

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков**

## **КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Минск  
БГАТУ  
2014

УДК 004:631.145

**Гируцкий, И.И.** Компьютеризированные системы управления в сельском хозяйстве / И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков. – Минск : БГАТУ, 2014. – 212 с.: ил. – ISBN 978-985-519-740-0.

Монография посвящена вопросам компьютеризации и информатизации сельскохозяйственного производства. Исследование ведется от анализа программно-технических средств общепромышленного применения и разработки биотехнических моделей до конкретных примеров разработки и внедрения современных систем управления (включая роботизированные) в сельскохозяйственное производство.

Для разработчиков систем управления, научных сотрудников, специалистов сельскохозяйственных предприятий, студентов и аспирантов аграрных университетов.

Табл. 20. Ил. 50. Библиогр.: 121 назв.

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, директор РНПУП  
«Институт энергетики» *В.Н. Дашков;*

кандидат технических наук, доцент, зав. лабораторией РУП «НПЦ НАН  
Беларуси по механизации сельского хозяйства» *В.В. Чумаков*

ISBN 978-985-519-740-0

© БГАТУ, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	7
<b>ГЛАВА 1. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ</b> .....	9
1.1. История развития программируемых контроллеров.....	9
1.2. Структура промышленного контроллера.....	12
1.3. Типовые схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов.....	15
1.4. Языки программирования стандарта МЭК 61131-3.....	20
1.5. Основы алгоритмического языка Automation Basic.....	23
1.6. Интерфейсы «человек–машина» и «машина–машина».....	32
1.6.1. Психофизический аспект проблемы комплексного предоставления информации оператору.....	32
1.6.2. Понятие о системах визуализации и сбора данных.....	35
1.6.3. Интерфейс «машина–машина».....	45
Выводы по главе 1.....	56
Список литературы к главе 1.....	57
<b>ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ И КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОТКОРМА СВИНЕЙ</b> .....	58
2.1. Обобщенная модель влияния информатизации управления на эффективность производства.....	61
2.2. Формулировка задачи оптимального управления откормом свиней и выбор критериев эффективности.....	64
2.3. Синтез биотехнической модели откорма свиней с обоснованием зависимости привесов от расхода кормов.....	67

2.4. Оптимизация дозы кормления по экономическим критериям.....	72
Выводы по главе 2.....	76
Список литературы к главе 2.....	77
<b>ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЯЗАННОГО, АДАПТИВНОГО И ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОТКОРМОМ СВИНЕЙ</b> .....	81
3.1. Синтез взаимосвязанной математической модели выбора параметров кормления и микроклимата при откорме свиней.....	83
3.1.1. Эффективность применения частотно-регулируемого привода в системе вентиляции свинарника-откормочника.....	84
3.1.2. Расчет затрат при содержании свиней при различных температурах.....	88
3.1.3. Разработка и анализ комплексной компьютерной модели влияния параметров кормления и микроклимата на откорм свиней.....	90
3.2. Выбор структуры и программно-математического обеспечения адаптивного управления откормом свиней.....	92
3.3. Возможности построения интегрированных систем в свиноводстве.....	103
3.3.1. Разработка структуры и алгоритма двухуровневой модели системы управления производственным участком промышленного свиного комплекса.....	106
3.3.2. Примерная структура базы данных цеха откорма свиного комплекса.....	109
3.3.3. Разработка лабораторной модели двухуровневой системы управления участком откорма.....	111
Выводы по главе 3.....	115
Список литературы к главе 3.....	117

