая функциональная зависимость гидравлического сопротивления крана от угла поворота рычага путем аппроксимации приведенных справочных табличных данных используя пакет Statistica.

Получена аналитическая зависимость для расчета объема выдаваемой кормосмеси при прохождении тележкой расстояния открытия крана с определенной скоростью при заданном давлении.

При разработке модели использовались программы Mathcad, Excel, Statistica.

### **Микроэлементы в питании животных**

**Сапего В. И.,** докт. с/х наук, профессор, **Берник Е. В., Пожах Н. Ф.,** БГАТУ, г. Минск.

Профилактика болезней молодняка это не только активные и пассивные прививки, создание животным оптимальных условий содержания, но и корректировка их рационов по недостающим элементам питания. Обычно этот приём приходится делать во время кормления или перед ним, балансируя рацион по макро- и микроэлементам, протеину, углеводам и т.д. Микроэлементы, как важнейшая часть кормовых средств, участвуют во

всех видах обмена веществ, регулировании роста и развития животных, улучшении конверсии кормов в продукцию. Так, железо и медь являются составными частями гемоглобина крови, от которого во многом зависит воздухообмен макроорганизма с окружающей средой, а в целом – естественная резистентность организма. Цинк регулирует синтез ганадотропных гормонов, развитие органов размножения, участвует во всех видах обмена веществ в организме. Ультра-микроэлемент кобальт входит в состав витамина В12, участвует в обмене веществ и синтезе основных элементов крови, а функции селена многообразны и до конца не изучены. Все эти и другие микроэлементы должны входить в состав рациона. Микроэлементы кроме того необходимо корректировать также в определённых соотношениях один к одному и к основным элементам питания. Так при недостатке и при неблагоприятном их соотношении нарушаются обменные процессы в организме, кроветворение, снижается естественная резистентность, возникают болезни.

Опыты, проведённые в колхозе «Боротьба» Пуховичского района, показали, что наиболее эффективными кормовыми добавками являются микроэлементы в виде комплексонатов железа и меди, синтезированные сотрудниками НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ. Среднесуточные приросты телят-молочников в возрасте от 1 до 4 месяцев были выше, чем в контрольной группе на 9...11%. В сравнении с серийными препаратами железа и меди, выпускаемыми отечественной и зарубежной промышленностью, комплексонаты давали более высокий эффект по среднесуточным приростам, состоянию здоровья и гематологическим показателям опытных групп телят.

Вместе с тем введение в рацион различных кормовых добавок сочетается с дополнительными материальными затратами труда, оборудования и связано с определённым риском передозировки микроэлементов. Нежелательно их неправильное соотношение между собой. В связи с этим, инженерно-техническим и биологическим работникам необходимо спроектировать и создать такие машины и устройства, которые бы точно дозировали компоненты премиксов, комбикормов и кормосмесей. При продуманной технологии кормопроизводства и кормораздаче появляется возможность обогащения основного рациона добавками, часть из которых можно вводить при закладке в хозяйствах силоса, комбисилоса и сенажа. Агрегат для равномерного внесения в силос кормовых добавок изготовлен специалистами во главе с председателем колхоза-комбината «Боротьба». Этим агрегатом вводятся в силос различные кормовые добавки и консерванты. Однако над этим приспособлением и подобными агрегатами и системой введения в кормосмеси различных добавок в жидком и порошкообразном состоянии необходимо продолжать работу, совершенствовать отдельные узлы и элементы подачи и распределения основных и дополнительных составляющих кормов.

## Предложения по расширенному воспроизводству картофелепродуктов

Городецкая Е.А., ЦБС НАН Беларуси, г. Минск, Тарушкин В.И., МГАУ им. В.П.Горячкина, г. Москва, Россия, Хелена Цяра, Техническая сельскохозяйственная Академия, г. Быдгощ, Республика Польша

В условиях Беларуси, где формируются рыночные отношения, где входит конкуренция, где наблюдаются не всегда идеальные погодные условия и постоянное недофинансирование сельскохозяйственных субъектов, производство пищевых и кормовых продуктов дублируется “вторым” хлебом – выращиванием картофеля и его переработкой в высококачественные продукты. Основной задачей такой экономики, на наш взгляд является внедрение принципа гармонизации – минимально необходимое и в то же время достаточное количество доминантных структур, необходима научно обоснованная система операций. Так можно обеспечить выпуск высококачественной и дешевой, конкурентноспособной продукции.

К доминантным структурам производства высококачественных продуктов из картофеля следует отнести: получение и переработка сельскохозяйственного сырья (картофеля в пищевую картофельную муку - ПКМ); получение высокоомогенных фракций и обогащение ПКМ; реализация готовой продукции.

Если в организационно-экономической системе векторы динамичного развития каждой доминантной структуры будут взаимно ортогональны, то такая система будет оптимальной и совершенной. В данном случае возможно производство для населения максимально возможного количества высококачественных и в то же время дешевых отечественных картофелепродуктов (рис. 1.). На рис. 1а изображена идеальная модель интерпретации процесса организации простого воспроизводства картофелепродуктов. В декартовой системе координат по осям X, Y, Z отложены векторы а, в, с, модули которых равны и интерпретируют: вектор а – организацию процесса производства и получения картофельного сырья; вектор в – получение высокоомогенных фракций и обогащение пищевой картофельной муки; вектор с – реализация готовой продукции.

Геометрическая фигура, построенная в изометрии по трем измерениям (на векторах а, в, с) – куб, а его объем равен:  $V1 = a \times v \times c = a^3$ , (1)  
где модули векторов равны:  $a=v=c$ .

Так символизируется масса (объем) произведенной картофелепродукции, получаемой потребителем.

То, что в представленной модели (рис. 1а) векторы а, в, с по модулю равны, интерпретируется как процесс простого воспроизводства картофелепродуктов, т. е. весь объем произведенных картофельных клубней получен, переработан и использован в пищевой промышленности и кормопроизводстве.

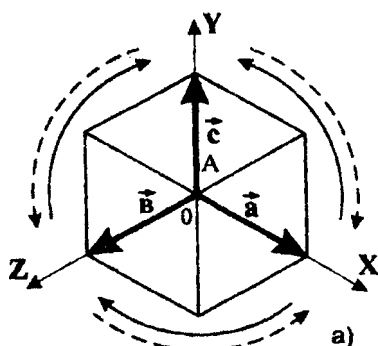


Рис. 1а. Графическая интерпретация идеальной модели простого воспроизводства картофеля-лепродуктов

На рис. 1б изображена идеальная модель, интерпретирующая организацию процесса расширенного воспроизводства картофеля-лепродуктов. Для осуществления этого процесса, необходимо чтобы в системе структуры, связанные с переработкой картофельных клубней, а также с использованием картофеля-лепродуктов в пищевой промышленности и кормопроизводстве, развивались темпами, опережающими темпы производства с.-х. сырья (картофеля). В этом случае временный дефицит картофельных клубней, необходимых до 100 % загрузки образовавшихся свободных производственных мощностей, может быть покрыт за счет импорта. Поэтому на рис. 1б для иллюстрации расширенного воспроизводства модули векторов  $\vec{b}$  и  $\vec{c}$  в отличие от модуля вектора  $\vec{a}$  можно взять, например, в соотношении  $b = 2a$ ;  $c = 2a$ .

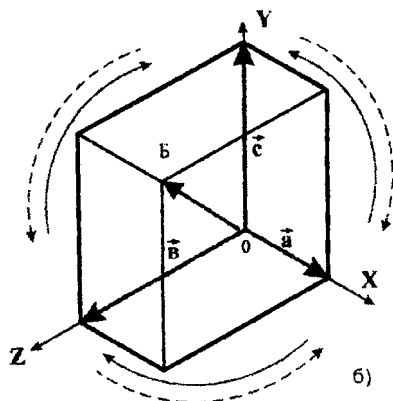


Рис. 1б. Графическая интерпретация идеальной модели расширенного воспроизводства картофеля-лепродуктов

В этом случае объем прямоугольного параллелепипеда (рис. 1б):

$$V_2 = a \times b \times c = 4a^3,$$

(2)

будет символизировать массу (объем) произведенной картофельной продукции, получаемой потребителем при расширенном воспроизводстве. Отметим, и это очень важно, при расширенном воспроизводстве картофеля-лепродуктов процесс увеличения производства сырья стимулируется отчис-

лением части средств от получаемой системной прибыли. Стимуляция осуществляется динамично развивающимися структурами, связанными с созданием индустрии по переработке картофеля, с использованием картофелепродуктов в пищевой промышленности и кормопроизводстве и структурой, обеспечивающей реализацию картофелепродуктов.

На рис. 1в изображена модель организации реального процесса расширенного воспроизводства картофелепродуктов, когда влияют множество факторов и векторы динамического развития доминантных структур не ортогональны.

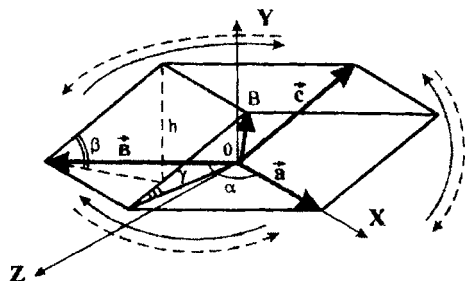


Рис. 1в. Графическая интерпретация реальной модели процесса расширенного воспроизводства картофелепродуктов

Поэтому на рис. 1в изображен наклонный параллелепипед. Объем такой геометрической фигуры, символизирующей массу произведенной картофелепродукции при расширенном воспроизводстве, будет рассчитываться по формуле:

$$V_3 = a \cdot b \cdot c \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta = 4 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \quad (3)$$

Результирующий вектор ОВ символизирует массу произведенной и реализованной потребителю продукции. Сравнивая выражения (2) и (3) видно, что объем геометрической фигуры (рис. 1в), символизирующий массу произведенной картофельной продукции, реально полученной населением при расширенном воспроизводстве, меньше объема геометрической фигуры (1б), интерпретирующей идеальный процесс расширенного воспроизводства картофелепродуктов. Объясняется это тем, что в выражении (3) присутствуют  $\sin \alpha$  и  $\sin \beta$ , которые  $0 < \sin \alpha < 1$ ,  $0 < \sin \beta < 1$ .

Таким образом, объем геометрической фигуры и модуль результирующего вектора ОВ в реальной модели (рис. 1в) соответственно меньше, чем в идеальной (рис. 1б).

Чтобы объем геометрической фигуры (рис. 1в), символизирующей массу, реализованную населению картофелепродукции, приблизился к идеальной модели, процессу (рис. 1б), нужны новые высокоэффективные организационно-экономические объединения и комплексы. При этом, последние должны максимально использовать факторы роста производства картофелепродуктов, а те, что сдерживают их выпуск, переводили в разряд положительных или, в крайнем случае, сводили к минимуму отрицательное влияние.

## Автоматическая компенсация температурной погрешности в математических моделях концентрации моющих средств в растворах

Бохан Н. И., канд. техн. наук, профессор, БГАТУ, г. Минск

Электропроводность электролитов, как известно, определяется природой электролита, концентрацией раствора, природой растворителя и его температурой.

Исходя из теории электропроводности растворов сильных электролитов, дисперсных сред и закона Кольрауша для достаточно разбавленных сильных электролитов (в упрощённом виде) получена математическая модель для синтетических моющих средств (СМС) в виде :

$$N = k \cdot (x_0^2 + a \cdot x_0), \quad (1)$$

где  $x_0$  - приведенное значение электропроводности раствора;  $k$  и  $a$  - постоянные коэффициенты, определяемые свойствами электролита.

При контроле концентрации водных растворов СМС кондуктометрическим методом особое место занимает вопрос коррекции температурной зависимости, следствии возможных значительных колебаний концентраций ( $0,1 \div 4,0$  г/л) и температуры ( $30^\circ - 90^\circ \text{C}$ ). Выпускаемые кондуктометрические приборы, как правило, могут работать лишь в узком температурном диапазоне и требуют дополнительных регулировок при его изменении. Схемы термокомпенсации подобных устройств не учитывают изменения температурного коэффициента электропроводности при изменении концентрации исследуемого раствора. Наши исследования показали, что с достаточной степенью точности зависимость электропроводности растворов СМС от концентрации и температуры можно представить в аналитическом виде формулой:

$$x = k_0 \cdot (t + \alpha \cdot t) \cdot f(N), \quad (2)$$

где  $t$  - температура раствора;  $\alpha$  - температурный коэффициент, можно считать постоянным;  $f(N)$  - функция, пропорциональная концентрации раствора;  $k_0$  - постоянный коэффициент, зависящий от типа СМС.

На основании предложенных зависимостей разработаны устройства, обеспечивающие автоматическое вычисление концентрации СМС по измеряемым значениям электропроводности и температуры раствора. Структурная схема устройства автоматической компенсации температурной погрешности приведена на рис. 1.

Блоки 1,2,4 в совокупности представляют собой измеритель проводимости раствора, блоки 3 и 5 - температуры. Блок 5 также служит для устранения постоянной составляющей температурного сигнала.

Блок вычисления температурной поправки работает по алгоритму:

$$U_{\text{вых}} = k_2 \frac{U_x}{U_t + U_0}, \quad (3)$$

где  $U_{\text{вых}}$  - выходной сигнал;  $U_x = k_2 \cdot x$  - сигнал, линейно-пропорциональный электропроводности раствора;  $k_2$  - постоянный коэффициент, зависящий от схемы измерения и параметров электролитической ячейки;  $U_t = \beta \cdot t$  - сигнал, линейно-пропорциональный температуре раствора;  $\beta$  - постоянный коэффициент, зависящий от типа датчика температуры и схемы обработки;  $U_0$  - постоянная величина (напряжение или сопротивление).

Для устранения температурной погрешности величина  $U_0$  устанавливается по известным значениям  $\alpha$  и  $\beta$  равна:  $U_0 = \frac{\beta}{\alpha}$ , (4)

В предложенном варианте прибора АМР-1, работающем по алгоритму в качестве датчика температуры использован термометр сопротивления ТСП, стандартного уравновешенного моста КВМ-1.

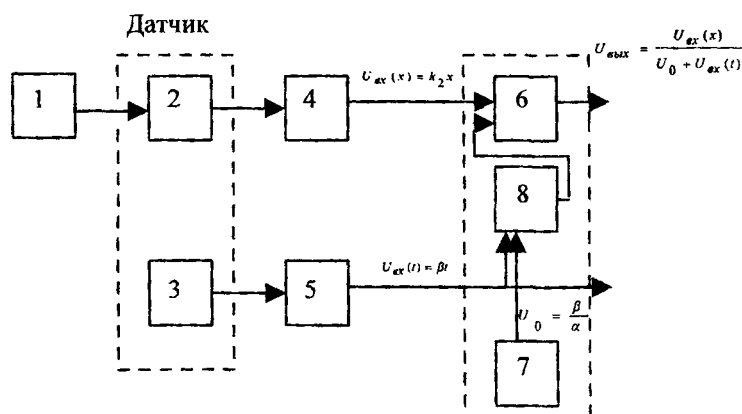


Рис. 1 Структурная схема устройства автоматической компенсации температурной погрешности

## Автоматизация газогенераторных установок

**Недбайло В. А., Бохан Н. И.,** канд. техн. наук, профессор, **Фалюшин П. Л., Ловкис В. Б.,** канд. техн. наук, доцент, **Бохан Е. Н., Абрамчик Л. А.,** БГАТУ, г. Минск

Энергетика – одна из ключевых отраслей любого государства. Беларусь, например, только на 13 % обеспечивает свои потребности в энергии за счет собственных традиционных топливных ресурсов. Одним из направлений нынешней энергетики, особенно сельскохозяйственного производства, является использование всевозможных нетрадиционных видов топлива. Для эффективного сжигания древесины и ее отходов, биомассы, горючих отходов производств и т.д. разработано и создано ряд газогенераторных установок с КПД до 0,92 и выше. Практическая реализация использования генераторного газа решает в определенной степени проблемы топлива в сельскохозяйственном производстве. В регионах Беларуси, где отсутствует твердое топливо, для получения генераторного газа можно использовать отходы сельскохозяйственного производства (льняную кофру, солому в виде гранул или брикетов, отходы спиртового производства, изношенные автотракторные покрышки (по патенту, когда выброс сернистых соединений сведен до минимума) и другие отходы. Для решения этой проблемы нужны специальные автоматизированные газогенераторные установки высокого технического уровня. Проблемы с нефтяным топливом возродили интерес к газогенераторным автомобилям и тракторам, к вопросам сушки с.х. материалов и древесины. Затраты на топливо снижаются в этом случае в 3–5 раз. При этом газогенераторные автомобили могут работать на жидком (традиционном), так и твердом топливе с расходом сухих древесных чурок до 0,6 кг на 1 километр пробега (по данным госиспытаний на Белорусской МИС). Годовой энергетический потенциал только биомассы оценивается примерно в 5 млн. тонн условного топлива. Особый интерес представляет вопрос создания газогенераторных электростанций. В БГАТУ совместно с институтом ИПИПРЭ НАНБ создана такая электростанция небольшой пока мощности (15 кВт), которая прошла государственные испытания и рекомендована серийному производству. Ожидаемая стоимость 1 кВтч электроэнергии не превысит 0,02 доллара США.

Основные направления автоматизации газогенераторных установок можно свести к следующему:

- автоматизация непосредственного производственного управления процессом горения в газогенераторе (мощности, выделяемой теплоты, количеством топлива и т.д.);
- автоматический контроль параметров, относящихся непосредственно к объекту (контроль температуры, влажности, как теплоносителя (газа), так и объекта, причем по влажности должен быть разработан прямой метод);

- автоматизация на базе компьютерной техники заданий (например при сушке древесины, сельскохозяйственных материалов – продолжительность процесса сушки, температура и пр.);

- автоматизация контроля количества топлива в бункере и выдача соответствующих команд;

- автоматическая остановка работы газогенератора при нарушении процессов газификации твердых топлив;

- автоматизация процесса запуска и регулирование температуры теплоносителя.

Решение всех этих вопросов требует математического описания процессов и разработка моделей регулирования и контроля. Указанные работы в настоящее время проводятся в БГАТУ совместно с академическими институтами.

На существующих сушильных агрегатах практически отсутствует автоматизированный метод контроля влажности (например, древесины рис.1). Для этой цели используются тензометрические датчики и балки равного сопротивления.

Схема такого устройства, применяемого при сушке древесины, приведена на рис. 1, где используются так называемые тензошпалы для определения относительной массы и влажности древесины. Для обеспечения максимальной чувствительности или крутизны наклона статической характеристики ( $S = \frac{\Delta x_{вых}}{\Delta x_{вх}}$ ) все датчики являются рабочими и соединены в мостовую схему, что обеспечивает работу устройства по безусилительной схеме (отсутствуют специальные для усиления выходного сигнала устройства).

При этом могут быть использованы проволочные, фольговые или полупроводниковые тензодатчики. При работе такого устройства должна быть проведена предварительная тарировка для установления соотношения относительной деформации тензбалки (выходного сигнала), веса испаряемой влаги и, в конечном итоге, влажности высушиваемого материала.

Для балок равного сопротивления относительная деформация  $\varepsilon$  одинакова по всей длине балки:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = \frac{M(x)}{W(x)} = const \text{ и } \varepsilon = \frac{M_{из}}{W_6 \cdot E_6} = \frac{P_{из} \cdot l}{W_6 \cdot E_6} = const$$

где  $P_{из}$  – усилие, изгибающее балку равного сопротивления;  $l$  – длина балки;  $W_6$  – момент сопротивления балки;  $E_6$  – модуль Юнга для материала балки.

Для наклеенных на балку равного сопротивления тензодатчиков суще-

стствует зависимость:  $\varepsilon = \frac{1}{S} \cdot \frac{\Delta R}{R}$ ,

где  $S$  – чувствительность тензодатчиков;  $\frac{\Delta R}{R}$  – относительное изменение сопротивления датчика при изгибе балки.

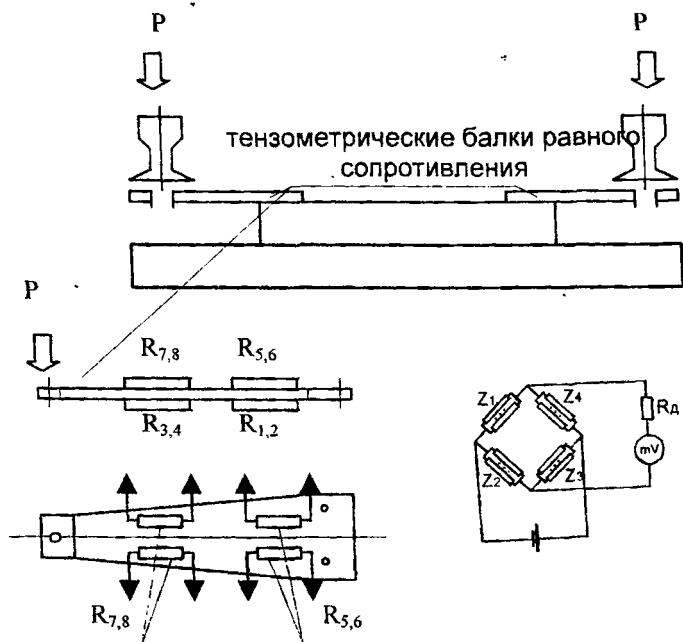


Рис.1 Схема тензошпалы и сборки тензодатчиков в мостовую измерительную схему

### Влияние турбонаддува на эффективность эксплуатации трактора

Едлиньски Рышард, докт. технич. наук, Техническая сельскохозяйственная академия, г. Быдгоще, Польша

Турбонаддув применяют для улучшения наполнения цилиндров дизеля свежим зарядом воздуха. Осуществляется он при помощи турбокомпрессора. Турбокомпрессор, схема которого показана на рисунке 1, связан с выпускными и впускными каналами двигателя.

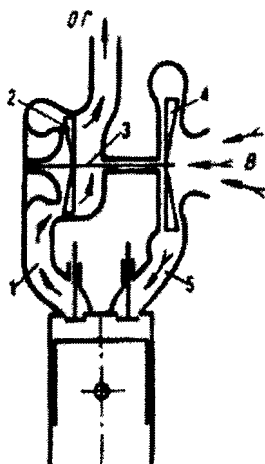


Рис. 1. Схема работы турбокомпрессора:  
 1 – выпускной канал,  
 2 – колесо турбины,  
 3 – вал,  
 4 – колесо компрессора,  
 5 – воздушный канал,  
 В – воздух,  
 ОГ – отработавшие газы.

Отработавшие газы имеют значительную энергию, которая обычно является неиспользованной. Выходящие газы попадают на лопатки турбинного колеса и вращают его с частотой (30...50).103 мин<sup>-1</sup>. Вращение от турбинного колеса передается на колесо компрессора. Засасываемый компрессором воздух нагнетается затем под давлением 0,13...0,15 МПа в цилиндры дизеля. Повышение наполнения цилиндров воздухом позволяет подавать и сжигать в них большое количество топлива. За счет этого мощность двигателя повышается на 25...30%. При сжатии турбокомпрессором воздух, естественно, нагревается, в связи с чем снижается его плотность, а в результате уменьшается масса воздуха, попадающего в цилиндры двигателя. Для того чтобы температура нагнетаемого воздуха не превышала по крайней мере 40...50 °С, предусматривается его охлаждение в специальном радиаторе.

В большинстве случаев повышение эксплуатационных качеств изделий связано с дополнительными издержками на их производство, которые влияют непосредственно на уровень покупных цен. Условие эффективности дополнительных капиталовложений можно записать в виде:

$$K = E - \Delta C, \text{ зл} \quad (1)$$

где К – мера эффективности, зл; Е – получаемый эффект в сфере эксплуатации ( на протяжении определенного срока), зл;  $\Delta C$  – уровень повышения цены, зл ( в нашем случае разница между ценой трактора, в котором применен обычный двигатель, и ценой трактора, в котором применен двигатель с турбонаддувом).

Если  $E - \Delta C > 0$ , тогда выполнено основное условие эффективности, а именно :

$$K = \frac{E}{\Delta C} > 1 \quad (2)$$

Нами были проведены тормозные и эксплуатационные испытания двигателей Z 8401 применяемых в сельскохозяйственных тракторах URSUS 902, 904, 912, 914, 934, а также двигателей Z 8402 с турбонаддувом ( трактора URSUS 1012, 1014, 1134 ). Кроме того был осуществлен опрос среди крестьян, которые используют оцениваемые трактора в своих хозяйствах.

Таблица содержит некоторые результаты испытаний тракторов. Для сравнительной оценки принята площадь хозяйства, равная 300 гектаров.

Таблица 1. Некоторые результаты сравнительных испытаний тракторов

| Трактор           | Привод | Производительность $ha / h$ | Расходы на обработку $1 ha, z\text{ł}$ | Время обработки площади $F$ $h$ | Расходы на обработку площади $F$ $z\text{ł} / год$ |
|-------------------|--------|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>URSUS 914</b>  | 4 x 2  | 1,55                        | 29,0                                   | 193,5                           | 8707,00                                            |
|                   | 4 x 4  | 1,61                        | 28,0                                   | 186,3                           | 8383,00                                            |
| <b>URSUS 1014</b> | 4 x 2  | 1,78                        | 28,6                                   | 168,5                           | 8593,00                                            |
|                   | 4 x 4  | 2,05                        | 24,9                                   | 146,3                           | 7461,00                                            |

На основе результатов испытаний тракторов можно сказать, что применение турбонаддува в дизеле приносит конкретный экономический эффект.

### Анализ показателей производительности и формирование производственной стратегии предприятия

Казакевич Л. А., канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник, Иванюшко С. Ф., БГАТУ, г. Минск

Повышение производительности и выбор эффективной производственной стратегии являются одними из основных задач предприятий АПК в условиях становления рыночных отношений. Они могут быть решены на основе анализа хозяйственной деятельности предприятий и учета всех внешних и внутренних факторов.

В работе рассмотрены показатели производительности и рентабельности на Ельском консервном заводе, специализирующемся на производстве овощных и фруктовых консервов и соков. На предприятии установлены производственные линии по выпуску фруктовых соков, соков с мякотью, маринадов, салатов и консервов. Из анализа приведенных в таблице данных следует, что в последние годы предприятие в основном работает эф-

фективно. Наибольшую прибыль дают фруктовые и овощные соки. В конце 1998 г. на предприятии проведена реконструкция линии по производству овощных и фруктовых соков, что сразу сказалось на показателях рентабельности и производительности. Реконструкция, включающая установку 11 единиц нового оборудования и внедрение механизированной чистки корнеплодов, позволила увеличить выпуск пользующихся повышенным спросом овощных и фруктовых соков.

Следует, однако, отметить, что рост показателей рентабельности и производительности после реконструкции в последующие годы по некоторым видам продукции сменился стабилизацией, а по фруктовым и томатным консервам наметился спад. Производственная стратегия предприятия должна быть направлена на дальнейшую модернизацию линий, выпускающих наиболее прибыльную продукцию (овощные и фруктовые соки).

| Год                                     |                 | 1997  | 1998 | 1999 | 2000 | 2001  |
|-----------------------------------------|-----------------|-------|------|------|------|-------|
| Рентабельность, %                       | Общая           | 7,5   | 18,1 | 44,8 | 22,7 | 12,5  |
|                                         | Овощных         | -28,8 | 19,2 | 85,6 | 16,8 | 3,4   |
|                                         | Томатных        | 4,8   | 3    | 8,1  | -1,9 | -14,6 |
|                                         | Соков фруктовых | 23,8  | 19,9 | 116  | 51,2 | 15,9  |
|                                         | Соков овощных   | -     | 30,2 | 3,6  | 0,9  | 9,9   |
| Производительность, стоимостные единицы | Общая           | 1,1   | 1,5  | 1,4  | 1,2  | 1,1   |
|                                         | Овощных         | 0,7   | 1,4  | 1,7  | 1    | 1     |
|                                         | Томатных        | 1     | 1,3  | 1,1  | 0,9  | 0,9   |
|                                         | Соков фруктовых | 1,3   | 1,6  | 2    | 1,4  | 1,1   |
|                                         | Соков овощных   | -     | 1,8  | 1    | 1    | 1     |

### **Снижение себестоимости продукции путем использования логистической транспортной системы**

**Трусь Ю. А., Баранов А. И., БГАТУ, г. Минск**

Задача повышения конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции белорусских производителей не может быть решена без снижения себестоимости. Одним из ключевых направлений при этом является применение логистической концепции, представляющей собой систему взглядов на рационализацию хозяйственной деятельности путем оптимизации материальных потоков. На практике выделяют закупочную, производ-

ственную, распределительную, транспортную и информационную логи-стику.

В работе рассмотрено применение транспортной логистики на ОАО «Молодечненский гормолзавод», обеспечивающее согласование действий по управлению материальными потоками в процессе осуществления больших объемов перевозок. Значительная часть логистических операций по пути следования материального потока от первичного источника сырья до конечного потребителя осуществляется с применением различных транспортных средств. Затраты на выполнение этих операций составляют до 50% от суммы общих затрат на логистику. При этом решается задача транспортировки все возрастающих потоков грузов без соответствующего увеличения количества осуществляющего перевозки транспорта.

Проведен анализ используемых автотранспортных средств с учетом их грузоподъемности, транспортных тарифов, времени доставки и частоты отправления грузов, вероятности сбоев и соблюдения графиков доставки, способность доставить груз из всех точек в любое время суток и пору года. Разработаны оптимальные транспортные цепи доставки сырья от производителей (хозяйства района) до Молодечненского гормолзавода, включающие маршруты и графики движения различных типов автотранспорта. Особое внимание уделено планированию согласованной работы автотранспорта и смежных производственных и складских подразделений.

Выполненные оценки показывают, что применение концепции логистики в ее транспортной составляющей по снабжению сырьем позволит получить снижение затрат в среднем на 25 %, что обеспечит уменьшение себестоимости продукции на 1,5...2 %. Используя полный логистический комплекс, можно достичь снижения себестоимости до 30 %. При этом вклад информационной логистики составит около 3...5 %, а основные резервы (до 20 %) связаны с применением производственной логистики.

### **Организация управления маркетинговой деятельностью Учебно-научно- производственного комплекса УО «БГАТУ»**

**Лукашевич А. В., БГАТУ, г. Минск**

Для повышения эффективности аграрного сектора экономики необходимо искать новые подходы при подготовке руководителей и специалистов сельхозпредприятий высшего и среднего звена.

Главная задача вузов – это повышение качества практической подготовки будущих специалистов агропромышленного сектора экономики. Для решения этой задачи необходимо совмещать научный поиск и производство. Практика многих лет и опыт показывают, что реализация этой задачи может быть обеспечена в условиях функционирования Учебно-научно-

производственного комплекса (УНПК).

Функционирование УНПК обеспечивается структурой управления, но она не может в полной мере быть эффективной без маркетингового подразделения. Маркетинговые обязанности в предприятии могут быть возложены на одно лицо. Ему будет поручено заниматься маркетинговыми исследованиями, рекламой, сервисом для клиентов, организовывать сбыт и решать другие вопросы.

Важная особенность агромаркетинга заключается в том, что его службы нередко имеют дело с товарами первой необходимости. Товар здесь, как правило, скоропортящийся, поэтому необходимы оперативность поставки, качественная упаковка, хорошее сервисное обеспечение.

Следует отметить, что до сих пор интерес к маркетингу в сфере агробизнеса в Республике Беларусь в основном носит теоретический характер, так как использование инструментов маркетинга в сфере практического применения ограничивается сильным государственным регулированием экономики в переходный период, нехваткой квалифицированных специалистов, отсутствием опыта работы в условиях рыночных отношений и рядом других факторов.

Широкое использование элементов маркетинга в практической деятельности обусловило появление в июле 1995 года приказа Министра сельского хозяйства и продовольствия, согласно которому на предприятиях всех сфер АПК предусматривалось создание специализированных информационно-маркетинговых служб.

Спустя несколько лет можно констатировать, что польза от этого приказа оказалась значительно меньше ожидаемой. Его выполнение свелось лишь к простому переименованию отделов снабжения и сбыта продукции в отделы маркетинга.

Анализируя сложность ситуации и учитывая современные экономические тенденции цели и задачи могут быть с успехом реализованы при создании следующих основных условий:

Организация структуры управления маркетинговой деятельностью по функциональному типу с отделом маркетинговых исследований, отделом по установлению цен на товары, отделом по продвижению товаров и оптовой торговле и отделом коммуникационных и информационных процессов (рис. 1).

Основная функция отдела маркетинговых исследований заключается в непрерывной обработке информации во всех аспектах ситуации на рынке. Анализируя сведения о продажах по отделениям, ассортиментным группам, отдельным товарам и др. факторам, маркетолог сможет определить результативность.

Особое значение придается методике ценообразования и поэтому необходимо создание отдела по установлению цен на товары в УНПК УО «БГАТУ».

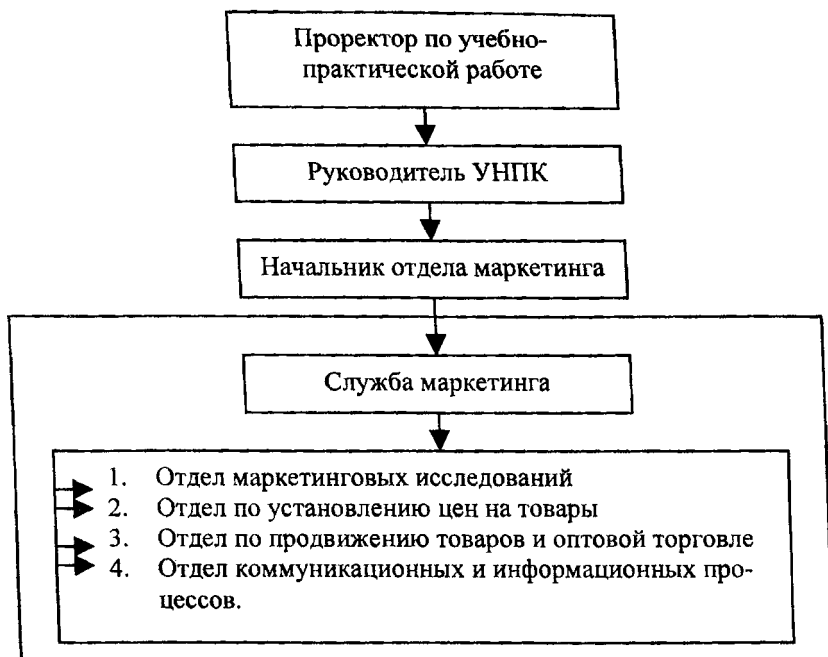


Рис.1 Структура управления маркетинговой деятельностью УНПК УО "БГАТУ".

Необходимо создать отдел коммуникационных и информационных процессов, так как именно маркетинговые коммуникации стимулируют конкуренцию, информируют клиентов предприятия, обеспечивают необходимыми данными.

Задача отдела маркетинговых коммуникаций и информационных процессов заключается в модификации управляемых факторов внутренней и внешней среды таким образом, чтобы они создавали благоприятные условия для проведения хозяйственной деятельности УНПК.

Ввести должность «Начальника отдела маркетинга» и возложить на него обязанности по управлению и организации функционирования службы маркетинга.

Отделу маркетинговых исследований поручить постоянно получать и обрабатывать информацию, которая дает конкурентные преимущества, определить отношения потребителей, следить за внешней средой, координировать стратегию, оценивать деятельность, повышать доверие к рекламе, повышать эффективность деятельности.

Отделу по установлению цен на товары придать особое значение методике ценообразования, учитывая интересы всех участников, обеспечивающих продвижение продукта к потребителю.

Отделу по продвижению товаров и оптовой торговле поручить установить прямые контакты с потребителями или использовать независимые каналы сбыта, заниматься транспортированием, хранением, осуществлять оптовую торговлю в соответствии со всем комплексом рыночных и производственных факторов деятельности УНПК.

Отделу коммуникационных и информационных процессов поручить обеспечивать УНПК УО «БГАТУ» объективными данными об эффективности затрат на проведение различных мероприятий по формированию спроса и стимулированию сбыта, ценой политики, всего арсенала активных методов воздействия на управляемые факторы внешней среды.

Взаимодействие и взаимодополняемость этих условий позволят создать комплексную маркетинговую систему.

### **Комплекс программ расчёта характеристик электрических тяговых приводов**

**Новиков Г.В.,** ст. науч. сотрудник, канд. техн. наук, НАТИ, Москва

Традиционный взгляд на вычислительные звенья в составе САПР, как на интегрированные системы быстрого счёта обычных характеристик по обычным методам, – реликт психологии 70-х годов теперь уже прошлого века, когда считали, что компьютер нужен только для сокращения лишних инженеров (или бухгалтеров), должен, несомненно, там и остаться. Тем, кто сохранил такой взгляд, просто не повезло – они не встретились с программными пакетами типа метода конечных элементов или прошли мимо вычислительной математики, позволяющей разрабатывать и применять новые методы – простые итерационные или сложные типа цифрового моделирования. Представленный здесь комплекс программ, включающий программы всех этих типов, применялся при расчётах многих типов электрических трансмиссий с неизменным успехом благодаря, по-видимому, удачному сочетанию комплексного и комбинированного использования частных расчётных программ и интерактивного включения банков данных.

В докладе приводится вычислительное ядро комплекса. Группы программ связаны с разными банками данных, причём связями и выбором управляет оператор. Попытка решить проблему управления связями, выбором и анализом результатов расчётов программно принципиально обречена на неудачу, т.к. предполагает возможность программировать творческий процесс, что вряд ли удастся при жизни нашего поколения.

Сгруппированы программы следующим образом. Первая группа включает программы расчёта характеристик машин, главным образом, тяговых двигателей. Программы выбираются из банка машин по виду машин для этой и двух следующих групп и из банка характеристик по типу характери-

стик. Вторая включает характеристики оптимизации привода и связана с банками данных методов и условий оптимизации, например, по к.п.д., для соответствующих машин и их характеристик. Задания вводятся особо. Третья включает характеристики регулирования и дополнительно связана с банками данных программ и формул, определяющих условия регулирования. Четвёртая группа предназначена для вычисления тяговых характеристик объекта привода и связана с банком условий, включающих характеристики опорной поверхности и программы буксования, и заданий, определяющих данные приводящего двигателя и основных нагрузок. Наконец последняя группа предназначена для вычисления параметров особых режимов, которыми могут быть режимы движения по стандартному или заданному маршруту, с заданием особых условий расчёта, например, определением энергозатрат или времени прохождения при разных типах управления и регулирования. Программы каждой следующей группы используют результаты расчётов характеристик машин, и, возможно, других предыдущих групп. Все низшие группы используют, например, результаты расчётов характеристик регулирования, а эти последние - характеристик оптимизации.

Нигде до сих пор не упоминался вид трансмиссии. Это значит, что вычислительная система равно пригодна для расчёта характеристик любых электрических трансмиссий, независимо от их силовых схем, типов машин и способов регулирования. Так, одной из первых расчёту подверглась система СГ-АД, прозрачная трансмиссия с синхронным генератором и асинхронными двигателями, существенно отличающаяся во многих отношениях от прочих систем электрического привода.

Структура вычислительного ядра может считаться универсальной и пригодной для использования при расчётах любых, в том числе и не электрических, приводов. Необходимым условием для этого является только регулируемость соответствующего привода.

### **Модель электрохимического изменения свойств органических дисперсных гидросистем**

**Заяц Е. М.**, докт. техн. наук, доцент, **Николаенко М. М.**, канд. техн. наук, доцент, БГАТУ, г. Минск

Продукты с/х производства растительного и животного происхождения (овощные и фруктовые соки, сыворотки, питательные растворы для выращивания микроорганизмов, отходы пищевой промышленности и др.) в общем виде представляющие собой коллоидные растворы, с определенной долей условности можно объединить одним названием "органические гидросистемы" (ОГС). Подобные системы с целью повышения эффективности использования их питательного потенциала, интенсификации процессов

извлечения полезных веществ, выращивания микроорганизмов (дрожжевое производство), обеззараживания подвергают различным видам обработки. В основе рассматриваемых процессов лежит их физико-химическая природа, заключающаяся в протекании химических реакций на уровне макромолекул вещества, действующим началом которых являются ионы  $\text{OH}^-$  и  $\text{H}^+$ .

Проблема состоит в том, чтобы технологии были экономически эффективными, энергосберегающими и обеспечивали высокое качество получаемого продукта. Одним из возможных направлений ее решения может выступать технология электрохимической обработки (ЭХО), направленная на повышение эффективности использования питательного потенциала ОГС.

Процесс преобразования питательных свойств при обработке представляет собой гетерогенные реакции ионного обмена между клеточной мембраной и жидкостной фазой. В химической технологии скорость таких реакций в общем виде определяется формулой

$$v = k \exp\left(-\frac{G}{RT}\right) S_{\text{yo}} (C^s - C^0), \quad (1)$$

где  $k$  - предэкспоненциальный множитель,  $G$  - энергия активации химической реакции,  $R$  - газовая постоянная,  $T$  - температура,  $S_{\text{yo}}$  - удельная площадь реакционной поверхности,  $(C^s - C^0)$  - движущая сила процесса,  $C^s$  - концентрация активных ионов на поверхности мембраны,  $C^0$  - концентрация активных ионов в объеме раствора.

Как известно, на границе раствор - клеточная мембрана возникает двойной электрический слой (ДЭС). Поверхностная концентрация актив-

ных ионов: 
$$C^s = C^0 \exp\left(-\frac{g + zF\phi}{RT}\right), \quad (2)$$

где  $g$  - энергия химической адсорбции ионов,  $zF\phi$  - энергия электростатической адсорбции,  $z$  - заряд иона,  $\phi$  - потенциал внешней плоскости Гельмгольца ДЭС.

Традиционные технологии интенсифицируют процесс либо повышением концентрации активных ионов, изменяя таким образом структуру ДЭС, либо повышают температуру, сообщая, тем самым, нуклефилам энергию активации, достаточную для преодоления ДЭС. Концентрация химреагентов, вносимых в раствор, имеет допустимый предел, устанавливаемый зоотехническими нормами, а повышение температуры приводит к возрастанию энергоемкости процесса. Более предпочтительным на наш взгляд является изменение концентрации активных ионов электрохимическим способом, в частности, обработкой ОГС в двухкамерном электролизере, разделенном ионопроницаемой мембраной. Концентрация ионов в растворе в этом случае определяется расходом тока, прошедшего через гидросистему:

$$C^0 = C^{нач} + \frac{I\tau}{FV_p}(\eta_a + \eta_k), \quad (3)$$

где  $C^{нач}$  - начальная концентрация активных ионов в растворе, определяемая концентрацией химреагентов,  $I$  - ток, проходящий через гидросистему,  $\tau$  - время протекания тока,  $V_p$  - объем раствора,  $\eta_a$  - выход по току анионов,  $\eta_k$  - выход по току катионов.

Из приведенных формул видно, что электрохимическим изменением концентрации ионов можно регулировать химические процессы в ОГС, и, следовательно, изменять их свойства.

Проведенная в Белорусском государственном аграрном техническом университете экспериментальная проверка показала, что применение ЭХО повышает усвояемость фуражного зерна до 85...87%, выход белка из картофельного сока - до 93...58%, из молочной сыворотки - до 65...80% при снижении энергетических затрат на обработку в 1,3...1,5 раза в сравнении с традиционными технологиями.

Таким образом, электрохимическое изменение свойств ОГС является новым эффективным направлением применения электрической энергии в технологических процессах обработки сельскохозяйственной продукции и, в частности, повышения эффективности использования питательного потенциала кормовых материалов.

### Модель процесса электротермохимической обработки фуражного зерна

Кардашов П. В., ст. преподаватель, Николаенок М. М., канд. техн. наук, доцент, Заяц Е. М., докт. техн. наук, доцент, БГАТУ, г. Минск

Клейстеризация крахмала зерна представляет собой гетерогенную химическую реакцию ионного замещения. Скорость реакции с учетом фарадеевского тока определяется по формуле:

$$\vartheta_{отн} = \left[ 1 + \frac{1}{FC_{k_i}^{k_o}} \int_0^{D_\tau} n_j dD_\tau \right] K^S \exp\left(-\frac{G}{RT}\right). \quad (1)$$

Глубина обработки зерна может быть оценена коэффициентом переваримости  $K_{пер}, \%$ . Обозначим начальное значение коэффициента переваримости  $K_{пер}^{нач}$ , предельное -  $K_{пер}^{кон}, \%$ . Максимальное изменение коэффициента переваримости

$$\Delta K_{\text{пер}}^{\text{max}} = K_{\text{пер}}^{\text{кон}} - K_{\text{пер}}^{\text{нач}} \quad (2)$$

Текущее изменение коэффициента переваримости

$$\Delta K_{\text{пер}} = K_{\text{пер}} - K_{\text{пер}}^{\text{нач}} \quad (3)$$

Обозначив правую часть уравнения (1) через  $a$  и исходя из закона действующих масс выразим скорость реакции для коэффициента переваримости

$$\frac{d\Delta K_{\text{пер}}}{d\tau} = a(\Delta K_{\text{пер}}^{\text{max}} - \Delta K_{\text{пер}}) \quad (4)$$

После соответствующих преобразований

$$\Delta K_{\text{пер}} = \Delta K_{\text{пер}}^{\text{max}} (1 - e^{-a\tau}) \quad (5)$$

Подставив в (5) соответствующие значения из (2) и (3) получим

$$K_{\text{пер}} = (K_{\text{пер}}^{\text{кон}} - K_{\text{пер}}^{\text{нач}})(1 - e^{-a\tau}) + K_{\text{пер}}^{\text{нач}}, \quad (6)$$

или

$$K_{\text{пер}} = (K_{\text{пер}}^{\text{кон}} - K_{\text{пер}}^{\text{нач}}) \times \\ \times \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( 1 + \frac{1}{FC_{k_i}^{k_o}} \int_0^{D_{\tau}} n_j dD_{\tau} \right) \tau K^S \exp \left( - \frac{G}{RT} \right) \right] \right\} + K_{\text{пер}}^{\text{нач}}. \quad (7)$$

Константу скорости реакции  $K^S$  и энергию активации  $G$  можно определить экспериментально, исследовав кинетику процесса для двух изотермических процессов, протекающих при температуре  $T_1$  и  $T_2$  и отсутствии электрического тока.