<b>ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОТОЧНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И РАЗДАЧИ ЖИДКИХ КОРМОВ ДЛЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ БЕЛАРУСИ</b> .....	120	5.2. Алгоритм расчета рационов.....	185
4.1. Разработка новых схем и режимов технологических процессов приготовления и раздачи жидких кормов.....	120	5.3. Компьютерная программа балансирования рациона кормления.....	189
4.1.1. Основные требования к параметрам технологических процессов приготовления и раздачи жидких кормов.....	120	5.4. Компьютеризированный мобильный кормосмеситель-раздатчик (кормоцех на колесах).....	193
4.1.2. Экспресс-оценка влажности жидкого корма по величине осадка.....	125	5.5. Роботизация процесса доения коров.....	199
4.1.3. Дискретно-непрерывный дозатор комбикорма.....	130	Список литературы к главе 5.....	206
4.1.4. Модернизация технологического оборудования раздачи жидких кормов.....	136	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	208
4.2. Модернизация микропроцессорной системы управления поточной линией приготовления жидких кормов.....	143		
4.3. Разработка микропроцессорной системы управления поточно-механизированной линией раздачи жидких кормов.....	152		
4.4. Программно-информационное обеспечение диагностики технологического оборудования ПМЛ.....	159		
4.5. Оценка энергозатрат на раздачу жидких кормов различной влажности.....	166		
4.6. Роботизированное оборудование для откорма свиней с возможностью дистанционного контроля и управления с использованием глобальной сети Интернет.....	171		
Выводы по главе 4.....	176		
Список литературы к главе 4.....	177		
<b>ГЛАВА 5. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ</b> .....	181		
5.1. Математическая модель сбалансированного кормления КРС.....	181		

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ состояния и перспектив развития показывает, что, в виду высокой сложности аграрного производства, получение конкурентоспособной продукции без новейших информационных наукоемких технологий невозможно. При этом важно помнить известную аксиому «...выигрывает не тот, кто первым изобрел, а тот, кто первым внедрил разработку в производство». Сверхвысокие темпы научно-технического прогресса, характерные для информационного общества, выявили полную несостоятельность организационной структуры с практически независимым существованием науки, образования и производства. Особенно пагубным, на наш взгляд, является организационный разрыв между научно-исследовательскими институтами и высшими учебными заведениями. Ведь очевидно, что только совмещение функций разработки и преподавания позволяет посредством подготовки новых специалистов достичь максимально возможных скоростей и объемов внедрения нововведений в производство.

Чтобы обеспечить активное энергосбережение, необходимо не просто установить экономичные устройства, но и управлять ими, используя только необходимое количество энергии. Именно фактор управления имеет решающее значение для достижения максимальной эффективности.

Особую роль приобретает интеллектуальное управление биотехническими системами сельскохозяйственного производства. Аккумулятором знаний о системе становится программное обеспечение, так называемый «SOFT», выступая главной интеллектуальной и финансовой составляющей любого современного оборудования. Производство программного обеспечения, а не металлоконструкций позволяет снизить энергоемкость ВВП и интеллектуальную зависимость.

Автоматизация в сельскохозяйственном производстве часто более сложная, нежели в промышленности. Это связано с взаимодействием с биологическими объектами, что вызывает необходимость одновременного контроля по нескольким параметрам, разным по своей физической величине, и требует повышения надежности системы. Наличие агрессивной среды не позволяет в ряде случаев

простой перенос средств из промышленной автоматике. Производственные процессы рассредоточены на больших расстояниях, зависят от конкретных зональных и климатических условий. Многие параметры зависят от случайных факторов. Надежность, адаптивность (гибкость), возможность управления разнородными объектами и построения распределенных многоуровневых систем – вот основные требования, предъявляемые к современным системам управления. Наиболее полно соответствуют перечисленным требованиям системы управления, выполненные на базе микропроцессорной техники. Инженеры агропромышленного комплекса должны быть готовы к использованию новых технологий широкому внедрению АСУТП на базе электроники и микропроцессорной техники.

## ГЛАВА 1. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В современном мире все больше функций управления, сбора, передачи и хранения информации человек перелажает на разнообразные программно-технические устройства. Так, для управления разнообразным технологическим оборудованием и процессами, которые должны осуществляться экономически выгодно и безопасно, применяется специализированный компьютер, называемый программируемым контроллером. В последние годы программируемые контроллеры получили широкое распространение в различных отраслях экономики и кардинально изменили технологию управления благодаря относительной дешевизне, вычислительной мощности, адаптивности и надежности.