В этом случае уравнение (1) запишется в виде

$$\vartheta_{\text{отн}} = K^S \exp \left( - \frac{G}{RT} \right). \quad (8)$$

Выражение (8) представляет собой зависимость константы скорости реакции от температуры и представляет собой уравнение Аррениуса

$$k = K^S \exp \left( - \frac{G}{RT} \right), \text{ где } \vartheta_{\text{отн}} = k$$

Пользуясь методом наименьших квадратов, из экспериментальных данных можно найти значение  $k$ ,  $\text{с}^{-1}$  для двух значений температуры (соответственно  $k'$  и  $k''$ )

$$k = \frac{\ln K_{\text{пер}}^{\text{кон}} \sum_{i=1}^n \tau_i - \sum_{i=1}^n \ln(K_{\text{пер}}^{\text{кон}} - K_{\text{пер}})}{\sum_{i=1}^n \tau_i^2}, \quad (9)$$

где  $\tau_i$  – время обработки, с.

Тогда энергию активации можно определить из выражения:

$$G = R \ln \left( \frac{k''}{k'} \right) \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}. \quad (10)$$

Значение предэкспоненциального множителя в уравнении Аррениуса находим как

$$K^S = \frac{k'}{\exp \left( -\frac{G}{RT_1} \right)} = \frac{k''}{\exp \left( -\frac{G}{RT_2} \right)}. \quad (11)$$

Количество электричества, протекающее через раствор в анодной и (катодной) зоне

$$D_{\tau}^{A(K)} = \frac{\gamma_r^c E_c \tau}{I_{a,(K)} (1 - \nu)}. \quad (12)$$

Таким образом, математической моделью процесса электротермохимической обработки зерна, позволяющей рассчитать кинетические параметры, является уравнение (7).

В модель процесса ЭТХО зерна входит ряд уравнений описывающих: температурное поле; числа переноса активных ионов через разделительную мембрану; количество протекающего электричества; коэффициент переваримости; pH раствора. Модель процесса может быть решена с использованием средств вычислительной техники.

#### Модель температурного поля в среде, полуограниченной электродами, разделенными мембраной

**Николаенок М. М.**, канд. техн. наук, доцент, **Заяц А. Е.**, инженер, **Кардашов П. В.**, ст. преподаватель, БГАТУ, г. Минск

Повышение эффективности использования кормовых материалов (фуражного зерна, белков молочной сыворотки, картофельного сока и др.), представляющих собой органическую дисперсную гидросистему, связано с

пропусканием электрического тока через среду, полуограниченную униполярными электродами, разделенными мембраной (рис.1).

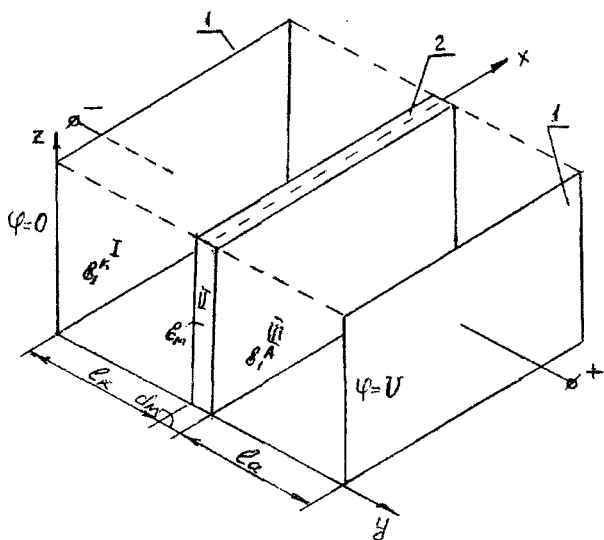


Рис.1. Схема к расчету температурного и электрического полей плоско-параллельной электродной системы с разделительной мембраной: 1 – токоподводящие электроды, 2 – мембрана

Для одномерного случая из уравнения Лапласа в каждой из образовавшихся областей I, II, III с учетом граничных условий получили напряженность электрического поля

в области I

$$E(y) = \frac{U}{l_k + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} l_a + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} d_m}; \quad (1)$$

в области II

$$E(y) = \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_m} \frac{U}{l_k + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} l_a + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} d_m}; \quad (2)$$

в области III

$$E(y) = \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} \frac{U}{l_k + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_1^a} l_a + \frac{\varepsilon_1^k}{\varepsilon_{m1}} d_m}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_1^k, \varepsilon_1^a, \varepsilon_m$  - диэлектрическая проницаемость материала катодной и анодной зоны, мембраны;  $l_k, l_a, d_m$  - толщина катодной и анодной зоны, мембраны;  $U$  - напряжение питания электродов.

Температурное поле в процессе обработки описывается известным уравнением

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\lambda(y)}{\rho(y)C(y)} \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{\gamma(T, e)E^2(y)}{\rho(y)C(y)}, \quad (4)$$

с начальными условиями

$$T|_{\tau=0} = T_0, \quad (5)$$

и граничными условиями:

область I

$$\begin{aligned} \text{при } y=0, \quad \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_1 (T_b - T|_y); \\ \text{при } y=l_k, \quad \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_1 (T_m|_y - T|_y); \end{aligned} \quad (6)$$

область II

$$\begin{aligned} \text{при } y=l_k, \quad \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_2 (T_k|_y - T|_y); \\ \text{при } y=l_k + d_m, \quad \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_2 (T_a|_y - T|_y); \end{aligned} \quad (7)$$

область III

$$\begin{aligned} \text{при } y=l_k + d_m, \quad \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_2 (T_m|_y - T|_y); \\ \text{при } y=l_k + l_a + d_m, \quad \lambda(y) \frac{dT}{dy} &= \alpha_1 (T_b - T|_y); \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\lambda(y), C(y), \rho(y)$  - теплопроводность, теплоемкость, плотность материала;  $\alpha_1, \alpha_2$  - коэффициенты теплоотдачи от среды к воздуху и к мембране;  $T$  - температура среды;  $T_0$  - начальная температура среды;  $T_a, T_k, T_m$  - температура на границе анодной, катодной зоны, мембраны;  $T_b$  - температура окружающего воздуха;  $\gamma(T, y)$  - удельная электрическая проводимость нагреваемого материала;  $\tau$  - время нагрева;  $\rho(y)$  - плотность материала.

При электролизе дисперсной гидросистемы, содержащей катионы и анионы в двухкамерном электролизере происходит изменение их концентрации. В связи с этим, проводимость материала в области I

$$\gamma(T, y) = \frac{C_a^{A_0} l_k F [\gamma_0^k + A_1(T - 273)]}{C_a^{A_0} l_k F + [\gamma_0^k + A_1(T - 273)] E(y) \int_0^\tau n_a(\tau) d\tau} \quad (9)$$

в области II

$$\gamma(T, y) = \gamma_m; \quad (10)$$

в области III

$$\gamma(T, y) = \frac{C_k^{K_0} l_a F [\gamma_0^a + A_2(T - 273)]}{C_k^{K_0} l_a F + [\gamma_0^a + A_2(T - 273)] E(y) \int_0^\tau n_k(\tau) d\tau}, \quad (11)$$

где  $\gamma_0^k, \gamma_0^a$  - электрическая проводимость материала в катодной, анодной зоне при температуре 293K;  $A_1, A_2$  - температурный коэффициент проводимости материала в катодной, анодной зоне;  $F$  - число Фарадея;  $C_a^{K_0}, C_k^{A_0}$  - начальная концентрация анионов в катодной зоне, катионов в анодной зоне;  $n_a(\tau), n_k(\tau)$  - число переноса анионов, катионов.

Решение уравнения (4), с учетом начальных (5) и граничных (6-8) условий, для значений напряженности электрического поля (1-3) и электрической проводимости (9-11) может быть получено в конечных разностях методом прогонки.

Таким образом, предлагаемую математическую модель можно использовать с целью выбора оптимальных геометрических параметров электролизера и условий обработки, при которых температурное поле наиболее равномерно.

## Модель процесса электротермохимической коагуляции белков в органических гидросистемах

Заяц Е. М., докт. техн. наук, доцент, Николаенко М. М., канд. техн. наук, доцент, Кривовязенко Д. И., БГАТУ, г. Минск

Некоторые органические гидросистемы (молочная сыворотка, картофельный сок и др.) с целью выделения белка подвергают коагуляции. Механизм коагуляции зависит от взаимодействия коллоидных частиц с раствором. Белки, имеющие в своем составе функциональные группы  $-\text{COO}^-$  и  $-\text{NH}_3^+$  и гидрофобный радикал  $-\text{R}$ , способны в водных растворах образовывать макроионы, имеющие либо положительный (в кислой среде), либо отрицательный (в щелочной среде) заряд. В изоэлектрическая точка (ИЭТ), когда электрокинетический потенциал  $\xi$  равен нулю молекулы белка сворачиваются в клубки, коагулируют. Достичь ИЭТ можно путем изменения электрохимическим способом pH среды пропуская через нее электрический ток:

в анодной зоне

$$\text{pH}_A = \lg(10^{-\text{pH}_A^{\text{нач}}} + \frac{10^{-3}}{F} \int_0^{D_\tau^A} n_{H^+} dD_\tau^A); \quad (1)$$

в катодной зоне

$$\text{pH}_K = 14 + \lg(10^{-\text{pH}_K^{\text{нач}}} + \frac{10^{-3}}{F} \int_0^{D_\tau^K} n_{\text{OH}^-} dD_\tau^K), \quad (2)$$

где  $\text{pH}_A^{\text{нач}}$ ,  $\text{pH}_K^{\text{нач}}$  - начальное значение pH среды в анодной и катодной зоне;  $F$  - число Фарадея;  $dD_\tau^{A(K)}$  - количество электричества, вводимое в единицу объема среды в анодной (катодной) зоне;  $n_{\text{OH}^-}$ ,  $n_{H^+}$  - число переноса ионов  $\text{OH}^-$  и  $H^+$  мембраной.

Количество электричества, протекающее через единицу объема среды

$$D_\tau^{A(K)} = \frac{E}{l_{A(K)}} \int_0^\tau \gamma^{A(K)}(T, C_i) d\tau, \quad (3)$$

где  $E$  - напряженность электрического поля;  $l_{A(K)}$  - толщина слоя в анодной (катодной) зоне;  $\gamma^{A(K)}(T, C_i)$  - проводимость раствора, зависящая от температуры и концентрации ионов в соответствующей зоне;  $\tau$  - время.

Проводимость раствора в анодной (катодной) зоне

$$\gamma^{A(K)}(T, C_i) = \frac{C_{K(A)}^{нач} - K_{K(A)}}{C_{K(A)}^{нач}} [\gamma_0^{A(K)} + A_1^{A(K)}(T - 273)], \quad (4)$$

где  $C_{K(A)}^{нач}$  - начальная концентрация ионов в катодной (анодной) зоне;  $K_{K(A)}$  - накопление кислотности (щелочности) в анодной зоне (катодной зоне);  $\gamma_0^{A(K)}$  - проводимость раствора в анодной зоне (катодной зоне) при температуре 273K;  $A_1^{A(K)}$  - температурный коэффициент проводимости раствора в анодной зоне (катодной зоне).

Кинетика изменения температуры для однолинейного случая (в соответствующей зоне) описывается уравнением

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\lambda}{\rho C} \frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{\gamma(T, C_i) E^2}{\rho C}, \quad (5)$$

с начальными условиями

$$T|_{\tau=0} = T_0 \quad (6)$$

и граничными условиями, при  $x = 0$ ;  $x = l_A + l_K$

$$\lambda \frac{dT}{dx} = \alpha(\tilde{T} - T|_x), \quad (7)$$

где  $\lambda, \rho, C$  - теплопроводность, плотность, теплоемкость материала;  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи от материала к окружающей среде;  $\tilde{T}$  - температура окружающей среды.

С другой стороны, в соответствии с теорией устойчивости Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО), коагуляция возможна в случае, когда энергия молекулярного и диполь-дипольного притяжения частиц

$(W_{\text{м}} + W_{\text{д}})$  превышает энергию их электростатического отталкивания

$W_{\text{э}}$ , которую можно выразить, приняв с некоторым допущением, что полный потенциал  $\Phi_0$  равен экспериментально определяемому и зависящему от  $pH$  электрокинетическому потенциалу  $\xi$ , как

$$W_{\text{э}} = 16\epsilon_0\epsilon_c \left( \frac{RT}{F} \right)^2 \text{th}^2 \left( \frac{\xi(pH)z_i e}{4kT} \right) \frac{a}{S} \exp[-ka(S-2)], \quad (8)$$

где  $\epsilon_0, \epsilon_c$  - диэлектрическая проницаемость вакуума и относительная диэлектрическая проницаемость среды;  $R$  - газовая постоянная;  $z_i$  - валентность  $i$ -го иона;  $e$  - заряд электрона;  $k$  - постоянная Больцмана;  $a$  -

размер частицы;  $h$  - расстояние между частицами;  $k$  - параметр Дебая-Гюккеля.

Скорость коагуляции, подобно химической реакции, может быть выражена реакцией 2-го порядка для глубины процесса  $\eta$

$$\frac{d\eta}{d\tau} = Kn_0(1 - \eta)^2, \quad (9)$$

где  $n_0$  - начальная концентрация молекул белка;  $K$  - коэффициент скорости процесса.

Коэффициент скорости процесса определяется из уравнения Аррениуса

$$K = k_0 \exp\left(-\frac{W_a}{RT}\right), \quad (10)$$

где  $k_0$  - константа скорости;  $W_a$  - энергия активации процесса коагуляции.

По Смолуховскому

$$k_0 = 8\pi D\left(\frac{a}{2} + h\right), \quad (11)$$

где  $D$  - коэффициент диффузии частиц, определяемый из формулы Эйнштейна-Стокса:

$$D = \frac{2RT}{N_A 6\pi\eta_c a}, \quad (12)$$

где  $N_A$  - число Авагадро;  $\eta_c$  - вязкость среды.

Приняв  $W_a = W_\varepsilon$ , уравнение скорости процесса коагуляции можно записать в виде

$$\frac{d\eta}{d\tau} = \frac{8RT}{3N_A\eta_c a}\left(\frac{a}{2} + h\right)\exp\left(-\frac{W_\varepsilon}{RT}\right). \quad (13)$$

Таким образом, приведенные уравнения позволяют аналитически описать процесс коагуляции белка в органических водных системах.

### **Энергоэкономическая экспертная оценка новых отопительно-вентиляционных установок птичников**

**Вербилло А. А., БГАТУ, г. Минск**

Создание микроклимата в птичниках занимает основную часть в структуре энергоёмкости птицеводства и оказывает существенное влияние на се-

бестоимость продукции.

Существенного эффекта в экономии энергии, расходуемой на создание микроклимата, можно достичь за счёт снижения потерь связанных с воздухообменом.

Проанализированы основные способы снижения энергозатрат, позволяющие в значительной мере реализовать потенциальные возможности снижения потребления энергоресурсов при интенсивном производстве продукции птицеводства:

- использование кожухотрубного рекуперативного теплоутилизатора, в котором осуществляется частичный подогрев холодного воздуха за счёт теплоты, удаляемой из помещения нагретого воздуха, представляющего собой теплообменник с теплопередающей поверхностью из стеклянных труб, в качестве которых используются корпуса ламп дневного света, вышедшие из строя;

- использование рециркуляционного очистного оборудования, представляющего собой вертикальный фильтр, с твердым органическим сорбентом предназначенный для очистки от газовых примесей и бактерицидной обработки вентиляционных и технологических газозвдушных смесей и бактерицидными лампами, что практически обеспечивает его полную очистку и обеззараживание.

Количественные и качественные оценки эффективности того или иного способа экономии энергоресурсов или их сочетания требует создания и разработки достаточно полных и универсальных математических моделей, описывающих работу отопительно-вентиляционных систем для птичников, так как без этого невозможен учёт влияния всего многообразия различных факторов (технология содержания, вид и возраст птицы, температура и влажность воздуха в помещении, различные сочетания систем отопления, геометрические и теплотехнические характеристики зданий и метеорологические параметры наружного воздуха), на суммарные годовые затраты теплоты и электроэнергии.

В БАТУ создана адекватная модель, разработан алгоритм для решения полученной системы уравнений, проведены “машинные” эксперименты на ЭВМ и разработан программный продукт энергетической оценки возможных вариантов и параметров отопительно-вентиляционной системы, для пользователей-специалистов по энергоаудиту в птицеводстве, позволяет решить ряд задач по наиболее рациональному использованию энергоресурсов в птицеводстве (определение энерго- и электроемкости и годового расхода теплоты на процесс отопления и вентиляцию), а также сформулировать требования к тепловому и электрическому оборудованию птичников и его автоматизации использовании ее для экспертизы в процессе энергоаудита птицеводческих предприятий.

## **Моделирование воздействия электрического поля на метаболизм микроорганизмов с использованием электрических схем замещения.**

**Баран А. Н., канд. техн. наук, доцент, Селюк Ю. Н., БГАТУ, г. Минск**

Исследованиями последних лет установлены некоторые особенности метаболизма микроорганизмов, представляющие интерес для электробиотехнологии. Особое место занимают процессы ионного транспорта в клетках микроорганизмов. С одной стороны, возможно электротехнологическое воздействие на указанные процессы, поскольку ионы являются заряженными частицами. С другой стороны, по некоторым данным, процессы ионного транспорта играют основную роль в метаболизме клеток микроорганизмов. В настоящее время установлено, что распределение ионов между клеткой микроорганизма и окружающей средой имеет явно выраженный неравномерный характер. Отмечено, что концентрации различных ионов внутри и вне клетки существенно различаются. Для объяснения указанного эффекта была предложена теория активного транспорта ионов (ионных насосов).

Моделирование процессов ионного транспорта и воздействия на них электрического поля представляет значительный интерес и ценность. Результаты моделирования позволяют оценить характеристики электрообработки, недоступные для прямых измерений. Наиболее целесообразным является моделирование с использованием электрических схем замещения, неоднократно изложенное в материалах различных исследований.

Нами было выполнено моделирование процессов активного ионного транспорта дрожжевой клетки на основании эквивалентных электрических схем замещения. Параметры схемы определялись по данным изучения процессов ионного обмена, полученным различными исследователями. Были проведены численные эксперименты на ЭВМ по изучению влияния внешнего электрического поля на ионный транспорт, предложена модель механизмов регуляции ионного обмена. Установлено, что возможно управление ионными потоками клетки при помощи электрического поля, выполнено исследование механизмов регуляции ионного обмена клетки. Данные механизмы в определённых пределах обеспечивают оптимальное протекание процессов метаболизма при изменении внешних условий. Полученные результаты могут быть использованы при разработке устройств электрообработки микроорганизмов и определении оптимальных параметров электрообработки.

**К вопросу моделирования электротепловых процессов при обработке токопроводящей среды емкостным электродным электронагревателем с зонированной плоскопараллельной электродной системой**

Прищепов М. А., канд. техн. наук, доцент, Рутковский И.Г., БГАТУ, г. Минск

При разработке электронагревательных установок большое значение придается математическому моделированию процесса нагрева. На численное моделирование затрачивается значительно меньшее количество ресурсов и энергии. Однако моделирование электротепловых процессов при обработке токопроводящей среды емкостным электродным электронагревателем (ЭЭН) с зонированной плоскопараллельной электродной системой достаточно сложная задача. Для описания нестационарного процесса движения обрабатываемой среды при электротепловой обработке использовались дифференциальные уравнения в частных производных:

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = \beta \cdot g \cdot (\theta_c - \theta_{c.n}); \quad (1)$$

$$C_p \cdot \rho_c \cdot \left( \frac{\partial \theta_c}{\partial \tau} + v \cdot \frac{\partial \theta_c}{\partial x} \right) = \frac{U_k^2 \cdot \eta}{\rho t(\theta_c) \cdot H^2}, \quad (2)$$

где  $C_p$  — удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг·°C);  $\theta_c$  — температура обрабатываемой среды, °C;  $\theta_{c.n}$  — начальная температура обрабатываемой среды, °C;  $H$  — межэлектродное расстояние электронагревателя, м;  $\rho t$  — удельное сопротивление обрабатываемой среды, Ом·м;  $\rho_c$  — плотность обрабатываемой среды, кг/м<sup>3</sup>;  $X$  — текущая координата длины электронагревателя, м;  $\eta$  — коэффициент полезного действия ЭЭН;  $v$  — скорость перемещения обрабатываемой среды при конвекции, м/с;  $\beta$  — коэффициент объемного расширения, 1/°C;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $U_k$  — напряжение на  $k$ -ой последовательно соединенной зоне, В.

Кроме того в модели необходимо учитывать изменение температуры у дна емкости, которая зависит от средней скорости обрабатываемой среды в емкости  $V_{CP.E}$  и времени начала установившегося движения обрабатываемой среды по всему объему емкости  $\tau_{II}$ . Температура у дна емкости зависит от отношения времени с момента включения ЭЭН к времени начала установившегося движения обрабатываемой среды.

$$V_{CP.E} = V \frac{H \Pi}{S_{EMK}}; \quad (3)$$

$$\tau_{II} = \frac{M}{V_{CP.E} \cdot S_E \cdot \rho_C}; \quad (4)$$

$$\frac{\tau}{\tau_{\Pi}} < 1, \quad \theta_{C.Д} = \theta_{C.Н} + \frac{\int_0^{\tau_H} I^2 R dt}{C_P M} \cdot \frac{\tau}{\tau_{\Pi}}; \quad (5)$$

$$\frac{\tau}{\tau_{\Pi}} \geq 1, \quad \theta_{C.Д} = \theta_{C.Н} + \frac{\int_0^{\tau_H} I^2 R dt}{C_P M}, \quad (6)$$

где  $\theta_{C.Д}$  — температура обрабатываемой среды у дна емкости, °C;  $S_{\text{емк}}$  — площадь поперечного сечения емкости;  $M$  — масса обрабатываемой среды, кг;  $\tau_H$  — время нагрева среды, с;  $\Pi$  — ширина электродов электронагревателя, м;  $I$  — мгновенное значение полного тока электронагревателя, А;  $R$  — мгновенное значение полного сопротивления электронагревателя, Ом.

Отношение времени с момента включения ЭЭН к времени начала установившегося движения среды определяет степень перемешивания нагретой в ЭЭН среды с нагреваемой средой в емкости. Когда это отношение равно или больше единицы, то движение среды в емкости устанавливается по всему объему и можно считать, что выделяемая при нагреве мощность также равномерно распределяется по всему объему нагреваемой среды. Введенные допущения и коэффициент перемешивания позволяют моделировать процесс нагрева емкостным ЭЭН с плоскопараллельной зонированной электродной системой с точностью 10-15%. Такой точности достаточно для практической реализации моделируемых ЭЭН.