### 1.1. История развития программируемых контроллеров

Сложность создания систем автоматизации, будь это или новое производство, или модернизация устаревших систем управления действующими технологическими процессами и установками, связана с отсутствием четкой постановки задачи, появлением новых условий и требований в процессе разработки и внедрения. Эти особенности привели к необходимости создать управляющее устройство, алгоритм работы которого можно было бы менять, не переделывая монтажную схему и аппарат управления. В результате возникла логичная идея заменить системы управления с «жесткой» логикой работы (совокупность реле, регуляторов, таймеров, счетчиков и т. п.) на автоматы с программно заданной логикой работы. Так родились программируемые логические контроллеры (ПЛК) – специализированные микроЭВМ, предназначенные для построения систем управления технологическими процессами и установками. Впервые ПЛК были применены в США для автоматизации конвейерного сборочного производства в автомобильной промышленности (1969 г.) [1, 2, 6]. В России первый программируемый контроллер был создан во Всесоюзном научно-исследовательском

институте релестроения (ВНИИР, Чебоксары) в 1978 г. Логический контроллер Б-9605 имел модульную конструкцию, что позволяло варьировать число входных/выходных сигналов. Процессор контроллера был выполнен на интегральных микросхемах 155 серии и имел пользовательскую память объемом 4 КБ для размещения прикладных программ.

Короткая история и многоплановость применений современной микропроцессорной техники привели к неоднозначности понимания самого термина «микропроцессорный программируемый контроллер». В качестве синонимов часто используются следующие определения: программируемый контроллер, промышленный контроллер, микропроцессорный контроллер или компьютеризированный контроллер. Так чем же отличается промышленный контроллер от компьютера в промышленном исполнении?

Контроллер – это специализированный компьютер, предназначенный для построения систем управления технологическими процессами в жестких условиях реального производства. Отличительными особенностями этой специализации являются:

- простой интерфейс ввода с датчиков и вывода на исполнительные механизмы типовых электрических сигналов;
- циклический характер выполнения прикладных (управляющих технологических) программ;
- наличие операционной системы жесткого реального времени и специализированной системы программирования с набором графических и текстовых языков программирования, удовлетворяющих требованиям стандарта МЭК 61131-3 [7];
- частичное или полное пылевлагозащищенное исполнение с возможностью размещения внутри и вне шкафа управления.

Высокие потребительские качества промышленных контроллеров, главными из которых являются высокая функциональность и надежность, а также универсальность применения при невысокой стоимости, привели к их массовому внедрению во все отрасли промышленности и сельского хозяйства. Поэтому сейчас является актуальной для специалистов различных профилей, выступающих в роли заказчика, разработчика или пользователя, ликвидация безграмотности в области современных микропроцессорных систем управления [2].

Современный специалист должен уметь структурировать проектные решения как в терминах аппаратного, так и программного обеспечения, организации человеко-машинного интерфейса и обмена информацией между распределенными подсистемами с использованием идеологии локальных вычислительных сетей (ЛВС). В ИУС сравнительно легко вводятся новые алгоритмы управления путем замены программы, без перемонтажа и замены аппаратуры. Поэтому современные ИУС представляют собой принципиально новую технологию управления, обладающую большой гибкостью и новыми возможностями в повышении эффективности производства.

Такие информационно-управляющие системы имеют следующие особенности:

- характеризуются многократным (в сотни и тысячи раз) увеличением объемов перерабатываемой информации о состоянии объекта управления при принятии управленческих решений;
- строятся на базе микропроцессорных контроллеров общепромышленного применения, промышленных и персональных компьютеров, с встроенными вычислительными сетями, что позволяет создавать распределенные и многоуровневые системы управления;
- реализуют средствами программно-технического комплекса (ПТК) как информационно-вычислительные, так и управляющие функции (логическое и дисплейное управление, автоматическое регулирование, технологические защиты, блокировки и др.), т.е. впервые интегрированный программно-технический комплекс заменяет ранее информационно не связанные локальные подсистемы (КИП, автоматическое регулирование, дистанционное управление, технологические защиты и др.);
- основные функциональные задачи реализуются в виде прикладного программного обеспечения, при этом избыточные программно-технические возможности универсальных устройств управления можно использовать для функциональной диагностики технологического оборудования, что придает черты «интеллектуальности» системе управления и значительно повышает надежность выполнения технологических процессов.

Многочисленные производители программируемых контроллеров, среди которых такие известные бренды, как Siemens, Omron, Allen Bradley, Bernecker & Rainer (B&R) и другие предлагают

широкий продуктовый ряд изделий. Выбор определенного контроллера зависит от решаемой задачи, предыдущего опыта, качества фирменного сервиса и пр. Для понимания степени распространения программируемых контроллеров можно сослаться на данные фирмы GM, на предприятиях которой используются свыше 100 тыс. контроллеров в системах управления различным оборудованием.

## 1.2. Структура промышленного контроллера

Для сельскохозяйственного производства, особенностью которого является наличие постоянно изменяющейся биологической составляющей, возможность оперативного изменения параметров и алгоритмов управления особенно актуально.

Современные микропроцессорные контроллеры различных производителей имеют унифицированную аппаратную структуру (рис. 1.1). Выбор контроллера конкретного производителя носит достаточно субъективный характер и связан с предыдущим опытом, полученной информацией или удобным сервисом [6].

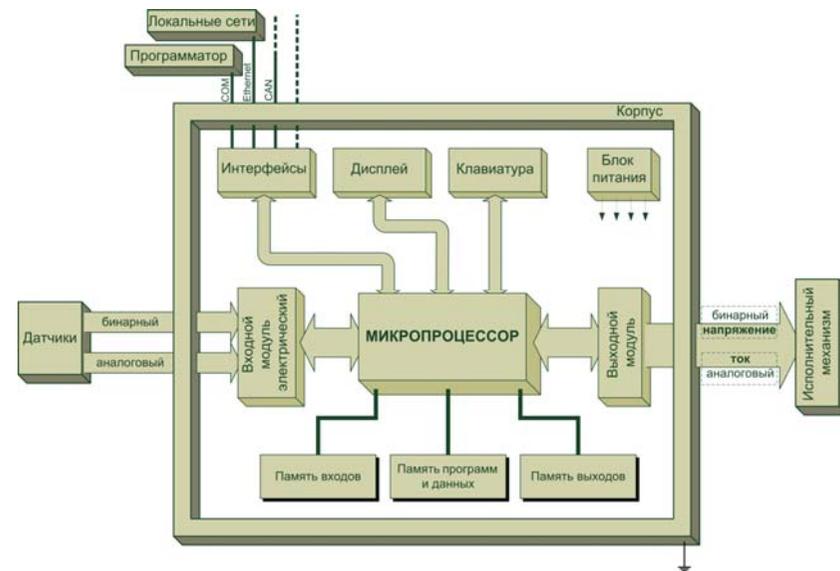


Рис. 1.1. Аппаратная структура промышленного контроллера

Микропроцессорный контроллер – устройство, предназначенное для построения автоматизированных систем управления технологическими процессами и базирующееся на микропроцессоре [2]. Можно сказать, что микропроцессорный контроллер – это специализированный компьютер, с развитым интерфейсом ввода/вывода электрических сигналов, приспособленный для работы в производственных условиях (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Основные блоки микропроцессорного контроллера и персональной ЭВМ

Микроконтроллер	ПЭВМ
1. Корпус	1. Корпус
2. Блок питания	2. Блок питания
3. Устройство ввода/вывода (клавиатура, дисплей, параллельный и последовательный порты и др.) + развитый интерфейс ввода/вывода электрических сигналов	3. Устройство ввода/вывода (клавиатура, дисплей, параллельный и последовательный порты и др.)
4. Процессор	4. Процессор
5. Память (ОЗУ, ПЗУ)	5. Память (ОЗУ, ПЗУ)
6. Сетевая плата (ЛВС)	6. Сетевая плата (ЛВС)

1. Корпус предназначен для обеспечения механического крепления и электрических соединений между элементами устройства и защиты от воздействия неблагоприятных климатических (пыль, влага) и электромагнитных воздействий.