### Математическое моделирование процесса теплообмена проточных ЭНУ с термозависимыми поверхностно-распределенными электронагревателями при свободной конвекции обрабатываемой среды

Прищепов М. А., канд. техн. наук, доцент, Власенко А. П., БГАТУ, г. Минск

В наиболее общем случае проточная электронагревательная установка (ЭНУ) с поверхностно-распределенным электронагревателем (ПЭН) представляет собой сложную конструкцию, перенос теплоты в которой от тепловыделяющего элемента к нагреваемой среде сопровождается различными механизмами теплопередачи: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Кроме того, процесс переноса теплоты может оказывать влияние на процесс ее выделения. Это происходит в том случае, если в ПЭН используется резистивное токопроводящее покрытие (РТП) с термозависимым удельным сопротивлением.

Следовательно, для расчета электротепловых характеристик таких проточных ЭНУ необходимо решать сопряженную задачу с учетом свободной конвекции, лучистого теплообмена и распределения потенциала электрического поля, что вызывает значительные трудности, обусловленные необходимостью решения системы интегро-дифференциальных уравнений в частных производных (электрического поля, теплопроводности, энергии, движения и неразрывности):

$$c\rho\delta\frac{\partial t}{\partial\tau}=\delta\lambda_{\text{э}}\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+q_F(x,t)-\alpha_C(x,t)\cdot(t-t_C)-$$

$$-\alpha_B\cdot(t-t_0)-\alpha_{\text{л}}\varphi_{\text{л}}\cdot(t-\bar{t}); \quad (1)$$

$$q_F=j\cdot E; \quad (2)$$

$$E=\frac{U\cdot\rho_{\text{л}}(x,t)}{l}; \quad (3)$$

$$\int_0^l\rho_{\text{л}}(x,t)dx$$

$$J=\frac{U}{l}; \quad (4)$$

$$\int_0^l\rho_{\text{л}}(x,t)dx$$

$$c_C\cdot G\frac{\partial t_C}{\partial x}+c_C\rho_C F\frac{\partial t_C}{\partial t}=\alpha_C(x,t)\cdot p\cdot(t-t_C); \quad (5)$$

$$\frac{\partial\rho_C}{\partial\tau}+\frac{\partial(\rho_C w)}{\partial x}=0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial w}{\partial\tau}+w\frac{\partial w}{\partial x}=g-\frac{1}{\rho_C}\cdot\frac{\partial p_{\text{л}}}{\partial x}; \quad (7)$$

$$\rho_C=\rho_0\cdot[1-\beta\cdot(t_C-t_0)] \quad (8)$$

$$\alpha_C(x,t)=f(Gr,Pr,x,t). \quad (9)$$

где  $c\rho$  - эквивалентное произведение теплоемкости и плотности корпусно-изоляционных слоев ПЭН, Дж/(м<sup>3</sup>·°C);  $\alpha_C(x,t)$  - зависимость изменения коэффициента теплоотдачи по длине ПЭН, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha_B$  - суммарный коэффициент теплоотдачи в воздух, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha_{\text{л}}$  - коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\lambda_{\text{э}}$  - эквивалентная теплопроводность корпусно-изоляционных слоев ПЭН, Вт/(м·°C);  $\tau$  - общая толщина ПЭН,

м;  $t$  – температура ПЭН, °С;  $\rho_{II}$  – удельное поверхностное сопротивление РТП, ом/квadrat;  $J$  – поверхностная плотность тока А/м;  $E$  – напряженность электрического поля, В/м;  $q_F$  – плотность теплового потока РТП ПЭН, Вт/м<sup>2</sup>;  $P$  – периметр проточного ПЭН, м;  $G$  – массовый расход среды, кг/с;  $w$  – скорость движения обрабатываемой среды, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\varphi_{II}$  – коэффициент взаимооблучения пластин;  $\rho_0, \rho_c$  – плотность обрабатываемой среды при температуре  $t_0$  и  $t_c$  соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  – высота пластин проточного аппарата, м;  $\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения; °С<sup>-1</sup>;  $p_d$  – потери давления на преодоление сопротивлений движению жидкости в проточном ПЭН:

$$p_d = \frac{\xi_{TP} + \xi_M}{2} \rho_c w^2, \quad H / \text{м}^2; \quad \xi_{TP} = 48 \cdot H / (\text{Re}_B \cdot B) - \text{коэффициент}$$

потери напора на трение по длине нагревателя;  $\xi_M$  – коэффициент местных сопротивлений в проточном ПЭН;  $B$  – ширина канала проточного ПЭН, м;  $c_c$  – теплоемкость обрабатываемой среды Дж/(кг·°С);  $x$  – текущая координата нагревателя, м;  $\text{Re}$ ,  $\text{Gr}$ ,  $\text{Pr}$  – критерий Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля.

Краевые условия для системы уравнений проточного ПЭН при свободной конвекции (1) – (9) следующие:

При  $x=0$   $t(0, \tau)=t_0$ ;

$$\lambda_{\Sigma} \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_1 \cdot [t_1(0, \tau) - t_0] + \alpha_{C1} \cdot [t_1(0, \tau) - t_0]; \quad (10)$$

$$t_C(0, \tau) = t_0; \quad \rho_C(0, \tau) = \rho_0; \quad (11)$$

$x=H$ ;

$$-\lambda_{\Sigma} \frac{dt(H, \tau)}{dx} = \alpha_H \cdot [t_H(0, \tau) - t_0] + \alpha_{CH} \cdot [t_H(0, \tau) - t_{CH}]; \quad (12)$$

при  $\tau = 0$

$$t(x, 0) = t_0; \quad t_C(x, 0) = t_0; \quad w(x, 0) = 0; \quad \rho_C(x, 0) = \rho_0. \quad (13)$$

Решение системы интегро-дифференциальных уравнений проводилось методом конечных разностей, при этом аппроксимация исходных уравнений имела неявную конечно-разностную схему.

### Математическая система MATLAB

**Киселев Б. М.**, канд. техн. наук, доцент, **Севернева Е. В.**, **Жалобкевич Н. М.**, БГАТУ, г. Минск

Использование вычислительной техники при решении научно-технических задач идет по многим направлениям: от использования уни-

версальных языков программирования до специализированных программных продуктов для решения наиболее распространенных в той или иной области задач.

В последние годы особый интерес представляет компьютерная математика. Под этим термином понимается “совокупность методов и средств, обеспечивающих максимально комфортную и быструю подготовку алгоритмов и программ для решения математических задач любой сложности ... с высокой степенью визуализации всех этапов решения”. При этом в подавляющем большинстве случаев предусматривается объединение возможностей текстовых редакторов (в формате Word, например) с собственно математическими системами. Это позволяет создавать электронные документы и книги с “живыми” примерами математических расчетов и высокой степенью графической визуализации всех этапов решения задачи.

Программные средства компьютерной математики реализованы в виде компьютерных математических систем. Существует большое число таких систем, среди которых особое место занимает система MATLAB (MATrix LABoratory - матричная лаборатория), как по степени универсальности, так и по сложности (и стоимости).

По обилию функций и скорости вычислений MATLAB превосходит большинство подобных систем, включая Mathcad. MATLAB является бесспорным лидером в области численных расчетов и моделирования различных систем и устройств.

Система MATLAB – это и операционная среда и язык программирования, на котором могут быть написаны программы для многократного использования. На этом языке уже написано множество программ для решения самых разнообразных задач во многих областях науки и техники. Коллекции родственных программ, предназначенных для решения задач (или проблем) из той или иной области науки (или техники), объединяются в специальную папку, которую называют пакетом прикладных программ (ППП). Уже сейчас существует большое число ППП, которое непрерывно пополняется. Непрерывно расширяется и содержание каждого отдельного ППП. Насчитывается около 40 ППП (MATLAB Application Toolboxes). В их числе:

пакет SIMULINK – предназначен для *математического моделирования* динамических систем, представленных своей функциональной блок-схемой;

пакет Power System Blockset – для моделирования электроэнергетических систем и устройств и т.д.

Понятно, что ни один пакет не может охватить все многообразие проблем и задач, поэтому необходимо владение базовыми программными средствами системы MATLAB как для решения конкретных задач, так и для понимания программ, входящих в ППП. Вместе с тем некоторые ППП оказались настолько интегрированными с системой MATLAB, что стали

составной ее частью. Это относится к ППП Notebook (интеграция с текстовым процессором Word) и Simulink (моделирование динамических систем).

Важным достоинством системы MATLAB является ее открытость и расширяемость. Большинство команд и функций данной системы оформлены в виде текстовых файлов (М-файлов) и файлов на языке С (C++). Пользователь может их модифицировать и создавать новые.

Имеется возможность объединения системы с Mathcad и пакетом символьной математики Maple.

Система MATLAB использует командный режим работы. Имеются возможности компилирования, проблемно-ориентированного и даже визуального программирования

В системе MATLAB имеется широкий спектр демонстрационных примеров, которые можно модифицировать и использовать в своих целях. Приводятся некоторые из них.

Итак, MATLAB - универсальная интегрированная система, предлагаемая ее разработчиками как язык программирования высокого уровня для технических вычислений. Язык программирования MATLAB является интерпретатором. Этап компиляции полной программы отсутствует. Для выполнения программ необходимо находиться в среде MATLAB. Однако для программ на языке MATLAB созданы компиляторы, транслирующие программы на языке MATLAB в коды языков программирования С и C++. Это решает задачу создания исполняемых программ, изначально создаваемых в среде MATLAB.

### **Моделирование процесса теплообмена системы «животное - комбинированный электрообогреватель»**

**Прищепов М. А.**, канд. техн. наук, доцент, **Винничек В.С.**, БГАТУ, г. Минск.

В целом система «электронагревательная установка – биологический объект» может быть представлена как взаимосвязанная теплоэнергетическая система, состоящая из отдельных структурных элементов, соединённых между собой и окружающей средой энергетическими потоками как связями.

При различных условиях окружающей среды животные сохраняют постоянную внутреннюю температуру тела  $T_{ж}$ , соответствующую уровню оптимальной биологической активности. Необходимым условием поддержания стационарного теплового состояния организма является непрерывное удаление образующейся в нём теплоты. Чтобы теплота, выработанная организмом, могла быть отдана внешней среде, она должна быть сначала перенесена к поверхности тела. Для обеспечения этого процесса темпера-

тура поверхностных тканей должна быть ниже, чем внутренних. Отсюда следует, что температура разных частей организма не может быть одинаковой и поверхностные слои тела при окружающей температуре  $T_b < T_{ж}$  имеют более низкую температуру. В связи с этим у физиологов принято условное разделение тела на гомеотермную часть (ядро) и пойкилотермную (оболочку) с наиболее выраженным непостоянством температуры. Толщина «оболочки»  $\delta_{об.}$  изменяется в зависимости от окружающей температуры, а величину сопротивления теплопроводности «оболочки»  $R_{об.}$  можно рассматривать как интегральный показатель физической терморегуляции.

Однако решение задачи оптимизации энергетических режимов ЭНУ, при которых тепловыделения животных находятся на некотором оптимальном уровне, предполагает, что в этом состоянии организм не испытывает каких-либо существенных напряжений функций терморегуляционного аппарата. Это означает, что  $\delta_{об.}$  в оптимальных условиях у поросят сведена к минимуму и практически равна толщине кожи и подкожного жирового слоя, а величина термического сопротивления «оболочки» определяется значением теплопроводности кожи и жира. Отсюда следует, что в этом случае передача теплоты от внутренних органов («ядра») к поверхности тела («оболочке») и последующая отдача её поверхностью тела в окружающую среду происходит только по законам теплопередачи.

Учитывая изложенное представим организм поросёнка как следующую упрощённую двухузловую модель. В центре тела, защищённом от колебаний температуры окружающей среды  $T_b$ , кожей и подкожным жировым слоем, температура тела  $T_{ж.}$  близка к постоянной и наиболее высока. Поверхностные слои тела при  $T_b < T_{ж.}$  имеют более низкую температуру кожного покрова  $T_{к.}$ , соответствующую средневзвешенной температуре поверхности теплообмена.

В реальности поверхность теплообмена поросёнка с ЭНУ имеет весьма сложную геометрическую форму, что значительно осложняет решение задачи с использованием математической модели. Для решения задачи тело животного условно представим в виде теплоизолированного цилиндра с усечённой боковой поверхностью, площадью поверхности, эквивалентной площади тела животного, с равномерно распределённым по объёму источником тепла  $P_{ж.}$  внутри. Температура цилиндра  $T_{ж.}$  постоянная, а коэффициент теплопроводности его активной части стремится к бесконечности. Тогда расчётная схема теплообмена модели поросёнка с ЭНУ в двумерном пространстве будет иметь вид, приведенный на рис. 1.

Цилиндр радиусом  $r_t$  со средним термическим коэффициентом сопротивления теплоизолирующего слоя  $r_t$ , усечённой боковой поверхностью контактирует с напольным обогревателем, который можно представить в виде многослойной плиты, состоящей из отдельных корпусно-изоляционных слоёв, с равномерно распределённым по поверхности изоляционного слоя источником теплоты  $P_{пан.}$

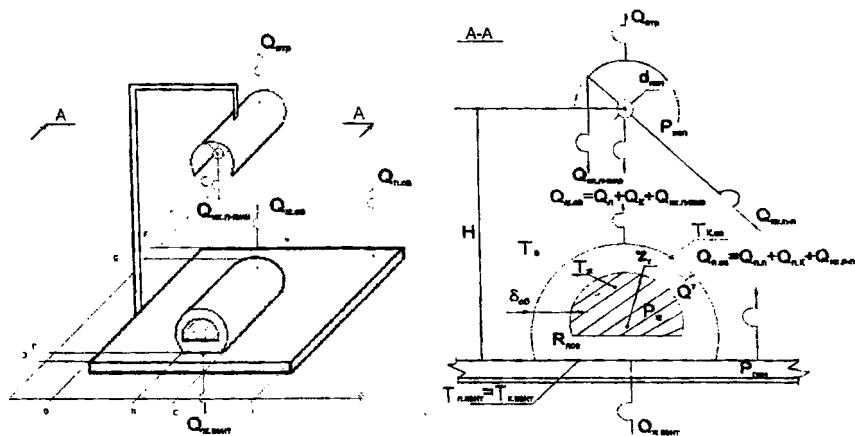


Рис.1 Теплофизическая модель теплообмена поросёнка при местном комбинированном электрообогреве.

На расстоянии  $H$  от плиты расположен протяжённый ИК-излучатель, который условно можно представить в виде трубки радиусом  $r_{изл.}$  и длиной  $l_{изл.}$  имеющей равномерно распределённый по поверхности источник теплоты  $P_{изл.}$ . Для направленного действия лучистого потока имеется отражатель, степень черноты которого стремиться к нулю.

Теплоотдача поверхностью цилиндра осуществляется за счёт конвекции  $Q_k$ , излучения  $Q_l$  (свободной поверхностью) и теплопроводности  $Q_t$  (поверхности, контактирующей с плитой). В общем случае при теплообмене организма поросёнка с окружающей средой имеет место теплоотдача испарением. Однако при создании условий для физиологически необходимой теплоотдачи в явном виде ( $Q_k$ ,  $Q_l$ ,  $Q_t$ ) роль потоотделения будет незначительной, а теплоту, расходуемую на испарение влаги, можно будет не учитывать, так как она будет составлять менее 4%.

Теплоотдача со свободной поверхности плиты и ИК-излучателя осуществляется путём конвекции и излучения, при этом лучистая составляющая теплового потока ИК-излучателя равномерно направлена на свободную поверхность цилиндра и плиты, а конвективный тепловой поток, нагревая внутреннюю поверхность отражателя, проходит через его многослойную структуру и рассеивается с наружной поверхности в окружающую среду путём конвекции и излучения. Во всех точках рассматриваемой системы принимаем стационарное температурное поле.

Для определения в двумерном измерении температурного поля напольного обогревателя при питании его токопроводящего покрытия от источника постоянного напряжения можно воспользоваться решением обычно-

венного дифференциального уравнения второго порядка, описывающим его теплообмен в нестационарном режиме:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ср} \delta \frac{dT_{\Pi}}{d\tau} = \lambda \delta \frac{d^2 T_{\Pi}}{dx^2} + \lambda \delta \frac{d^2 T}{dy^2} + q_{v,\Pi} + q_{ж.конт.} - q_{\Pi,к}^H - q_{\Pi,л}^H = 0; \\ \text{при } l_1 \leq x \leq l_2; \quad f_1 \leq y \leq f_2 \\ \text{ср} \delta \frac{dT_{\Pi}}{d\tau} = \lambda \delta \frac{d^2 T_{\Pi}}{dx^2} + \lambda \delta \frac{d^2 T}{dy^2} + q_{v,\Pi} + q_{ж.к.л. \rightarrow \Pi} - q_{\Pi,к}^B - q_{\Pi,к}^H - q_{\Pi,л}^B - q_{\Pi,л}^H = 0, \quad (2) \\ \text{при } 0 \leq x \leq l_1 \text{ и } l_2 \leq x \leq L; \quad 0 \leq y \leq f_1 \text{ и } f_2 \leq y \leq F. \end{array} \right.$$

Анализ представленной теплофизической модели показывает, что с энергетической точки зрения взаимодействие биологического объекта с техническими средствами электрообогрева представляет собой открытую термодинамическую систему, состоящую из двух взаимосвязанных систем с внутренними источниками тепловой энергии. Степень тепловой связи этих систем обуславливает расход тепловой энергии каждой из них.

### Моделирование динамических систем в пакете SIMULINK

**Киселев Б. М.**, канд. техн. наук, доцент, **Севернева Е. В., Жалобкевич Н. М.**, БГАТУ, г. Минск

В состав системы MATLAB входит пакет Simulink, предназначенный для *математического моделирования* динамических систем, представленной своей функциональной блок-схемой или просто *моделью*.

Для построения функциональной блок-схемы моделируемых устройств Simulink имеет *библиотеку* блочных компонентов и *редактор блок-схем*. Он основан на графическом интерфейсе пользователя и является средством *визуально-ориентированного программирования*. Используя наборы компонентов, пользователь с помощью мыши переносит нужные блоки из набора на рабочий стол пакета Simulink. Соединив блоки линиями связи, получим блок-схему, т.е. модель. Уточнив параметры и режимы моделирования, можно начинать этот процесс.

Технология применения пакета Simulink рассмотрена на примере моделирования разгона трактора с прицепной машиной, представленного простейшей динамической системой в виде двух абсолютно жестких валов с приведенными моментами инерции, соединенных муфтой сцепления. К первому валу приложен момент двигателя, ко второму момент сопротивления прицепной машины.

Регуляторная характеристика двигателя трактора представлена интерполяционным многочленом первого порядка. Работа фрикционной муфты

сцепления трактора описана экспоненциальным законом. Момент сопротивления прицепной машины линейно зависит от скорости движения агрегата. Процесс разгона трактора с ПМ делится на два этапа (ниже приведена диаграмма):

1) - включение муфты сцепления и выравнивание угловых скоростей ведущего ( $\omega_1$ ) и ведомого ( $\omega_2$ ) дисков (при этом  $\omega_1 > \omega_2$ ).

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{M_o - M_\phi}{I_1}; \quad \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{M_\phi - M_c}{I_2} \quad (1)$$

2) - стабилизация частоты вращения двигателя при полностью включенной муфте сцепления ( $\omega_1 = \omega_2$ ).

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{M_o - M_c}{I_1 + I_2}; \quad \omega_2 = \omega_1, \quad (2)$$

Здесь  $M_o$ ,  $M_c$ ,  $M_\phi$  - соответственно, моменты двигателя, сопротивления прицепной машины и трения муфты сцепления;  $I_1$ ,  $I_2$  - приведенные моменты инерции.

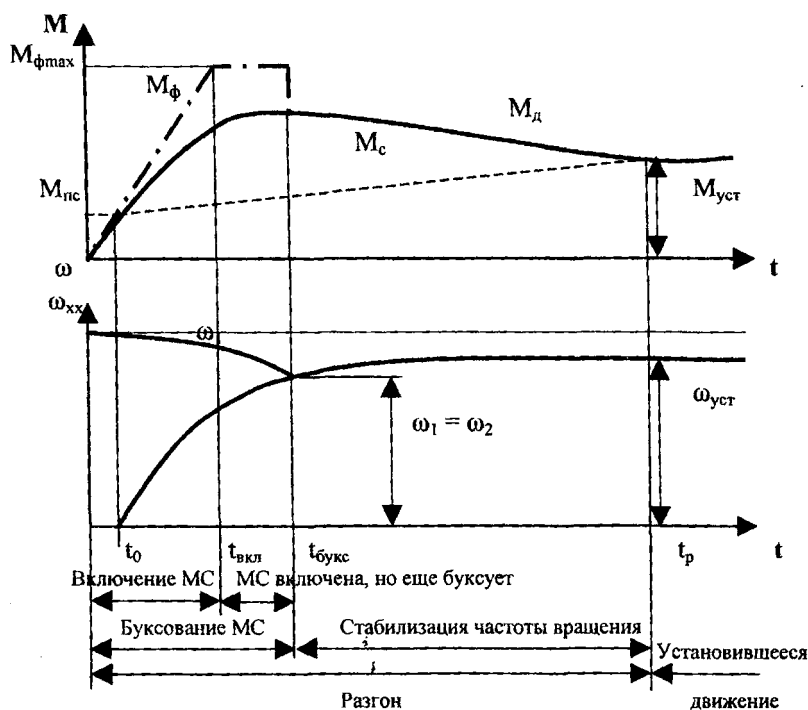


Рис 1. Диаграмма разгона

При моделировании работа схемы состоит из трех участков, в соответствии с диаграммой разгона (рис.1): На участке от 0 до  $t_0$  моделируется левое уравнение (1); На участке от  $t_0$  до  $t_{\text{букс}}$  моделируются оба уравнения (1); На участке  $t > t_{\text{букс}}$  моделируются уравнения (2).

## Эффективность частотно-регулируемого привода в насосных станциях

Гагаков Ю. В., БГАТУ, г. Минск

Наибольшее количество энергии расходуемой электроприводами в промышленной области расходуется насосами и вентиляторами. В области коммунального хозяйства эта тенденция выражена еще более глубоко.

Функцией насосной станции является поддержание заданного давления, причем расход перекачиваемой жидкости, как правило, может существенно изменяться в зависимости от конкретных условий. Все насосные станции рассчитываются по максимальному расходу, который может возникнуть в экстремальной ситуации (например: наводнение, пожар и т. д.). Следовательно, в нормальных условиях, необходимо предусматривать средства регулирования, обеспечивающие нормальную работу системы при разных расходах.