2. Блок питания предназначен для обеспечения основных узлов микроконтроллера (ПЭВМ) необходимым стабилизированным напряжением и для защиты от проникновения по сети электромагнитных помех.

3. Устройство ввода/вывода предназначено для ввода/вывода информации в виде текста, графики, электрических сигналов.

4. Процессор – электронный блок либо интегральная схема (микропроцессор), исполняющая машинные инструкции (код программ), главная часть аппаратного обеспечения компьютера или программируемого логического контроллера.

5. Память (устройство хранения информации, запоминающее устройство) – часть вычислительной машины, физическое устройство или среда для хранения данных, используемая в вычислениях в течение определенного времени.

6. Сетевая плата обеспечивает возможность работы в локальных и глобальных вычислительных сетях.

Схожесть аппаратных решений для входных и выходных модулей со стандартными наборами дискретных и аналоговых сигналов значительно упростила для разработчика задачу технического обеспечения будущей системы управления [2].

Основные различия контроллера и ПЭВМ:

1. Технические составляющие контроллера выполнены с учетом обеспечения надежной работы в сложных условиях производственных помещений: влажность, пыль, загазованность, вибрации, сильные электромагнитные помехи.

2. В устройствах ввода/вывода контроллера имеется развитый интерфейс ввода/вывода электрических сигналов, т. е. в контроллер легко вводить информацию с датчиков, кнопок, контактов реле и т. д. С помощью контроллера легко включать/отключать различные исполнительные механизмы: реле, пускатели, электродвигатели, электронагреватели и т. д.

3. Микроконтроллеры работают под управлением ОС реального времени, т. е. прием и передача управляющих сигналов осуществляется с быстродействием реального объекта управления. (Пример 1. ТОУ – теплица. Объект инерционный, и требуемое быстродействие – секунды. Пример 2. ТОУ – токарный станок. Требуемое быстродействие – 0,1 мс).

Назначение микроконтроллера – построение АСУ ТП в различных отраслях народного хозяйства, т. е. микроконтроллер является универсальным устройством управления. Контроллер – универсальный черный ящик, который получает информацию о состоянии ОУ в виде электрических сигналов от различных датчиков и на основе прикладной программы генерирует электрические сигналы, которые через различные исполнительные механизмы изменяют состояние ТОУ.

Развитый интерфейс ввода/вывода электрических сигналов обеспечивает простоту принципиальных схем подключения унифицированных датчиков и исполнительных механизмов как дискретных,

так и аналоговых. Причем датчики и исполнительные механизмы и схемы их подключения являются достаточно консервативной (редко изменяющейся) частью системы управления. Легко изменяемой частью системы управления является прикладная программа, реализующая задаваемый алгоритм управления. Для написания управляющих технологических программ существует набор систем и языков программирования, не требующих специальных знаний на уровне аппаратного функционирования микропроцессорного контроллера.

### 1.3. Типовые схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов

Для обеспечения поступления информации о состоянии объекта управления необходимо подключить различные датчики параметров технологических процессов к входам контроллера. Датчики можно разделить на датчики с унифицированным выходом и специализированные. Унифицированные выходы включают три типа: выход типа «ключ»; непрерывный, с информационным сигналом в виде тока, напряжения или частоты импульсов; сетевой, когда для передачи данных используются протоколы локальных вычислительных сетей. Если датчик не имеет унифицированного выхода, как, например, термометр сопротивления металлический ТСП, то необходимо наличие специализированных входных модулей в составе контроллера.

Широко распространены датчики с выходом типа «ключ», т. е. имеющие два состояния: технологический параметр достиг заданного значения или нет. В качестве примера можно привести датчики конечного положения с выходом в виде механического контакта или транзисторного ключа. Такие датчики называют бинарными, или дискретными. Схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов к программируемым контроллерам унифицированы. Дискретные входы (Discreet Input, DI), как правило, рассчитаны на напряжение 24 В и потребляют ток в диапазоне 8–10 мА (рис. 1.2).

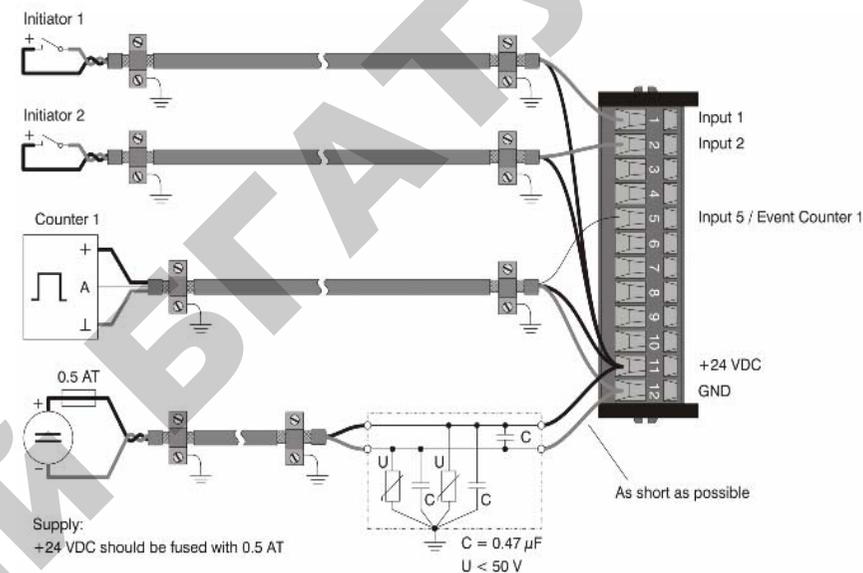


Рис. 1.2. Пример подключения внешних устройств (датчиков) к дискретным входам контроллера

При замыкании контакта *Initiator 1*, напряжение 24 В поступает на дискретный вход контроллера *Input 1*. В этом случае операционная система контроллера записывает в соответствующую однобитовую ячейку памяти входов состояние входа *Input 1* как лог.1 (*True*), при размыкании контакта *Initiator 1* и отсутствии напряжения на входе записывается состояние логической 0 (*Falsche*). Такие типы сигналов являются широко распространенными. Причем в качестве источника дискретного сигнала может выступать не только механический контакт, имеющий два состояния (замкнут/ разомкнут), но и любой электронный прибор. Таким прибором наиболее часто является транзистор в ключевом режиме. Но обычные дискретные входы контроллеров рассчитаны на сигналы, длительность которых должна превышать время выполнения цикла прикладной программы. Цикл выполнения программы является внутренней характеристикой конкретного контроллера и может изменяться в широких диапазонах, например, 10–500 мс. Если необходимо воспринимать информацию с датчиков, имеющих высокочастотный

импульсный выход (*Counter 1*, см. рис. 1.2.), например, в диапазоне 0–2000 кГц, используются специализированные входы контроллера, способные работать в режиме высокочастотного счетчика. Таким образом, подключение датчиков с дискретным сигналом является достаточно тривиальной задачей, не требующей глубоких знаний электроники.

Пользователь имеет доступ только к клеммникам контроллера, однако полезно владеть информацией о входном каскаде, который и осуществляет первичную обработку сигнала (рис. 1.3).