В нашей стране регулирование либо не осуществляется вообще, либо осуществляется с помощью дросселирования или прерывистого (старт - стопного) регулирования. Отсутствие регулирования, или применение этих устаревших методов приводит к существенным потерям электроэнергии и ресурса оборудования.

Канализационная насосная станция №2 г. Борисова (ГКНС №2) перекачивает свыше 60% общих объемов городских стоков, включая дождевые. Установленная мощность электродвигателей насосов составляет 1460 квт, а ежемесячное потребление электроэнергии – 240000....320000 квт\*час. Для предварительных расчетов цену 1 квт\*час можно принять около 0,04 у.е. тогда, месячные расходы только на электроэнергию достигают свыше 12000 долларов. Значительными являются и эксплуатационные расходы, особенно при сгорании мощных электродвигателей или аварийных порывах на водоводах. Значительные колебания объемов поступления стоков не позволяют иметь фиксированные настройки насосных агрегатов. Поэтому приходится согласовывать объемы и производительность насосов изменением числа включенных насосов и использованием запорных задвижек. Это приводит к резкому снижению К.П.Д. насосной установки и, как следствие, значительному до 20...50% перерасходу электроэнергии. Кроме того, частые включения/отключения электродвигателей сказываются на их надежности.

Как свидетельствует мировой опыт значительную экономию электроэнергии в таких условиях можно получить применив частотно-регулируемый привод. Современные частотные преобразователи позволяют не только оптимизировать производительность насоса, но и в 2...3 раза увеличивают срок службы электродвигателей. Однако до сих пор в Республике Беларусь нет достаточного опыта и практических примеров применения частотно-регулируемого привода на канализационных насосных станциях. Очевидно, что такие задачи требуют комплексных решений.

Особенностью насосной станции является одновременное использование последовательного и параллельного включения насосных агрегатов, что значительно усложняет выбор рациональных режимов их работы.

Чтобы уменьшить затраты энергии необходимо поддерживать максимально допустимый уровень в приемном резервуаре, полностью открыть задвижку и стремиться к уменьшению сопротивления сети. Но значительно сократить сопротивление сети невозможно, поскольку избежать выпадения осадков в трубах можно лишь при определенных минимальных скоростях. В настоящее время, регулируют производительность насосов с помощью задвижки. По предварительной оценке, сопротивление задвижек на станции одного порядка с сопротивлением водоводов. Благодаря этому обеспечивается согласование работы последовательных и параллельных агрегатов. Уровень в резервуаре поддерживается в диапазоне 0.6...1 м от нижней отметки. Существенное влияние на режимы работы станции оказывает гидравлическое сопротивление сети.

Анализ показывает, что использование задвижек для регулирования производительности приводит до 50 % потерь электроэнергии.

Проведение аналитических расчетов показывают на высокую эффективность частотно-регулируемого привода.

Потребляемая центробежными насосами мощность  $P$  в зависимостях от производительности  $Q$  при различных способах регулирования.

| Q/Q <sub>ном</sub> , % | Задвижка<br>P/P <sub>ном</sub> , % | Частотно-регулируемый привод |                          |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
|                        |                                    | Нг/Н <sub>ном</sub> =0.25    | Нг/Н <sub>ном</sub> =0.5 |
| 0                      | 60                                 | 6                            | 17                       |
| 20                     | 71                                 | 9                            | 22                       |
| 40                     | 79                                 | 17                           | 31                       |
| 60                     | 86                                 | 33                           | 45                       |
| 80                     | 93                                 | 60                           | 68                       |
| 100                    | 100                                | 100                          | 100                      |

Применение частотно-регулируемого привода может снизить установленную и потребляемую мощность почти в 2 раза.

## **Моделирование электрофизических характеристик влажных кормов из злаковых культур**

**Корко В. С., канд. техн. наук, доцент, БГАТУ, г.Минск**

Изучению электрофизических свойств сельскохозяйственных материалов, и в особенности злаков, уделяют значительное внимание, так как они позволяют установить закономерности и связи с технологическими свойствами, определить наиболее эффективные и экономичные виды использования электромагнитной энергии в технологических процессах, создать электротехнологические установки, электроизмерительные приборы, обладающие высоким быстродействием, экономичностью, эффективностью, удобством в обслуживании и эксплуатации, легко поддающиеся автоматизации и др.

Накопленные сведения о электрофизических свойствах злаков охватывают широкие диапазоны влияющих факторов (температуры, влажности, частоты и др.). Они позволяют установить основные параметры веществ, которые управляют процессами взаимодействия и поглощения энергии электромагнитного поля. Однако полностью картина поведения гетерогенных материалов растительного происхождения в различных условиях пока до конца не раскрыта, что объясняет отсутствие аналитических зависимостей, позволяющих с достаточной точностью вычислять показатели электрических свойств для конкретных условий технологического процесса.

В условиях обработки кормов электрическим током низкой частоты (электрогидротермическая обработка) основной электрофизической характеристикой является электрическая проводимость.

Аналитическое описание проводимости зерновой массы предполагает разработку физических моделей собственно вещества зерна и сложной системы, которую представляет влажная зерновая масса. Модель вещества зерна можно представить как матрицу из пористого органического материала, содержащего в порах влагу. Матрица, в свою очередь, имеет сложную структуру, состоящую, в основном, из плотно упакованных крахмальных зерен, имеющих белковые и жировые прослойки. Матрица обладает ярко выраженными гидрофильными свойствами.

В зерновой массе дисперсионной средой является вещество зерна в виде частиц определенной формы и размеров, а дисперсной фазой – жидкость, находящаяся в порах между этими частицами.

При наложении внешнего электрического поля электрический ток протекает по обеим фазам дисперсной системы, распределяясь в ней в соответствии с электрическими свойствами вещества зерна и межассоциатного раствора.

Электрическая проводимость свободного раствора, находящегося в пространстве между частичками вещества зерна, обуславливает ток сквоз-

ной проводимости, технологическое значение которого состоит в повышении энтальпии системы, активации ионов раствора и т.п., представляет собой хорошо изученную область (теория Дебая-Онзагера-Хюккеля).

Приближенный расчет проводимости вещества зерна, определяющей величину проходящего по его структурным элементам тока проведен с использованием в качестве базы метода, предложенного Френкелем Я. В результате получены аналитические зависимости проводимости зерна от температуры и влажности.

На основании уравнения Оделевского В.И., экспериментальных данных получена зависимость обобщенной проводимости влажной зерновой массы как гетерогенной системы от определяющих факторов (проводимостей раствора и вещества зерна, объемной насыпной массы зерна и объемной массы раствора, модуля увлажнения, влажности вещества зерна, усилия уплотнения).

Электрическую схему дисперсной системы, какую представляет собой влажная зерновая массы, можно изобразить физической моделью в виде эквивалентной схемы замещения. Последовательно и параллельно соединенные участки схемы представляют собой составляющие активных и реактивных потерь, вызванные различными видами поляризации в зерновой массе под действием электрического поля.

Физические и математические модели зерновой массы позволяют выявить качественные и количественные связи между показателями электрофизических и технологических свойств зерна, выбрать рациональные параметры электротехнологических процессов, объяснить механизмы воздействия электрофизикохимических факторов электрического поля на структуру материалов при их обработке.

### **Моделирование тепловых процессов при восстановлении деталей в электромагнитном поле**

**Кожуро Л. М.,** докт. техн. наук, проф., **Миранович А. В.,** Тризна В. В., БГАТУ, г. Минск

Температура в системе покрытие-основа – один из основных факторов, влияющих на формирование физико-механических и эксплуатационных свойств покрытий, полученных электромагнитной наплавкой (ЭМН). При ЭМН энергия электроимпульсных разрядов не только расплавляет частицы порошка, но и повышает температуру поверхности основы в зоне наплавки. Известно, что подогрев заготовки улучшает как свойства покрытий, так и адгезионные свойства покрытия и основы. Вместе с тем перегрев системы приводит к уменьшению роста толщины покрытия, адгезии и понижению физико-механических свойств основы и покрытия.

Для расчета полей температур в покрытии и основе при ЭМН примем непрерывным реальный дискретный процесс. Тогда каждому моменту времени ЭМН будет соответствовать некоторое температурное поле в покрытии и основе. Локальная температура в области развития и горения дугового разряда, где расплавляется и наносится на поверхность заготовки материал порошка, может несколько превышать среднюю температуру поверхности. Однако, ввиду того, что наплавляемый участок поверхности охлаждается до температуры основы за время не более  $10^{-2}$  с, а толщина покрытия не превышает 0,5 мм, термические циклы предыдущего и последующего дуговых разрядов будут испытывать взаимное влияние только при большой скорости вращения заготовки. Данная скорость неприемлема для ЭМН из-за возникновения сил инерции, выбрасывающих порошок из рабочей зоны.

Математическая модель тепловых процессов ЭМН должна содержать уравнения теплопроводности, учитывающие различия теплофизических свойств покрытия и основы (теплопроводности  $\lambda$ , теплоемкости  $c$ , теплоотдачи  $\alpha$ , температуропроводности  $\omega$ ), а также граничные условия, отражающие особенности метода.

Описывая процесс ЭМН граничными условиями первого и второго рода и принимая реальный дискретный процесс стационарным, а тепловой поток, поступающий в покрытие, полностью идущим на разогрев основы, распределенных температурных полей в системе покрытие-основа может быть получено по методу источников теплоты. Так, используя этот метод, получено выражение для быстро движущегося линейного источника:

$$Q_r = \frac{q_r \sqrt{\omega}}{2\lambda \sqrt{\pi v(z-z_u)}} \exp\left[-\frac{vy^2}{4\omega(z-z_u)}\right] \times \\ \times \left\{ \operatorname{erf}\left[(\ell_0 + x) \sqrt{\frac{v}{4\omega(z-z_u)}}\right] + \operatorname{erf}\left[(\ell_0 - x) \sqrt{\frac{v}{4\omega(z-z_u)}}\right] \right\},$$

где  $q_r$  - интенсивность источника, распределенного вдоль отрезка длиной  $2\ell_0$ ;  $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-y^2) dy$  - функция интеграла вероятности Гаусса;  $v$  - скорость главного движения при наплавке;  $z$  - координата источника тепловыделения.

При большом числе проходов  $N$  с начала обработки значение функции выравнивания температур  $\Phi_n(r, t_n)$  приближается к единице. В этом случае определение температурных полей целесообразно проводить с учетом накопления теплоты бесконечным цилиндром с постоянно действующим источником теплоты, распределенным по его боковой поверхности. Поэтому для рассмотрения температурных полей по всему объему детали использо-

вали решение нестационарной одномерной задачи с граничными условиями

ми первого рода: 
$$\frac{Q_c - Q}{Q_c - Q_0} = \sum_{n=1}^{\infty} 2 \exp \left( - \frac{\mu_n^2 \omega}{R^2} \right) \frac{J_0 \left( \frac{\mu_n r}{R} \right)}{\mu_n J_1(\mu_n)},$$

где  $Q_0$  и  $Q_c$ - температура поверхности до начала нагрева и после него;  $\mu_n = (2n-1)\pi/2$ ;  $t$ - текущее время;  $r$  и  $R$ - текущий и максимальные радиусы восстанавливаемой детали;  $J_0$  и  $J_1$  – функции Бесселя нулевого и первого порядка соответственно.

Разработанная математическая модель тепловых полей в системе покрытие-основа позволила, с применением ЭВМ, изучить тепловые процессы, происходящие при ЭМН. Выявлено, что высокие температуры до 1700...1900 °С сконцентрированы у поверхности заготовки на глубине до 1 мм. Пик температуры после 0,0025 с становится сглаженным и температура в системе основа-покрытие на глубине 0,4 мм выравнивается. Температурная стабилизация заготовки происходит за 30 с, что свидетельствует о том, что тепловые поля не изменяются на протяжении всего процесса обработки заготовки.

## **К вопросу об интенсификации теплопереноса в тепловых трубах**

**Минич Д.Н., БГАТУ, г.Минск**

Повышение эффективности энергоиспользования стало экономически необходимо во всех сельскохозяйственных производственных процессах в связи с ростом стоимости энергоресурсов и их дефицитом.

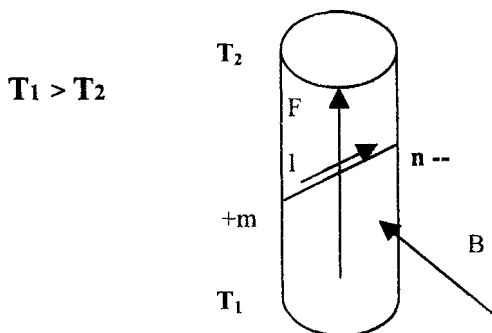
Одним из основных направлений создания энергосберегающих отопительно-вентиляционных систем животноводческих и птицеводческих помещений в условиях Республики Беларусь является разработка более совершенных конструкций теплоутилизаторов с целью использования теплоты вытяжного воздуха для подогрева холодного приточного. Применение теплоутилизаторов позволяет снизить расход энергии на отопление сельскохозяйственных помещений путём использования вторичных теплоэнергоресурсов для подогрева вентиляционного воздуха.

Представляются перспективными конструкции теплоутилизаторов на тепловых трубах.

Одним из важнейших путей повышения эффективности таких теплоутилизаторов является интенсификация процессов теплообмена и теплопереноса. Предлагается осуществлять это электротехнологическими методами, в частности применением электрического и магнитного полей.

Направление исследований состоит в следующем. Участок тепловой трубы с электропроводящей жидкостью (раствор электролита), содержащей

ферромагнитные частицы, подвергается перекрестному действию электрического и магнитного полей (см. рисунок). Под действием магнитного поля на частицы, как на элементы жидкости с плотностью тока  $j$  будет действовать сила  $\vec{F} = \vec{j} \cdot \vec{B}$ , направленная согласно необходимому направлению передачи теплового потока.



Изменяя направление электрического тока или магнитного поля можно изменять направление силы  $F$ . Управлять величиной силы можно изменяя величину магнитной индукции  $B$ , тем самым интенсифицировать процессы теплообмена в тепловой трубе.

#### **Математическое моделирование инактивирующего воздействия электрического поля на микроорганизмы с использованием электрических схем замещения.**

**Кушева С. В., БГАТУ, г.Минск**

Сельскохозяйственные продукты, используемые в качестве корма, являются благоприятной средой для развития всевозможных микроорганизмов, которые могут отрицательно влиять на животных и птицу. Вследствие этого возникает необходимость в обеззараживании продуктов сельского хозяйства, используемых в качестве кормов.

Развитие направления электротехнологии перспективно так как связи в веществе имеют электрическую природу и что наиболее эффективно на электрически заряженные частицы воздействуют с помощью электрических, магнитных и электромагнитных полей.

Возникает необходимость в проведении исследований по изучению комплексного, в особенности информационного, электрофизического и биологического воздействия электрического тока на микроорганизмы.

Анализ исследования антимикробного действия переменного и постоянного электрического поля дает возможность предположить, что оно за-

висит от формы, частоты, величины тока, продолжительности воздействия и состава среды в которую суспендированы микроорганизмы.

Глубина действия электрического поля зависит от температуры, количества электричества, введенного в среду, напряжения, продолжительности воздействия, термической и химической активности электрического тока, электрофизических свойств продукта.

Чтобы оценить параметры воздействия электромагнитных полей на биологические объекты путем проведения численных экспериментов с использованием ЭВМ и оптимизировать энергетические параметры имеет смысл использование схемы замещения клетки.

Предложена упрощенная схема замещения бактериальной клетки. Было выполнено моделирование процессов инактивирования на основании эквивалентных электрических схем замещения. Параметры схемы определялись по данным, полученным различными исследователями. Были проведены численные эксперименты на ЭВМ по изучению влияния внешнего электрического поля на жизнедеятельность микроорганизмов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке устройств инактивирования микроорганизмов и определении оптимальных параметров электрообработки.

## 2. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

**Анализ математической модели изменения электропроводимости растворов с целью определения коэффициентов настройки прибора измерения их концентрации**

Исаеня Н. В., доц., канд. техн. наук, БГАТУ, г. Минск

Одним из основных информационных параметров измерения концентрации растворов является проводимость  $X$ , которая будет непостоянной при изменении их температуры  $T$ . Так проводимость некоторых из них при постоянной концентрации  $N$  может изменяться более чем в два раза при изменении температуры, например, с 20 до 70 градусов. Таким образом концентрация является функцией двух переменных (проводимости и температуры) и имеет вид матрицы (табл.1).

Таблица 1

| T °C  | N, г/л   |          |     |          |     |          |
|-------|----------|----------|-----|----------|-----|----------|
|       | $N_1$    | $N_2$    | ... | $N_j$    | ... | $N_m$    |
| $T_1$ | $X_{11}$ | $X_{12}$ | ... | $X_{1j}$ | ... | $X_{1m}$ |
| $T_2$ | $X_{21}$ | $X_{22}$ | ... | $X_{2j}$ | ... | $X_{2m}$ |
| ...   | ...      | ...      | ... | ...      | ... | ...      |
| $T_i$ | $X_{i1}$ | $X_{i2}$ | ... | $X_{ij}$ | ... | $X_{im}$ |
| ...   | ...      | ...      | ... | ...      | ... | ...      |
| $T_n$ | $X_{n1}$ | $X_{n2}$ | ... | $X_{nj}$ | ... | $X_{nm}$ |

Проводимость  $X$  при постоянной концентрации  $N$  с изменением температуры определяется линейной зависимостью  $x = x_0 + et$ , (1)

где  $x_0$  – проводимость при 0°C,  $e$  - температурный коэффициент изменения проводимости.

В свою очередь концентрация  $N$  через проводимость  $X$  при постоянной температуре определяется квадратичной зависимостью

$$N = ax^2 + bx + c, \quad (2)$$

поэтому при измерении концентрации целесообразно скомпенсировать температурные изменения в проводимости, а измерение концентрации проводить по формуле (2).

С целью компенсации температурных изменений в проводимости выражение (1) преобразовывается к виду  $x = x_0(1 + et/x_0) = x_0(1 + \alpha t)$ , (3) где  $\alpha = e/x_0$ .

Задача состоит в том, чтобы на основании экспериментально полученной матрицы проводимости конкретного раствора (табл.1) найти такое  $\alpha$ , которое совместно с показаниями датчика температуры  $t$  по произведению  $(\alpha t)$  скомпенсировало бы изменения проводимости  $X$ . Тогда на основании матрицы проводимости (табл.1), используя линейную аппроксимацию концентрации по столбцам  $X_{ij} = X_{0j}(1 + \alpha_j t_i)$  согласно формулы (1), можно получить коэффициенты аппроксимации  $\alpha_j$  для различных значений концентрации  $N_j$ . Затем из данного массива  $\alpha$  от  $\alpha_{\min}$  до  $\alpha_{\max}$  можно найти такое  $\alpha$ , где суммарная ошибка в % между истинными значениями проводимостей и рассчитанными по выражению  $X_{ij} = X_{0j}(1 + \alpha_j t_i)$  будет минимальной. Потом в результате деления табличных значений проводимости каждого столбца на выражение  $(1 + \alpha t_i)$  будет получена матрица проводимостей скомпенсированная по температуре.

Поскольку концентрация  $N$  через проводимость  $X$  определяется квадратичной зависимостью  $N = ax^2 + bx + c$ , то аппроксимирующее выражение концентрации по строкам при постоянной температуре будет  $N_j = a_i X_{ij}^2 + b_i X_{ij} + c_i$ . (4)

Методом наименьших квадратов рассчитываются аппроксимирующие коэффициенты  $a_i, b_i, c_i$  для каждой из строк матрицы (при  $t_i = \text{const}$ ).

Затем в области от их минимального до максимального значений формируется массив коэффициентов  $a, b$  и  $c$  с определенным шагом. На основании фиксированных  $a, b$  и  $c$  и скомпенсированной по температуре матрице проводимости, используя аппроксимирующее выражение концентрации по строкам (4), тройным вложенным циклом рассчитываются значения концентрации  $N_j$  для каждой из строк матрицы при любых комбинациях коэффициентов  $a, b$  и  $c$ . Затем из всех значений коэффициентов  $a, b$  и  $c$  определяется такая их тройка, при которой будет минимальная суммарная ошибка в % между расчетными значениями концентрации по выражению (4) и их истинными значениями из таблицы. Эти найденные тройки коэффициентов совместно с полученным выше  $\alpha$  и являются настроечными параметрами прибора при определении концентрации по выражению  $N = aX^2/(1+\alpha t)^2 + bX/(1+\alpha t) + c$ , где  $X$  – истинные значения проводимостей. Максимальная ошибка в измерении концентрации, полученной на основании расчетов по выражению  $N_j = a X_{ij}^2 / (1 + \alpha t_i)^2 + b X_{ij} / (1 + \alpha t_i) + c$ , закладываемого в работу измерительной схемы прибора, и их истинными значениями, взятыми из исходной матрицы, составляет не более 5% при изменении температуры с 20 до 70 градусов.

## Модель дозированного кормления сельскохозяйственных животных

Гируцкий И. И., доц., канд. техн. наук, БГАТУ, г. Минск

Среди всего разнообразия сельскохозяйственных технологических процессов особое место занимает кормление. Поэтому именно на примере кормления и рассмотрим эффективность применения микропроцессорной техники при автоматизации технологических процессов кормления.

Дадим количественную оценку влияния несоблюдения норм кормления на привесы животных на откорме. Для этого нужно построить математическую модель откорма, где в качестве входа будет выступать доза корма  $D$ , а в качестве выхода - привес животного  $P$ . Объединяя усилия зоотехников, математиков и автоматчиков в качестве искомой модели примем функцию роста:  $P = a \cdot D / (b + D) - c$ , (1)

где  $a, b, c$  - эмпирические коэффициенты, зависящие от возраста, условий содержания и генетического потенциала животных.

Несмотря на понятные сложности математического описания биологических объектов и, обусловленную этим, их приближенность, полезность таких моделей несомненна. Такая модель позволяет решать задачи двух видов: выбирать оптимальную дозу корма и оценивать влияние погрешности системы дозирования на результат откорма. В рамках данного доклада рассмотрим вторую задачу.

Пусть система дозирования кормов обеспечивает подачу животным доз  $D$  корма, имеющих плотность нормального распределения

$$f(D) = 1/(\sigma \sqrt{2\pi}) \exp[-(D - D_{\text{ном}})^2 / (2\sigma^2)], \quad (2)$$

где  $D_{\text{ном}}$  - математическое ожидание случайной величины  $D$ ;  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение дозы  $D$ .

Для простоты примем, что среднее значение фактически выдаваемой дозы совпадает с нормированным значением  $D = D_{\text{ном}}$ . (3)

Чтобы определить выходную величину - фактическое значение привеса животного, необходимо рассмотреть прохождение случайного сигнала с параметрами (2) и (3) через нелинейное без инерционного звена с передаточной функцией (1). Разложим выходную функцию (1) в ряд Тэйлора в окрестностях точки  $D_{\text{ном}}$

$P_{\text{факт}} = P(D_{\text{ном}}) + dP/dD(D_{\text{ном}}) \cdot (D - D_{\text{ном}}) + 0,5 \cdot d^2/D^2(D_{\text{ном}}) \cdot (D - D_{\text{ном}})^2 + \dots$ , (4)  
где  $P(D_{\text{ном}}) = P_{\text{ном}}$  - нормированный привес свиньи при отсутствии флуктуаций дозы кормления.

Ограничиваясь квадратичным членом в разложении (4), произведем статистическое усреднение (4) с учетом (2) и (3). Получим следующее выражение для среднего значения фактических привесов животного

$$P_{\text{факт}} = P_{\text{ном}} - a/(b + D_{\text{ном}})^3 * \sigma^2. \quad (5)$$

То есть наличие отклонений от задаваемого значения на входе, даже при условии обеспечения условия (3), приводит к потерям привесов. Это объясняется нелинейностью зависимости (1), поскольку превышение номинальной дозы вызывает по величине меньшее приращение привесов чем такой же недокорм вызывает большее снижение привесов.

Численная оценка (5) для процессов откорма свиней или КРС, показывает, что наличие у дозирующего устройства 15..30 % флуктуаций приводит к 0.5..2.5 % потери привесов. Причем необходимо учитывать, что модель (1) фактически является нестационарной, что накладывает серьезные дополнительные требования к возможностям системы управления кормлением. И этого одного результата было бы достаточно для экономического обоснования достаточно сложных и дорогих микропроцессорных систем управления технологическим процессом кормления животных. Однако это только «вершина айсберга» эффективности информатизации сельскохозяйственных технологических процессов. Аналогичные зависимости с некоторым усложнением существуют и при формализации продуктивности молочных коров.

## **Новые информационные технологии в управлении производством свинины**

**Гируцкий И. И.,** доц., канд. техн. наук, БГАТУ, г. Минск

Один из основных законов теории управления гласит, что устройство управления за единицу времени должно получать и перерабатывать информации не меньше, чем выдавать от себя в виде управляющих команд. Или, в формулировке кибернетического закона Эшби, этот постулат формулируется следующим образом «качественное управление может быть обеспечено только в том случае, если разнообразие устройства управления по крайней мере не меньше, чем разнообразие объекта управления». В кибернетике, как известно, под разнообразием понимается число возможных состояний объекта. Этот закон, как и любой другой важный закон природы, совершенно очевиден после того как он открыт. Нетрудно, однако, обнаружить примеры систем управления, поведение которых в значительной степени не соответствует этому закону и, следовательно, неудовлетворительны.

Если рассматривать сельскохозяйственные технологические процессы как объекты управления, то необходимо учитывать следующие особенности: биотехнический характер производства, нестационарность, пространственную и временную распределенность, нелинейный и статистический характер зависимости вход/выход. Ограниченные возможности предыду-

шего поколения систем автоматизации привели к попытке снижения разнообразия объекта управления путем подбора животных по существенным параметрам, можно сказать своеобразного "клонирования". Однако такой подход оказался тупиковым. Сейчас мы располагаем инструментом способным учесть все разнообразие биотехнического объекта управления. Это микропроцессор и основанные на нем новые информационные технологии управления.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), синоним- микропроцессорные системы управления или компьютеризированные системы управления полностью удовлетворяют требованиям сельскохозяйственного производства. Супербо́льшая информационная емкость позволяет индивидуализировать животных, вычислительная мощь должна быть использована не только в научных исследованиях, но и в ежедневной оптимизации производства, возможности локальных вычислительных сетей позволяют не только строить распределенные АСУ, но и оперативно получать информацию из глобальных сетей. Очень важным качеством микропроцессорных систем управления является высокая надежность, которая имеет две составляющие: высокая надежность микропроцессорной техники и повышение надежности управления технологическим оборудованием за счет возможностей функциональной диагностики. Присущая АСУ программно-техническая избыточность создает уникальные возможности не только технической, но и биологической диагностики. Например, временной анализ поедаемости кормов можно использовать для определения состояния животного.



### Рис. Структура информационного обеспечения комплексной АСУ ТП

Рассмотрим последовательность разработки системы автоматизации производства свинины на промышленном свиномкомплексе. В соответствии с концепцией компьютерно-интегрированного производства разработка начинается снизу-вверх. Основными технологическими процессами на свиномкомплексе являются микроклимат и кормление. Очень важно, при разработке АСУ ТП кормления и микроклимата учитывать и проектировать общую информационную базу (рис.).

Такой подход позволит обеспечить согласованное управление основными технологическими процессами производства свинины. Упорядочив процессы кормления и микроклимата можно решать задачи по оптимизации производства в целом, включая учет и прогноз.

Оценка эффективности внедрения АСУ производством свинины показывает, что срок окупаемости не превышает одного года. При этом достигается повышение продуктивности животных, сокращаются непроизводительные потери кормов и других ресурсов.

### Комплекс оборудования и методов современной оценки качества зерна

**Яцек Садкевич**, инж., НИИ пекарского производства, **Казимеж Садкевич**, проф., докт. техн. наук, Техническая сельскохозяйственная академия, г. Быдгощ, Республика Польша

Оценка качества пищевого потребительского зерна относится к основным проблемам сельскохозяйственного производства, а также отрасли пищевой промышленности в ее основном аспекте: «зерно- мука- изделие». Эта проблематика непосредственно связана как с подбором соответствующего и представленного здесь измерительно-контрольного оборудования, быстрых методов определения качества, так и с разработанным авторским алгоритмом и программой.

Здесь мы хотим представить практические достижения Научно-исследовательского института Пекарского производства в Быдгощи в области новых измерительно-контрольных аппаратурных разработок для всего цикла «зерно-мука-выпечка», которые нашли широчайшее признание и практическое применение в Центральной и Западной Европе.

Подтверждено исследованиями, что быстрота проведенных анализов, а также получение точных результатов на предлагаемом оборудовании свидетельствует как о совершенном подборе приборного обеспечения и методов, так и о их необходимости применения в оценке зерна. Приобретать эти

методики и оборудование должны, в первую очередь, пункты скупа зерна (элеваторы), выполняя покупку зерна, и реализуя транзакцию в присутствии заинтересованных сторон (правильная, обоснованная цена).

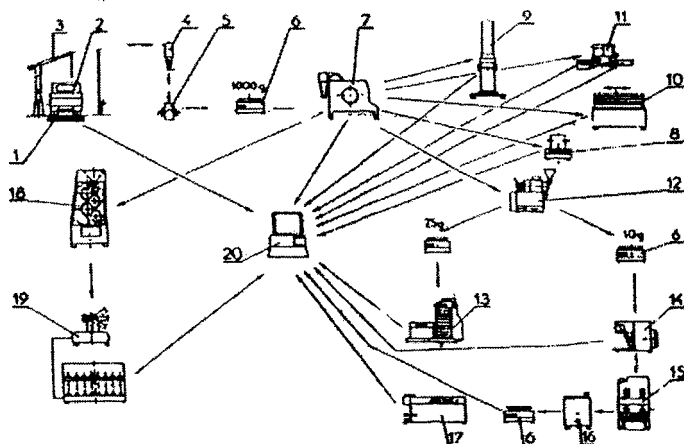


Схема оборудования современного пункта скупа зерна (проф. К. Садкевич): 1 – автовесы; 2 – автомобиль с зерном; 3 – автоматический зонд для взятия проб; 4 – отборочный циклон проб; 5 – разделитель проб; 6 – технические весы; 7 – очищающий сепаратор; 8 – влагомер зерна; 9 – измеритель насыпной плотности зерна; 10 – механические сита; 11 – универсальный счетчик массы 1000 зерен; 12 – дисковая мельница проб; 13 – автомат для определения активности амилолитических энзимов; 14 – лабораторная мешалка; 15 – механический глютоник (определение количества клейковины); 16 – центрифуга для определения клейковины; 17 – пневматический глютониметр для исследования качества клейковины ускоренным методом; 18 – 4-х-валцевая мельница; 19 – комплект для седиментации; 20 – анализирующий компьютер.

Представленная схема оборудования современного пункта скупа зерна, особенно в условиях рыночных отношений, позволяет реализовать анализ и введение данных с компьютерным анализированием для получения совершенно адекватной оценки качества доставленного зерна.

Для выполнения таких требований авторами разработан специальный алгоритм и программа классификации зерна в зависимости от качества партии. Программа позволяет также выполнять распечатку протокола покупки-продажи с графическим представлением полученных данных, зависящих от различных качественных параметров зерновой партии.

**Protokol kupna/sprzedaży zboża**

Dane: Данные

Cena: Цена

500,00 [zł/t]

Masa dostarczona: Доставленная масса 100,00 [t]

Pomiary: Замеры

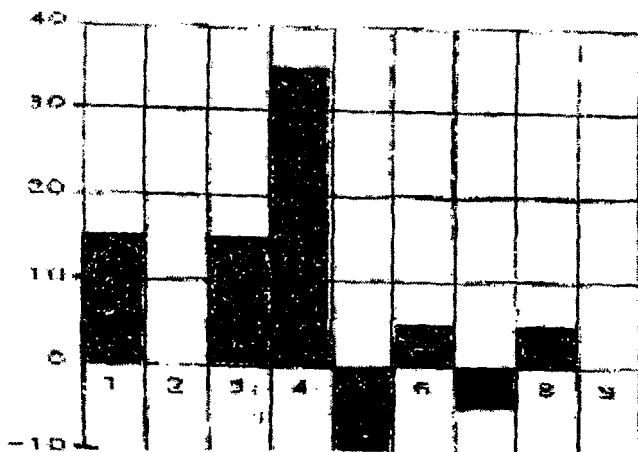
Загрязнение

6,00 %

Масса чистого зерна

94,00 т

| Показатель                                         | Величина | Прирост цены | Оптимум       | Влияние на цену |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|---------------|-----------------|
| Влажность, %                                       | 12,00    | 15,00 зл/т   | 14,50-15,00   | +               |
| Стекловидность, %                                  | 50,00    | 0,00 зл/т    | 40,00-70,00   | 0               |
| Густота зерна, кг/гЛ                               | 76,00    | 15,00 зл/т   | 72,00-73,00   | +               |
| Масса 1000 зерен, г                                | 42,00    | 35,00 зл/т   | 30,00-35,00   | +               |
| Число активности амилазных энзимов, число опадания | 180,00   | - 10,00 зл/т | 200,00-250,00 | -               |
| Кол-во глютена, %                                  | 28,00    | 5,00 зл/т    | 25,00-27,00   | +               |
| Качество глютена, мм                               | 9,00     | - 5,00 зл/т  | 5,00-8,00     | -               |
| Седиментация, мл                                   | 45,00    | 5,00 зл/т    | 35,00-40,00   | +               |
| Уровень адгезии, ед.                               | 5,00     | 0,00 зл/т    | 5,00          | 0               |



Pomiar

График: 1 - влажность; 2 - стекловидность; 3 – густота; 4 - масса 1000 зерен; 5 - число опадания; 5 - количество глютенa; 6 - качество глютенa; 7 – седиментация; 8 – адгезия.

Выводы: Цена за 1 т: 560,0 зл Стоимость доставленной партии зерна 52640,0 зл (фактическая цена после анализирования чистой партии зерна)

### **К обоснованию адаптивной системы управления микроклиматом в свиноматке-откормочнице**

**Василица А. П., аспирант, Сытик Д. И., студент, БГАТУ, г. Минск**

В Республике Беларусь большое внимание уделяют производству продукции животноводства. Однако дальнейшее повышение эффективности этой отрасли требует тщательной оценки влияния различных факторов, а также изучения их взаимодействия. Значительное потребление энергии в некоторых отраслях животноводства стало одной из наиболее важных статей затрат. Однако сложно учитывать возможные потери энергии из-за своеобразных биологических процессов превращения энергии. Поэтому её экономия возможна лишь при глубоком знании как биологических, так и технологических процессов.

Рентабельность производства свинины определяется количеством свиней, полученных от одной свиноматки, сохранностью и скоростью их роста. Чем выше скорость роста, тем быстрее мы получаем требуемую массу и соответственно прибыль. Установлено, что прирост на 60% зависит от правильного кормления, на 20% от микроклимата в свиноматке и на 20% от генетических свойств животных. Автоматизированная система управления технологическим процессом кормления свиней уже разработана на кафедре АСУП и успешно внедрена на отдельных животноводческих предприятиях. Поэтому следующим важным направлением является разработка системы управления микроклиматом в свиноматке-откормочнице.

Для расчётов параметров микроклимата, обеспечивающего экономически выгодную продуктивность, необходимо знать верхнюю и нижнюю критические температуры окружающей среды. При анализе литературных источников была чётко установлена зависимость критической температуры в свиноматке от таких факторов, как масса тела, теплоизоляционные свойства тканей, интенсивность кормления, количество голов в секторе.

Рассмотрим зависимость температуры от веса свиней. В данный момент для анализа этой зависимости разработана математическая модель в таблицах Microsoft Excel. Целью этой модели является получение оптимальных значений температуры, при которых получается максимальная рентабельность без учёта затрат на отопление.

Оптимальная температура для животных на откорм определяется по формуле:  $T_{\text{опт}} = 22 - 0,09 \cdot (M_{\text{тек}} - 45)$ ,  
где  $M_{\text{тек}}$  – масса животного.

Привес при отклонении температуры от оптимальной определяется по формуле:  $dM = dM_n \cdot (1 - 0,003 \cdot (T_v - T_{\text{опт}})^2)$ ,  
где  $M_n$  – номинальный суточный прирост массы;  $T_v$  – температура воздуха в помещении.

Из формулы видно, что максимальный привес получается при равенстве внутренней температуры в свинарнике и физиологически оптимальной температуры. Однако этого трудно достичь как по техническим, так и по экономическим причинам. Поэтому нашей задачей является определение оптимального значения температуры, при которой получаются минимальные потери привеса и которая удовлетворяла бы зоотехническим требованиям.

При помощи предложенной модели мы определяем потери привеса животных при отклонении поддерживаемой температуры от физиологически оптимальной в свинарнике. Необходимыми входными параметрами модели являются внутренняя температура, количество свиней в секторе и нормативный прирост, зависящий от породы. По предложенным формулам производим вычисление промежуточных параметров: средней температуры за период откорма и полученного привеса. Основным выходным параметром является потеря привеса, выраженная как в килограммах, так и в процентах. Мы видим, изменяя внутреннюю температуру, что при её даже незначительном отклонении в большую или меньшую сторону, потери прироста резко увеличиваются.

Проведённые исследования показали на необходимость создания адаптивной системы по управлению микроклиматом. При более глубоком изучении данного вопроса разрабатывается система, которая может поддерживать параметры микроклимата (температуру и влажность) в заданных пределах. При этом требуемую температуру система определяет сама на основе заложенных начальных условий откорма. Это следующие условия: начальный вес свиней, поставленных на откорм, их возраст и количество в секторе.

В процессе воспроизводства при помощи программного обеспечения производится прогнозирование веса в течение всего времени откорма. По значению предполагаемого веса программное устройство определяет физиологически оптимальную температуру на каждом этапе откорма.

Проведены экспериментальные исследования параметров микроклимата в производственных помещениях свинокомплексов «Белая Русь» и «Борисовский».

## Одноконтурные адаптивные нечеткие системы управления

Ковалев В. А., канд. техн. наук, Сибиркин Д. В., ст. преподаватель, БГАТУ, г. Минск

Современные сельскохозяйственные предприятия относятся к сложным объектам управления. Распределённость в пространстве и времени, не стационарность, неполная наблюдаемость, нелинейность и недетерминированность связей предполагает применение в сельскохозяйственном производстве систем адаптивных управления. В тоже время адаптивные системы управления редко применяются в сельскохозяйственном производстве. Это связано в основном со сложностью разработки классических адаптивных систем и соответственно со стоимостью этих систем. В промышленности в последнее время широко применяются микропроцессорные устройства управления, которые способны реализовывать любые законы и адаптивные алгоритмы дешево и эффективно.

К применяемым адаптивным алгоритмам относятся:

- программное изменение коэффициента усиления - весьма мощный метод, особенно с автонастройкой, обеспечивающей автоматическое построение программ изменения коэффициента усиления. Автоматическая генерация программ изменения коэффициента усиления включена в состав стандартных одноконтурных регуляторов, а также в распределенные системы управления технологическими процессами;
- непрерывная адаптация – адаптация в реальном времени связанная с изменением из-за не поддающихся измерению вариаций свойств сырья, износа механических систем, засорения теплообменников.

Все эти алгоритмы управления, при описании их с помощью дифференциальных уравнений требуют большого количества вычислений. При увеличении точности и учитываемых факторов количество вычислений растет в геометрической прогрессии.

Использование нечеткой логики предлагает более простое решение тех же задач. Чёткое описание системы заменяется нечеткими определениями, над которыми выполняются логические правила. Система управления становится на систему управления, в которой управляет опытный эксперт. В нечетких логических системах управления с адаптацией подстройка параметров и закона управления производится с использованием той же нечеткой логики, т.е. по правилам эксперта.

Недостатком адаптивных устройств управления на нечеткой логике является их специализация на конкретный технологический процесс. Но для управления одним параметром как температура они вполне применимы.

## **Нечеткие динамические модели сельскохозяйственных технологических процессов**

**Ковалев В. А.**, канд. техн. наук, **Сибиркин Д. В.**, ст. преподаватель, БГАТУ, г. Минск

Для описания систем и объектов управления, моделирования сельскохозяйственных технологических процессов, таких как нагрев или охлаждение, применяют линейные стационарные системы, описываемые линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.

В сельскохозяйственном производстве участвуют биологические объекты. Поэтому описание технологического процесса с участием биологического объекта с помощью линей дифференциальных уравнений возможно лишь в грубом приближении. Для систем управления, от которых не требуется высокая точность и объект управления можно стабилизировать и приблизит к линейному это вполне возможно. При создании самонастраивающихся и адаптивных систем управления необходимо учитывать нестационарность, нелинейность и распределенными параметрами описываются уравнениями в частных производных. Для обеспечения заданной точности сложность описания системы в дифференциальных уравнениях вырастает в геометрической прогрессии, и реализовать систему управления в практическом применении становится просто невозможным.

В последнее время для описания сложных объектов применяют новые информационные технологии, к ним относится нечеткая логика. Она позволяет описать реальные объекты в качественном понимании ("большой", "тепло", "сильно", "чуть-чуть") некоторой функцией достоверности. Степень приближения зависит от человека создающего систему управления или описывающего объект. Теория нечеткой логики позволяет выполнять над такими величинами весь спектр логических операций - объединение, пересечение, отрицание и др. Более того, согласно знаменитой теореме FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доказанной Коско, любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике.

На практике применяются в основном нечеткие стационарных логические системы. В простом рассмотрении нечеткие логические системы – это безинерционные, нелинейные системы.

Для описания динамических систем предполагается использование математическое описание инерционного объекта в виде разностных уравнений, коэффициенты которого определяются функцией нечеткой системы в зависимости от величины входных воздействий.

## Микропроцессорное управление режимом регулируемых конденсаторных установок

Жуковский А. И., ст. преподаватель, канд. техн. наук, БГАТУ, г. Минск

Сельские электрические сети характеризуются низким коэффициентом мощности нагрузок, в связи с чем, потери от передачи реактивной мощности равноценны и даже могут превышать потери от передачи активной мощности. Результаты исследований, проведенных автором, показали, что коэффициент мощности в сельских сетях Беларуси находится в пределах 0,7-0,85. Подсчитано, что при таких значениях коэффициента мощности, за счет эффективной компенсации реактивной мощности можно снизить потери энергии в сети на 25-46%.

Резкопеременный характер реактивной нагрузки сельскохозяйственных потребителей требует регулирования выдаваемой в сеть реактивной мощности с помощью регулируемых конденсаторных установок (РКУ). Известны различные способы регулирования: программное по времени суток; по напряжению; по току нагрузки; по значению и направлению реактивной мощности и другие. Наиболее перспективно комбинированное регулирование по нескольким параметрам, обеспечивающее высокое быстродействие и точность, снижающее вероятность возникновения отрицательных режимов в электрической сети (перекомпенсации, перенапряжения и др.). Однако его сложно реализовать с помощью электромагнитных, индукционных и аналоговых устройств, применяемых до настоящего времени.

Принципиально новые возможности для реализации комбинированного управления открываются на базе современных микропроцессорных и программных средств. Применение микропроцессоров повышает качество и оперативность управления, обеспечивает относительную простоту законов регулирования. Микропроцессор позволяет не только контролировать электрические величины, но и математически их обрабатывать. Использование микропроцессоров, наряду с управлением режимом РКУ, позволит решить ряд смежных проблем электроснабжения: контроль параметров электрической сети и их архивацию; контроль показателей качества электроэнергии; контроль и регулирование электропотребления и др. Это видится перспективным в условиях повышения требований к экономичности и надежности систем электроснабжения, улучшению качества электроэнергии в электрических сетях.

На кафедре Электроснабжения сельского хозяйства БГАТУ разработан опытный образец РКУ-0,4кВ с микропроцессорным управлением, предназначенной для повышения коэффициента мощности в трехфазных электрических сетях 0,4кВ и автоматического регулирования реактивной мощно-

сти. Установка содержит секции серийных трехфазных конденсаторов КМПС, регулятор-измеритель реактивной мощности, аппаратуру управления, защиты и сигнализации. Регулятор-измеритель выполнен на базе микропроцессора фирмы Philips. Расчетная стоимость установки 1500 долларов США, что ниже стоимости аналогов производимых компанией «Энситех» (Беларусь), а также зарубежных фирм России Швейцарии, Германии, Испании, Чехии.

Регулятор-измеритель наряду с управлением режимом РКУ, обеспечивает контроль параметров электрической сети в месте установки: напряжений, токов, фазовых углов, мощностей, коэффициентов мощности. Измерения производятся в режиме реального времени с архивацией измеряемых величин в энергонезависимом циклически организованном архиве. Обработка архивов выполняется на ПЭВМ с помощью специальной программы «Обработка», в результате получаем суточные графики полной, активной и реактивной мощностей. Анализ последних позволяет оценивать эффективность работы РКУ и своевременно вносить соответствующие корректировки в управление. Кроме этого, регулятор-измеритель в комплекте с блоком датчиков можно использовать в качестве мультимера для проведения исследований в электрических сетях 0,4кВ. Возможна привязка токовых цепей прибора к имеющимся на объектах трансформаторам тока, с учетом их коэффициентов трансформации при обработке результатов. Таким образом получаем суточные графики реактивной нагрузки, необходимые для расчета оптимальных параметров РКУ. Архитектура прибора обеспечивает постоянную связь с ПЭВМ через последовательный интерфейс RS-232, что позволяет использовать его в качестве периферийного устройства сбора информации в системах учета, контроля и управления энергопотреблением.

### **Комплексный контроль, учет и управление энергопотреблением на сельскохозяйственных объектах**

**Счастный В. П.**, доц., канд. техн. наук, **Зеленькевич А. И.**, аспирант, **Жуковский А. И.**, ст. преподаватель, канд. техн. наук, БГАТУ, г. Минск

На технологические цели в сельском хозяйстве РБ ежегодно расходуется около 3 млрд. кВт-ч электроэнергии. К 2005 году потребность в электроэнергии должна увеличиться в 1,5-1,7 раза.

Энергопотребление объекта состоит из двух составляющих: базового и организационно-технического. Базовая составляющая (65-75%), определяемая энергоемкостью электрооборудования, может быть снижена только при внедрении нового энергосберегающего оборудования. Организационно-техническая составляющая (25-35%), определяемая несовершенством орга-

низации эксплуатации оборудования, неточностью учета энергоресурсов и рядом других факторов, может быть быстро и значительно уменьшена при проведении энергосберегающих мероприятий.

В период существования дешевых энергоресурсов их приборный учет был ограничен, так как затраты на его организацию часто превосходили получаемый экономический эффект. Экономические условия обуславливали приблизительный, неточный энергоучет, который не отражал реальные процессы энергопотребления.

В настоящее время из-за резкого удорожания энергоресурсов и перехода от плановой экономики к рыночной возросла роль современного, высокоточного приборного учета с использованием новых разработок в области микропроцессорной техники и информационных технологий.

Дальнейшее развитие энергетики не возможно без создания автоматизированных систем контроля, учета и управления энергопотреблением.

В общем виде структура подобных систем содержит 4 уровня:

1. первичные измерительные преобразователи (ПИП), осуществляющие измерение параметров энергоучета потребителей;
2. исполнительные механизмы (ИМ), осуществляющие воздействия на оборудование потребителей;
3. контроллеры (К), осуществляющие сбор измерительной информации с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхний уровень;
4. ПЭВМ, осуществляющая сбор данных с группы контроллеров, итоговую обработку информации, отображение и документирование данных учета.

По принципу реализации и доступа к информации подобные автоматизированные системы контроля, учета и управления энергопотреблением делятся на централизованные, в которых сбор данных с удаленных и территориально распределенных ПИП осуществляется непосредственно на контроллер, а с него – на ПЭВМ, и децентрализованные, в которых относительно дешевые контроллеры устанавливаются непосредственно на объектах.

Создание централизованных систем в сельском хозяйстве нецелесообразно, в силу ряда причин:

- территориальная рассредоточенность потребителей;
- невозможность централизованного управления за счет большой длительности прохождения сигнала от объекта управления до центра управления и потери тем самым его ценности и др.

Создание децентрализованных систем позволяет учесть все перечисленные особенности и использовать более простые и дешевые средства контроля, учета и управления, упростить обслуживание.

Для контроля, учета и управления электропотреблением в подобных

системах предлагается использовать разработанный на кафедре “Электроснабжение сельского хозяйства” БГАТУ многофункциональный цифровой регулятор-измеритель реактивной мощности. Прибор содержит блок аналоговых датчиков, блок согласования аналоговых сигналов, аналого-цифровой преобразователь, микропроцессор, энергонезависимую память данных и программ, таймер-календарь, адаптер связи и блок управляющих сигналов. Применение цифровых методов измерения электрических величин позволило достигнуть приемлемой точности и воспроизводимости результатов, а также малой чувствительности к помехам.

Применение многофункционального регулятора-измерителя позволит контролировать показатели качества электроэнергии в сети, выравнивать графики нагрузки потребителей, осуществлять учет, контроль, регулирование электропотребления, т.е. выполнять функции ключевого элемента системы электроснабжения потребителей.

### **Трансформатор напряжения в сельскохозяйственных электрических сетях 10 кв**

**Сердешнов А. П.,** проф., канд. техн. наук, **Апетенок В. М.,** аспирант, БГАТУ, г. Минск

Интенсификация производства обуславливает все более жесткие требования к эффективности работы электрических сетей, что в значительной мере зависит от четкой работы устройств релейной защиты и автоматики. Одним из основных датчиков сигналов для этих устройств являются измерительные трансформаторы напряжения.

Опыт эксплуатации и исследования режимов работы трансформаторов напряжения в сетях с изолированной нейтралью показывает, что ежегодно около 8% из них отказывают в работе. Имеются сети, которые из-за регулярных повреждений трансформаторов напряжения длительно эксплуатируются без устройств общей сигнализации от замыканий на землю и средств учета электрической энергии. Сказанное требует проведение работ по снижению повреждаемости электромагнитных трансформаторов напряжения. Из обзора литературы и данных практики наиболее рациональным путем устранения повреждений является разработка нового трансформатора напряжения повышенной надежности, которая была выполнена на кафедре электроснабжения БГАТУ.

Предлагаемая новая конструкция трехфазного трансформатора напряжения, содержит трехстержневой магнитопровод, обмотки низшего напряжения, расположенные на каждом стержне и соединенные в звезду с выведенной нейтральной точкой, обмотки высшего напряжения, расположенные на каждом стержне и соединенные в звезду с выведенной нейтральной точ-

кой. Дополнительная обмотка укладывается поверх обмоток всех трех фаз трансформатора, один ее вывод подключается к нейтрали обмоток высшего напряжения, другой выводится наружу, от требуемого числа витков делается специальный вывод, для контроля изоляции сети.

В таком трансформаторе напряжения сокращается количество витков в обмотках в  $\sqrt{3}$  раза по сравнению с НТМИ т.к. напряжение, при замыкании на землю, не может повысится до линейной величины, потому что дополнительная обмотка включается так, что создаваемые ею магнитные потоки нулевой последовательности направлены встречно потокам нулевой последовательности от рабочих обмоток и компенсируют их. Резко понижается масса магнитопровода, т.к. отсутствуют свободные от обмоток стержни, дающие возможность проходить появляющемуся магнитному потоку вынужденного намагничивания, возникшему вследствие исчезновения напряжения в замкнутой на землю фазе. Расчеты показали, что при изготовлении такого трансформатора происходит экономия меди по сравнению с трансформатором напряжения НТМИ-10 на 60%, а по сравнению с трансформатором напряжения НАМИ-10 на 66%. Экономия стали на 75% и 78% соответственно.

Кроме указанного дополнительная обмотка разработанного трансформатора напряжения обладает также значительной индуктивностью (реактор), что позволяет исключить появление опасных зон для трансформатора напряжения, перемежающихся дуг при замыканиях на землю, а также сдвигает область возникновения феррорезонансных процессов в область малых емкостей линий электропередачи или другими словами феррорезонанс может появиться в линии несуществующей (короткой) длины.

Из вышеизложенного следует, что такой тип трансформатора напряжения не только повышает эксплуатационную надежность, но и снижает стоимость самого трансформатора.

## **Основные факторы повышения эксплуатационной надежности микропроцессорных систем**

**Жур А. А., инженер-программист, БГАТУ, г. Минск**

Одним из основных требований, выдвигаемых сельскохозяйственным производствам к системам управления, является их высокая надежность.

Распределённость технологического оборудования на крупных предприятиях, отсутствие или невозможность визуального контроля его состояния, негативно сказывается на успешном выполнении технологических процессов. В тоже время применение микропроцессорной техники для построения систем управления создает определенные предпосылки для обеспечения

оперативной диагностики и контроля выполнения технологического процесса и работы технологического оборудования в процессе эксплуатации. Используя информацию от датчиков и оперативную диагностику в режиме реального времени, можно предсказать возникновение неисправностей, выхода оборудования из строя и нарушение технологического процесса, что снижает время простоев технологического оборудования и возникновение аварийных ситуаций.

Отказ технологического оборудования практически реальная вещь и при разработке системы управления это важно учитывать. Поэтому в алгоритм управления необходимо заложить возможные отказы оборудования и, соответственно, корректный выход из такого состояния без нарушения выполнения технологического процесса.

Для повышения эффективности диагностики технологических систем необходимо учитывать и возможности оператора. В первую очередь целесообразно предусмотреть вероятность ошибочных действий оператора и его способность компенсировать последствия отказов технических объектов и своих ошибок. К числу наиболее часто применяемых способов уменьшения количества ошибок операторов относятся: блокировка нежелательных действий, резервирование действий, организационные и психологические мероприятия. Для блокировки и диагностики нежелательных действий оператора, при проектировании микропроцессорной системы, вводятся дополнительные аппаратные и программные средства. Режимы технологических процессов не начинаются, если не выполняются определенные начальные условия. Резервирование действий состоит во введении дополнительных действий перед основным, которые исключают возможные ошибочные действия операторов. Технологический процесс не начнется, если переключателями не выбраны соответствующие режимы работы и не проведен диагностический контроль состояния технологического оборудования. При невыполнении данных условий оператору выводится сообщение с указанием неисправности.

В современных АСУТП использующих микропроцессорные контроллеры очень велико значение не только безотказной работы технических средств, но и наличие программ, не имеющих скрытых ошибок. Наиболее сложными являются программы управления технологическими процессами в реальном масштабе времени. Важным этапом разработки АСУТП является тестирование и отладка управляющих программ в лабораторных условиях. Функционирование программы может быть полностью оценено лишь в процессе эксплуатации. Ошибки программ могут привести к сбоям и нарушению выполнения технологического процесса.

Нами накоплен определенный опыт использования избыточных программно-технических возможностей управляющего микропроцессорного контроллера для оперативной диагностики оборудования при автоматиза-

ции приготовления и раздачи жидких кормов на индустриальном свиноводческом комплексе.

В настоящее время на промышленном свиноводческом комплексе совхоз-комбината “Белая Русь” Минской области Узденского района в промышленной эксплуатации находятся четыре линии кормоприготовления и семь линий раздачи жидких кормов. Многолетний опыт эксплуатации микропроцессорных систем управления показывает, что применение функциональной диагностики позволяет обеспечить высокую надежность и эффективность выполнения технологических процессов. Развитие диагностических средств не только предотвращает чрезмерный ущерб от возможных отказов оборудования и нарушения технологического процесса, но и благоприятно сказывается на создании комфортных условий для работы оператора. Накопленная практика использования микропроцессорных систем управления показывает, что они легко и быстро осваиваются персоналом, обладают высокой надежностью и эффективностью.

При их проектировании и внедрении необходимо соблюдать следующие условия:

- выбор программно-технических средств общепромышленного применения с высокой вероятностью безотказной работы;
- использование избыточных программно-технических возможностей микропроцессорной техники для диагностики и предотвращения отказов технологического оборудования;
- отладка и тестирование управляющих программ на имитационных стендах;
- качественный монтаж, с защитой от электромагнитных помех;
- обучение персонала и обязательное сопровождение действующей АСУТП.

### **Использование цифрового управления в процессах сушки зерна**

**Пляц О. М.,** доц., канд. техн. наук, БГАТУ, г. Минск

Развитие микропроцессорной элементной базы и разработка новых концепций обработки сигнала привели к появлению нового поколения средств контроля и регулирования влажности: цифровых влагомеров и программируемых контроллеров. Это создало предпосылки перехода к новому этапу автоматизации, позволяющему значительно повысить социальную и экономическую эффективность процессов переработки продукции растениеводства.

Разработка цифрового ИВП позволила осуществить контроль влажности зерна в процессе его сушки с высокой точностью, а выбор конфигурации программируемого контроллера – цифровое управление процессом сушки.

В состав оборудования цифровой системы управления входят: шкаф управления, внутри которого установлен программируемый контроллер японской корпорации OMRON типа AM1; шкаф силовой автоматики, внутри которого расположены компоненты силовой автоматики (пускозащитная аппаратура и др.).

Оба шкафа расположены в непосредственной близости от объекта управления – колонковой зерносушилки.

На дверях шкафа управления установлены: терминал программируемого контроллера NT11S; мнемосхема процесса колонковой зерносушилки; клавиши (кнопки) ПУСК-СТОП, позволяющие включать отдельные механизмы для проверки их функционирования в режиме НАЛАДКА; клавиши (кнопки) ПУСК-АВАРИЙНЫЙ СТОП для запуска и аварийной остановки процесса в автоматическом режиме. В нижней части шкафа управления установлены разъемы для подвода кабелей информационных входов от управляемого процесса и выходов к шкафу силовой автоматики. На табло терминала и мнемосхеме отображается следующая информация: главное меню (автоматическая работа, параметры и работа в режиме НАЛАДКИ); текущее состояние различных видов защиты, предупреждений и блокировки; текущее состояние датчиков и исполнительных механизмов, регулирующих органов.

В качестве компонентов силовой автоматики используются: магнитные пускатели, автоматические выключатели, контакторы и реле.

Информационное обеспечение цифрового управления осуществляется с помощью первичных измерительных преобразователей, электронные схемы формирования сигналов которых преобразуют сигналы текущей информации о состоянии режима сушки в масштабированные унифицированные токовые сигналы 4...20 мА. К ним относятся измерительные преобразователи относительной влажности и температуры зерна и теплоносителя на выходе секции сушки, влажности зерна на выходе секции охладителя перед шнеком и в завальной яме, температуры теплоносителя на выходах теплогенераторов, а также относительной влажности отработавшего теплоносителя на выходе вентилятора рекуперации.

Выполненные расчеты свидетельствуют от экономической целесообразности проекта. Увеличение производительности труда составило 42%.

Расчеты показали, что в базовом варианте (ручное управление) энергоемкость процесса сушки составила 15,7 кг у.т/т, а после модернизации (цифровое управление)- 11,2 кг у.т/т, т.е. снизилась на 28,7%.

Капитальные вложения в цифровую автоматику составили 2380 тыс. руб., срок окупаемости – 2,83 года, а чистый дисконтированный доход составил 2993,150 тыс. руб.

### **Применение MS EXCEL для обработки и представления маркетинговой информации**

**Хорошун Н. В.**, ст. преподаватель, **Серченя С. Н.**, **Ткачева С. И.**, БГАТУ, г. Минск

В настоящее время MS Excel представляет собой мощное и гибкое средство обработки представления любой информации, включающее в себя как электронные таблицы (со средствами финансового и статистического анализа, набором стандартных математических функций, рядом дополнительных функций, встречающихся только в библиотеках дорогостоящих инженерных подпрограмм), так и средства визуального программирования (Visual Basic for Applications). Электронные таблицы позволяют производить обработку чисел и текста, задавать формулы и функции для автоматического выполнения, прогнозировать бюджет на основе сценария, представлять данные в виде диаграмм, публиковать рабочие листы и диаграммы в Web. С помощью VBA можно автоматизировать всю работу, начиная от сбора информации, ее обработки, до создания итоговой документации, как для офисного пользования, так и на Web-узле.

Особый интерес представляет использование возможностей пакет Microsoft Excel для обработки и представления маркетинговой информации. Так, с помощью Microsoft Excel можно существенно облегчить систематизацию полученной информации в ходе проведения маркетинговых исследований, затем провести экономическое прогнозирование и предвидение развития процессов. Для этого в Microsoft Excel анализируемые данные помещаются необходимым образом на листы рабочих книг. Таким образом, выбранный метод рассматриваемой задачи влечет за собой набор расчетных формул и функций, легко реализуемых средствами Microsoft Excel и VBA. Кроме того, наличие встроенных мастеров позволяют наглядно представить полученные результаты. К средствам анализа Microsoft Excel относятся:

- ✓ обработка списка с помощью различных формул и функций;
- ✓ построение диаграмм;
- ✓ проверка данных рабочих листов и рабочих книг на наличие ошибок;
- ✓ автоматическое подведение итогов;
- ✓ консолидация данных;
- ✓ сводные таблицы;
- ✓ подбор и нахождение решения, и др.

Конечным этапом в проведении исследований является обработка и предоставление полученных результатов. На наш взгляд, для этого наиболее удобным продуктом информационных технологий является MS EXCEL. На рисунке представлена матрица ввода каждого опросного листа.

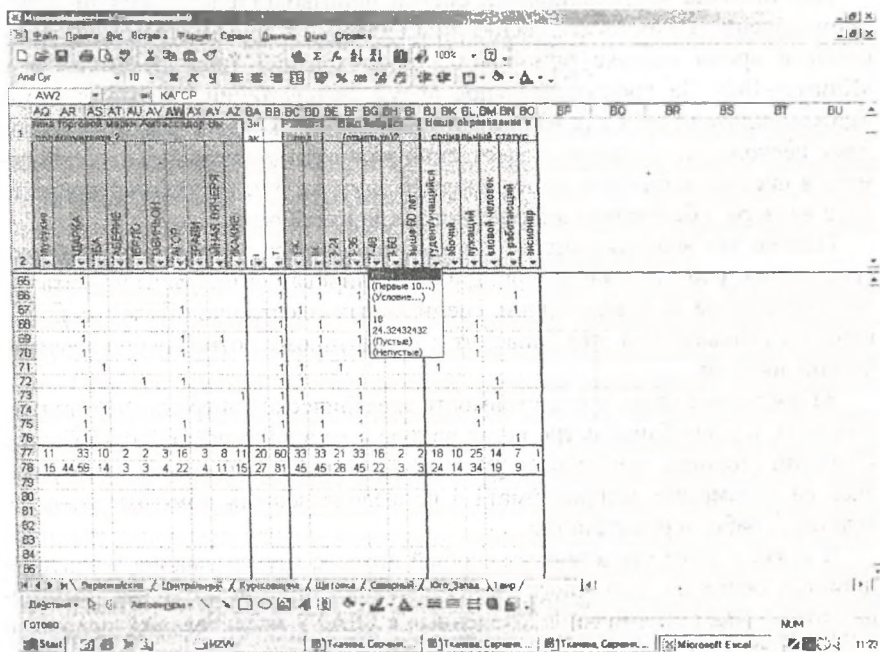


Рис. Матрица ввода опросных листов.

197

ответ как в процентах, так и в абсолютном исчислении. И, наконец, построение и демонстрация диаграмм осуществляется очень просто и они достаточно наглядны.

### **Система контроля и управления электроприводами вентиляторов производственных зданий**

**Ковалинский А. И.**, доц. канд. техн. наук, **Карасев О. Б.**, доц., канд. техн. наук, **Силуцкий А. С.**, **Долгов О. В.**, БГАТУ, г. Минск

Для привода вентиляционных систем производственных зданий Агро-промышленного комплекса Республики Беларусь и других стран СНГ, в настоящее время широко применяется оборудование типа «Климат-47» и «Климат-4М». За продолжительное время эксплуатации данные системы зарекомендовали себя как надежные установки, у которых выход из строя даже нескольких агрегатов существенно не влиял на параметры микроклимата в производственных помещениях, к тому же они не требуют постоянного надзора обслуживающего персонала за их работой.

Однако эти вентиляционные системы применяют в своих схемах блоки управления, работающие на принципе регулирования напряжения питания электропривода и применением специальных электродвигателей с повышенным скольжением, что приводит к завышенному потреблению электрической энергии.

За последние годы, когда стоимость электрической энергии значительно возросла, в республике остро встал вопрос о ее экономном использовании. С другой стороны, необходимо учитывать, чтобы эта экономия не отразилась на параметрах микроклимата в производственных помещениях и результатах работы предприятия.

В связи с этим представляет особый интерес использования в вентиляционных системах частотного регулирования скорости вращения электродвигателя. Как показывают проведенные в БГАТУ исследования, использование частотных регуляторов в комплекте с персональными компьютерами дает значительное снижение расхода электроэнергии, при сохранении всех параметров регулирования микроклимата, а также можно отметить компактность оборудования и снижение материалоемкости оборудования.

В установке «Климат» применяются электродвигатели серии «Д», имеющие повышенное скольжение. При использовании частотных преобразователей, регулирующих частоту тока (например «MITSUBISHI FP-E500») можно заменить ранее установленные электродвигатели Д100, с номинальной мощностью 1,1 кВт и повышенным скольжением на обычные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором серии АИР, с мощностью до 0,4 кВт, которые используют для электроприводов вентиля-

торов серии ВО. Средневзвешенный КПД увеличивается до 62 %. Если учитывать, что система вентиляции работает круглосуточно, то экономия электрической энергии при переходе на новый вид управления составит 8 – 10 %.

Из вышеизложенного можно сделать вывод о необходимости применения систем управления электроприводами вентиляционных установок производственных помещений нового типа с комплектацией асинхронными электродвигателями и частотными преобразователями.

### **Устройства измерения мощности для регуляторов загрузки электроприводов**

**Дайнеко В. А.,** доц., канд. техн. наук, **Гурин В. А., Цховребов А. А.,** БГАТУ, г. Минск

Одним из направлений энергосбережения является снижение энергоемкости стационарных и мобильных сельскохозяйственных машин. Основные причины энергоемкости следующие: несовершенство технологий и конструкций; большая мощность холостого хода; отсутствие эффективных автоматических устройств регулирования и контроля загрузки.

В большинстве случаев сельскохозяйственные машины, особенно стационарные, загружены на 50 – 60%. Например, дробилки кормов перерасходуют около 48% электроэнергии на единицу перерабатываемой продукции. Процесс дробления энергоемкий, поэтому необходимо регулировать подачу сырья и поддерживать постоянную загрузку. В большинстве существующих измельчающих машин, оснащенных регуляторами загрузки, регулирование осуществляется по току обмотки статора асинхронного электродвигателя. При колебаниях питающего напряжения изменяется коэффициент мощности электродвигателя, поэтому ток статора не несет достоверной информации для системы автоматического регулирования загрузки. Кроме того, тенденция развития современного электропривода – частотное регулирование, получившее распространение благодаря широкому применению современных преобразователей частоты, стоимость которых постоянно и быстро снижается. При частотном регулировании получение достоверной информации о загрузке становится еще труднее.

Получить точную информацию о загрузке можно только путем измерения нескольких параметров технологического процесса с последующей их обработкой средствами микропроцессорной техники и компьютерами.

Таким образом, разработка устройств измерения мощности, крутящего момента и разработка алгоритмов для автоматических устройств регулирования загрузки является актуальной задачей, решение которой позволит

разработать регуляторы загрузки для различных сельскохозяйственных процессов и машин.

Для решения данной проблемы был проведен литературный анализ существующих средств измерения мощности электроприводов, современных измерителей коэффициента мощности, аналоговых и цифровых. В результате проведенных исследований разработаны измерительные преобразователи, предназначенные для определения среднеквадратического значения напряжений и токов, выполненные на аналоговых элементах. Их применение в сочетании с цифровыми фазоизмерительными схемами и микропроцессорами позволит реализовать достаточно простые и недорогие измерители мощности для электроприводов различного назначения.

### **Информационная система контроля и управления микроклиматом**

**Ковалинский А. И.,** доц., канд. техн. наук, **Долгов О. В.,** Силуцкий А. С., БГАТУ, г. Минск

В работе произведён анализ системы контроля микроклимата на современном сельскохозяйственном предприятии. В работе разработана автоматизированная диспетчерская, позволяющая выявлять возникающие аварийные ситуации, проведён технико-экономический анализ состояния производства на сельскохозяйственном предприятии.

Современное сельскохозяйственное предприятие - птицефабрика, животноводческий комплекс и другие - является сложным производством, от правильного управления которым зависят многие экономические показатели. Не имея оперативной информации о работе каждого объекта, например, свиарника, на животноводческом комплексе или птичнике на птицефабрике, о работе систем водоснабжения, канализации, энергосбережении, данным по нормам и привесам, руководители и специалисты не всегда правильно могут оценить производственные ситуации. Какая же информация нужна руководителям и специалистам?

В проведенной работе применён метод разделения и параллельного исследования системы данных. Было проведено разделение системы данных на две подсистемы, дополняющих друг друга.

Первая подсистема технологического характера - это непрерывная информация о состоянии технических объектов, оборудования, выполнения технологических процессов. Вторая подсистема – экономического характера. Это информация о количестве животных на откорме, привесах, наличии кормов и другая.

Данные от двух подсистем собираются на ПЭВМ, позволяя оперативно проводить технико-экономический анализ состояния сельскохозяйственно-

го производства. Выявлять возникающие аварийные ситуации и принимать меры к их устранению. Технология сбора информации при помощи аппаратуры заключается в следующем: ПЭВМ производит опрос датчиков на объектах после получения информации о температуре, влажности, наличии фаз напряжения и другую информацию, сравнивает её с заданными значениями. Если параметры укладываются в допустимые пределы, то на мониторе видны соответствующие квадраты, окрашенные в зелёный цвет. Если же параметры отклоняются в большую или меньшую сторону, то квадраты на мониторе окрашиваются в красный цвет и звучит звуковой сигнал, одновременно идёт распечатка по аварийному объекту с указанием времени аварии. После принятия организационно-технических мер по устранению аварии, ПЭВМ фиксирует время восстановления работоспособности объекта. Такой же контроль ведётся за состоянием КНС, водоснабжения, осуществляется охрана объектов и пожарная безопасность. Разработанная система позволяет контролировать объекты, удалённые до 10 км, количество же точек контроля составляет до 300.

Достоинством системы является высокая надёжность, и то, что её монтаж не затрагивает уже существующие системы автоматики. Для повышения надёжности работы в диспетчерской устанавливают две ПЭВМ, одна из которых резервная.

Результатом анализа всех вышеприведенных данных является создание на сельскохозяйственном предприятии автоматизированной диспетчерской.

В состав такой диспетчерской входят: планшет генерального плана сельскохозяйственного предприятия, оснащённой световой сигнализацией, пульт диспетчера с ПЭВМ, который связан с периферийными устройствами - датчиками, телефонными аппаратами, внутренней и внешней телефонной связи, радиостанциями, системой видеонаблюдения.

Экономическая целесообразность создания на предприятии такой системы очевидна. Как показывают исследования по надёжности работы электрооборудования животноводческих комплексов и птицефабрик средней мощности в течение года возникают 2-3 аварии, не все из которых обнаруживаются вовремя, нанося невосполнимые потери.

Опыт эксплуатации подобных систем, автоматизированные диспетчерские такого типа рационально вписываются в структуру животноводческих комплексов, птицефабрик, теплиц.

### **Применение микропроцессорного контроллера в автоматизации экспериментальных исследований**

**Гагаков Ю. В., Васелица А. П., Гушо Н. В., БГАТУ, г. Минск**

В условиях острой нехватки измерительных приборов и ограниченности средств на их приобретение, быстрое развитие микропроцессорной техники привело к тому, что персональные компьютеры используются для решения различных аналитических задач, в том числе и для обработки всевозможных данных, полученных при помощи стационарных приборов.

Использование приборов, не имеющих связи с компьютером делает весьма трудоемким и утомительным процесс переноса и обработки собранной информации, увеличивает возможность грубых ошибок. Сопряжение же приборов с компьютером и кроет в себе основную трудность: выходные сигналы приборов (если вообще они есть) имеют различную физическую природу (напряжение, ток, импульсные или квазинепрерывные и т.д.), а компьютер понимает только язык двоичных цифр, причем переданных ему строго определенным образом. Эта проблема решается применением аппаратуры сопряжения или интерфейсов связи компьютера с экспериментом.

В сложившейся ситуации весьма благоприятной альтернативой может послужить применение микропроцессорных контроллеров. Программируемые контроллеры обладают широко развитыми возможностями, что позволяет их успешное применение в линиях, обладающей сложной и разветвленной структурой. Программирование контроллеров осуществляется с помощью программатора, либо с помощью обычного персонального компьютера на стандартных языках программирования. Широкий ряд предлагаемых контроллеров делает возможным их применение для решения задач автоматизации любой сложности. Развита блочно-модульная структура позволяет создавать устройства, наилучшим образом ориентированные на определенный тип оборудования и используемую технологию.

Как правило программируемые контроллеры имеют следующую структуру: центральный процессор (один или несколько); блоки входов/выходов (дискретные (транзисторные, релейные), аналоговые); параметрические блоки; блоки коммутации (RS 323, RS 422/485, «токовая петля» и т.д.); специальные модули (позиционирования, прерывания, удаленные блоки); дополнительные опции (пульта управления, дисплеи, мониторы).

Нами было разработано устройство измерения расхода стоков на ГКНС №2 г. Борисова на базе ультразвукового уровнемера ЭХО-5 и микропроцессорного контроллера B&R 2003. Flash-памяти контроллера хватало для записи поступающих объемов стоков в течение семи суток с дискретностью 2 минуты.

Разработанные аппаратура и методика оценки мгновенного поступления стоков на ГКНС №2 позволили определить неравномерность и абсолютные объемы поступления канализационных стоков, что явилось исходной информацией для выбора вариантов энергосберегающей реконструкции насосной станции.

Также была разработана система для сбора данных статической оценки влажности и температуры на РУСПП «свинокомплекс Борисовский». Данная система позволила произвести запись в память контроллера массива данных влажности и температуры в разрезе 14 дней с последующей конвертацией информации в формат программы Microsoft EXCEL для дальнейшего создания математической модели адаптивной системы микроклимата свиарника-откормочника.

Такая методика позволяет резко сократить трудоемкость экспериментальных исследований, повысить достоверность и качество получаемых моделей.

### **Моделирование и обоснование параметров первичного измерительного преобразователя влажности емкостного типа**

**Корко В. С., Ловеров В. Н., канд. техн. наук, доценты, Гузанова Т. Ф., ст. преподаватель, БГАТУ, г. Минск**

Первичный измерительный преобразователь (ПИП) влажности емкостного типа используется в высокочастотных влагометрических системах. Служит для преобразования незлектрической величины – влажности материалов в электрическую величину – емкость конденсатора.

Конструкцию ПИП и его параметры определяют выбранный метод, частота измерения, структура материала, назначение и условия работы измерителя влажности. Основные технологические и метрологические требования к ПИП как главному элементу измерительной системы состоят в следующем: обеспечивать максимальную чувствительность к изменению контролируемого параметра, минимальную чувствительность к изменениям мешающих факторов, обладать необходимой избирательностью преобразования по контролируемому параметру, достаточной чувствительностью преобразования, представительностью контролируемой пробы по отношению ко всей партии материала, достаточной динамикой по отношению к контролируемому процессу.

Сложность в разработке первичных измерительных преобразователей подобного типа заключается в том, что его емкость с заполненным измерительным материалом зависит от многих факторов.

Задача исследования сводилась к тому, чтобы, анализируя физические процессы в диэлектрике влагосодержащего материала и конструкцию первичного измерительного преобразователя создать электрическую модель – схему замещения. На основании ее построить математическую модель.

В качестве примера взят пуповой первичный измерительный преобразователь емкостного типа.

Его удобно использовать для измерения влажности в ограниченных объ-

емах (тюки, мешки, защитный грунт и т.п.). Electroдами в нем служат два полых цилиндра, расположенных на одной оси на некотором расстоянии друг от друга или же две пластины. Electroды закрепляются либо на диэлектрической полоске (ножевые) либо в диэлектрической трубе (цилиндрические).

В качестве математической модели предложено уравнение (автор И.Б.Моик), которое модифицировано применительно к условиям измерения с помощью шупового первичного измерительного преобразователя.

На основании математической модели разработана программа для ПЭВМ расчета емкости первичного измерительного преобразователя в зависимости от его геометрических размеров. В результате получен ряд характеристик, связывающих функцию отклика (емкость) с геометрическими размерами первичного измерительного преобразователя (расстояние между электродами, длина, радиус электродной системы). Их можно использовать для обоснования и выбора рациональных параметров первичного измерительного преобразователя.

### **Повышение эффективности процесса сушки зерна на основе связанного управления его параметрами**

**Сидоренко Ю. А.** , канд. техн. наук, доцент, **Лукашов П. В.**, БГАТУ, г. Минск

Ежегодно в республике убирается большое количество зерновых, бобовых и масличных культур. Прогнозируя мировые тенденции развития сельского хозяйства можно с уверенностью сказать, что в будущем в нашей республике количество собираемого урожая зерновых будет расти. Это также обосновано обеспечением продовольственной безопасности страны.

По существующей ныне технологии обработки собранного урожая, а также учитывая климатические особенности Республики Беларусь, более половины собранного урожая необходимо подвергать искусственной сушке. Делать это необходимо за довольно короткий период времени, не допуская снижения качества, либо порчи убранных зерен.

Подавляющее большинство существующих на данный момент в хозяйствах республики зерносушилок, имеют частичную автоматизацию отдельных процессов технологии, таких как регулирование уровня зерна в бункерах и шахтах сушилки, регулирование температуры теплоносителя, аварийная автоматика теплогенератора и др. На сегодняшний день наиболее качественно производится лишь контроль такого технологического параметра как температура теплоносителя. Контроль же такого важного параметра, которым является влажность зерна, зачастую ведется методами не позволяющими автоматизировать процесс сушки по данному показателю. Все

это ведет к тому, что все основные функции по управлению технологическим процессом сушки зерна возлагаются на человека (оператора) который в силу присущих ему свойств не в состоянии обеспечить требуемую точность регулирования параметров. Итогом такого управления зачастую является снижение производительности сушилки, некачественно высушенное зерно, а также неэффективное использование топливно-энергетических ресурсов. Решение данной проблемы следует искать в разработке системы связанного управления параметрами процесса сушки зерна, которая позволила бы контролировать все необходимые параметры (температура теплоносителя, максимальная температура нагрева зерна, влажность зерна) и автоматически управлять этими величинами учитывая их взаимное влияние друг на друга. Для построения такой системы следует решить целый ряд задач, основной из которых является создание адекватной математической модели зерносушилки как объекта управления. Современное интегрированное управление предполагает применение микропроцессорного контроллера, что положительно скажется на надежности и эффективности системы и послужит одним из источников положительного экономического эффекта. Основой для положительного экономического эффекта будет снижение расхода топливно-энергетических ресурсов на единицу высушенной продукции, повышение качества зерна а также повышение производительности за счет более точного и корректного управления процессом сушки.

Таким образом, предлагаемое решение вопроса автоматизации зерносушилок с использованием микропроцессорного контроллера обладает более высокой эффективностью по сравнению с существующими ныне и выпускаемыми серийно системами автоматизации. Ближайшей целью является построение адекватных математических моделей зерносушилок различного типа.

#### **Устройства измерения мощности для регуляторов загрузки электроприводов**

**Дайнеко В. А., Гурин В. А.,** канд. техн. наук, доценты, **Цховребов А. А.,** БГАТУ, г. Минск.

Одним из направлений энергосбережения является снижение энергоемкости стационарных и мобильных сельскохозяйственных машин. Основные причины энергоемкости следующие: несовершенство технологий и конструкций; большая мощность холостого хода; отсутствие эффективных автоматических устройств регулирования и контроля загрузки.

В большинстве случаев сельскохозяйственные машины, особенно стационарные, загружены на 50 – 60%. Например, дробилки кормов перерасходуют около 48% электроэнергии на единицу перерабатываемой продук-

ции. Процесс дробления энергоемкий, поэтому необходимо регулировать подачу сырья и поддерживать постоянную загрузку. В большинстве существующих измельчающих машин, оснащенных регуляторами загрузки, регулирование осуществляется по току обмотки статора асинхронного электродвигателя. При колебаниях питающего напряжения изменяется коэффициент мощности электродвигателя, поэтому ток статора не несет достоверной информации для системы автоматического регулирования загрузки. Кроме того, тенденция развития современного электропривода – частотное регулирование, получившее распространение благодаря широкому применению современных преобразователей частоты, стоимость которых постоянно и быстро снижается. При частотном регулировании получение достоверной информации о загрузке становится еще труднее.

Получить точную информацию о загрузке можно только путем измерения нескольких параметров технологического процесса с последующей их обработкой средствами микропроцессорной техники и компьютерами.

Таким образом, разработка устройств измерения мощности, крутящего момента и разработка алгоритмов для автоматических устройств регулирования загрузки является актуальной задачей, решение которой позволит разработать регуляторы загрузки для различных сельскохозяйственных процессов и машин.

Для решения данной проблемы был проведен литературный анализ существующих средств измерения мощности электроприводов, современных измерителей коэффициента мощности, аналоговых и цифровых. В результате проведенных исследований разработаны измерительные преобразователи, предназначенные для определения среднеквадратического значения напряжений и токов, выполненные на аналоговых элементах. Их применение в сочетании с цифровыми фазоизмерительными схемами и микропроцессорами позволит реализовать достаточно простые и недорогие измерители мощности для электроприводов различного назначения.

### **Система информационного мониторинга и регионального управления потреблением энергоресурсов в АПК**

**Герасимович Л. С.,** докт. техн. наук, профессор, академик, **Крутов А. В.,** канд. техн. наук, доцент, **Павловский П. А.,** инженер, БГАТУ, г. Минск

Для рыночных условий хозяйствования актуальное значение имеет наиболее полное и эффективное использование функционирующих ресурсов, определяющих существенное снижение себестоимости продукции или оказываемых услуг в регионах АПК. Основными резервами снижения себестоимости являются повышение производительности труда и уменьшение энергоресурсоемкости продукции.

В последнее время одним из существенных является вовлечение информационных ресурсов в виде априорной, оперативной текущей, тактической и стратегической информации, алгоритмов её обработки и поддержки принимаемых решений. Учитывая, что региональный (областной) агропромышленный комплекс как система имеет свои механизмы функционирования, алгоритмы управления, планы, ограничения и тенденции развития, в основе методологии информационного обеспечения рационального потребления энергоресурсов лежат задачи разработки системной модели этого комплекса, алгоритмов эффективного мониторинга расходования всех ресурсов и эффективной отдачи с учетом фактического состояния характерных групп хозяйств в районах. В качестве показателей градации хозяйств взята рентабельность и выделяются три основные их группы: 1) убыточные; 2) с рентабельностью до 10 процентов 3) высокорентабельные (свыше 10%).

Система поддержки принимаемых решений по вопросам регионального энергопотребления включает разработку концепции энергопотребления, модели хозяйствования, информационную базу данных, процедуры сопровождения и алгоритмы обработки информации и реализации выбранного варианта.

Критерием управления, в соответствии с которым может формироваться структура использования энергоресурсов в определенном регионе, может выражать прибыль, производственные потери (с учетом определённых ограничений и рентабельности производства).

В докладе в качестве целевой функции управления рассматривается прибыль от использования того или иного вида энергоресурса. Критерий прибыли ( $\Pi$ , руб) определяется по следующей формуле:

$$\Pi = \sum_{i=1}^n (\Pi_i - C_i) A_i,$$

где  $\Pi_i$  – оптовая цена  $i$ -го вида энергоресурсов, руб/т у.т.;  $C_i$  – себестоимость  $i$ -го вида энергоресурсов, руб/т у.т.;  $A_i$  – объём использования  $i$ -го вида энергоресурсов, т у.т..

Объём использования определённого вида энергоресурса, его цена, параметры качества имеют следующие ограничения:

$$A_i \leq A_{i\text{тв}}; \Pi_i \leq \Pi_{i\text{а}}; \{m_n\} \in \{M_n\},$$

где  $A_{i\text{тв}}$  – технологически возможный объём использования конкретного вида энергоресурса в данном регионе, т у.т.;  $\Pi_{i\text{а}}$  – цена альтернативного (традиционного) вида энергоресурса, например электроэнергии, дизельного топлива и т.п., руб/т у.т.;  $\{m_n\} \in \{M_n\}$  – векторы множества показателей качества энергоресурса  $i$ -го вида, соответствующих стандарту, технологическим инструкциям, экологической безопасности и т.п. Например это может быть теплотворная способность топлива, вредные выбросы в окружающую среду и др.

При этом задача максимизации целевой функции (прибыли) многих переменных будет сводиться к последовательному решению задач максимизации функции одной переменной посредством метода динамического программирования согласно следующей схеме:

$$\max \bar{Y}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max x_1 \{ \max x_2 [ \dots \max x_n \bar{Y}(x_1, x_2, \dots, x_n) ] \},$$

где  $\bar{Y}$  -- функция полезности результата, позволяющая сравнить и выбрать предпочтительную альтернативу;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  -- переменные, характеризующие вид энергоресурса, рентабельность производства.

Автоматизированное управление сельскохозяйственным производством по получаемой агропредприятиями прибыли на единицу произведённой продукции позволит интенсифицировать производство, сокращать запасы и расходы ресурсов, снижать энергопотребление и трудозатраты

### **Синтез систем автоматического регулирования путем моделирования на ЭВМ**

**Сидоренко Ю. А., канд. техн. наук, доцент, БГАТУ, г. Минск**

Синтез оптимальных систем автоматического регулирования традиционными методами теории автоматического управления является одной из самых сложных и трудоемких задач. Полученный результат не всегда оправдывает ожидания из-за необходимости упрощать поставку задачи и полученное решение.

Эффективность применения моделирования для исследования систем сельскохозяйственного назначения обусловлено следующим.

Появление быстродействующих цифровых ЭВМ позволило широко использовать численные методы моделирования, ранее ненаходившие широкого применения из-за больших объемов вычислительных работ, для исследования систем с любой практически необходимой точностью. Появление персональных ЭВМ сделало доступным использование этих универсальных методов для решения широкого круга задач в научных и инженерных целях.

Многие сельскохозяйственные объекты из-за сложности протекающих в них процессов нецелесообразно или практически невозможно с достаточной точностью исследовать аналитическими или графоаналитическими методами. Типичными являются также случаи, когда на исследуемый объект управления невозможно подать типовое воздействие, поэтому идентификацию объекта приходится проводить при произвольных входных воздействиях. Другим примером является синтез алгоритма управления сложным объектом, включающим различные рассредоточенные нелинейные элементы, работающие в процессе управления во всем диапазоне своих рабочих характеристик.

Идея синтеза путем моделирования является простой и заключается в следующем. Общие свойства систем с различными законами регулирования хорошо известны. Поэтому можно сформулировать ряд гипотез о законах регулирования, которые возможно будут удовлетворять заданным показателям качества системы. Затем проводится параметрическая оптимизация систем, согласно сформулированным гипотезам, и выбирается наилучший вариант.

При оптимизации целесообразно использовать экспериментальные поисковые методы, поскольку при этом нет необходимости получать выражения критерия оптимальности в явном виде, что существенно упрощает исследование и повышает их достоверность.

Опыт синтеза показывает, что на определенном этапе полезно и даже необходимо учесть исполнение регулятора и динамические характеристики его элементов. Это связано с тем, что приближенная реализация закона регулирования, например при использовании исполнительного механизма постоянной скорости, существенно снижает качество управления, поэтому такой же результат дает более простой закон. Иногда это дает основания выбрать более простую и дешевую реализацию регулятора.

Моделирование на ПЭВМ не накладывает принципиальных ограничений на сложность математической модели объекта. Это обеспечивает возможность обосновать систему не только с точки зрения точности и динамических качеств, но и учесть показатели, напрямую связанные с экономичностью ее работы. Например, могут сравниться варианты по расходу электроэнергии, топлива и т. д. Математическая модель системы для этого должна включать в себя расчет таких показателей.

В настоящее время широкое распространение получили универсальные программы для моделирования систем, которые позволяют набрать цифровую модель из моделей отдельных звеньев. Отпала необходимость разрабатывать цифровой алгоритм моделирования и специальную программу для ПЭВМ и инженер, “автоматчик” получил возможность сконцентрироваться на решении своих специальных задач. Метод стал доступен широкому кругу инженеров.

В связи с вышеизложенным на кафедре АСУП БГАТУ организовано изучение метода в рамках двух дисциплин. Азы метода даются в дисциплине “Основы автоматики” для всех инженеров-электриков. Более развернуто метод изучается в специально созданной дисциплине “Моделирование и оптимизация систем автоматики” для специализации “Автоматизация технологических процессов и установок в сельскохозяйственном производстве”. Моделирование широко применяется в курсовом и дипломном проектировании.

На кафедре поставлена задача разработки методики инженерного синтеза систем путем моделирования на ПЭВМ, включающих идентификацию

систем, согласно сформулированным гипотезам, и выбирается наилучший вариант.

При оптимизации целесообразно использовать экспериментальные поисковые методы, поскольку при этом нет необходимости получать выражения критерия оптимальности в явном виде, что существенно упрощает исследование и повышает их достоверность.

Опыт синтеза показывает, что на определенном этапе полезно и даже необходимо учесть исполнение регулятора и динамические характеристики его элементов. Это связано с тем, что приближенная реализация закона регулирования, например при использовании исполнительного механизма постоянной скорости, существенно снижает качество управления, поэтому такой же результат дает более простой закон. Иногда это дает основания выбрать более простую и дешевую реализацию регулятора.

Моделирование на ПЭВМ не накладывает принципиальных ограничений на сложность математической модели объекта. Это обеспечивает возможность обосновать систему не только с точки зрения точности и динамических качеств, но и учесть показатели, напрямую связанные с экономичностью ее работы. Например, могут сравниться варианты по расходу электроэнергии, топлива и т. д. Математическая модель системы для этого должна включать в себя расчет таких показателей.

В настоящее время широкое распространение получили универсальные программы для моделирования систем, которые позволяют набрать цифровую модель из моделей отдельных звеньев. Отпала необходимость разрабатывать цифровой алгоритм моделирования и специальную программу для ПЭВМ и инженер, “автоматчик” получил возможность сконцентрироваться на решении своих специальных задач. Метод стал доступен широкому кругу инженеров.

В связи с вышеизложенным на кафедре АСУП БГАТУ организовано изучение метода в рамках двух дисциплин. Азы метода даются в дисциплине “Основы автоматики” для всех инженеров-электриков. Более развернуто метод изучается в специально созданной дисциплине “Моделирование и оптимизация систем автоматики” для специализации “Автоматизация технологических процессов и установок в сельскохозяйственном производстве”. Моделирование широко применяется в курсовом и дипломном проектировании.

На кафедре поставлена задача разработки методики инженерного синтеза систем путем моделирования на ПЭВМ, включающих идентификацию объектов управления и собственно выбор законов управления и их оптимальных параметров. Метод используется в научно-исследовательской работе кафедры.

*Ответственный за выпуск Ю.Н. Силкович*

---

ЛВ № 412 Подписано к печати 24.10.02 г. Формат 60х84/16

Объем печ. л. 13,12 Уч.-изд. л. 9,54 Зак. 450 Тир.80

---

Отпечатано на ротапринте БГАУ. ЛП № 42. Минск,  
пр. Скорины, 99, к. 2