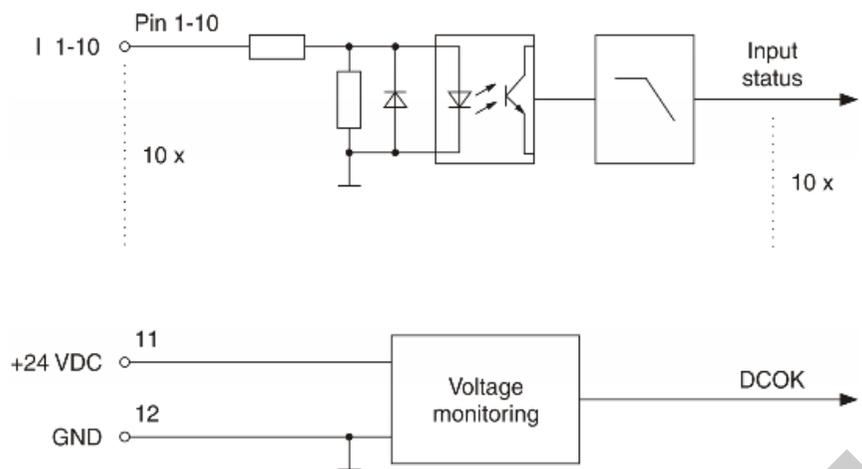


Рис. 1.3. Типовая схема первичного каскада дискретного входа

Связь внешних электрических сигналов с внутренней схемой контроллера осуществляется через оптрон. Наличие гальванической развязки препятствует проникновению внешних помех во внутренние электрические схемы контроллера и повышает надежность его функционирования.

Для подключения внешних исполнительных механизмов, имеющих два состояния (включено/выключено), используются унифицированные дискретные выходы (*Discreet Output, DO*). В качестве выходных каскадов обычно используются транзисторные ключи, но возможно исполнение и с использованием релейных выходов. Транзисторные ключи рассчитаны на постоянное

напряжение 24 В, и к ним невозможно подключить катушку пускателя на 220 В, что требует использования промежуточных реле. Однако транзисторные выходы значительно дешевле, компактнее и надежнее (рис. 1.4).

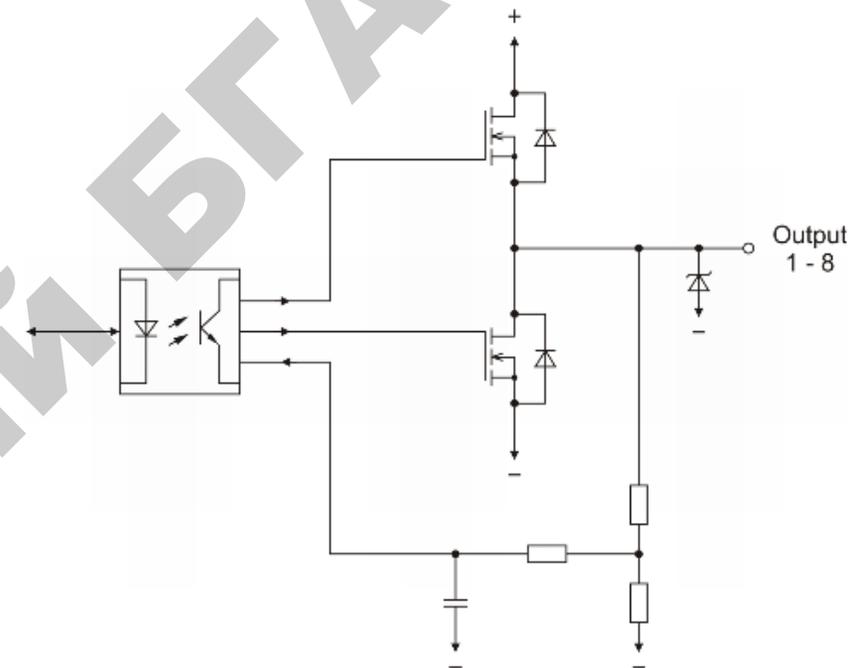


Рис. 1.4. Типовая схема дискретного выхода контроллера с транзисторным ключом

Сигнал с внутренней схемы контроллера, принимающий два значения: «лог.1» – включить исполнительный механизм или «лог.0» – выключить исполнительный механизм, поступает через оптрон на транзисторный ключ. Оптон обеспечивает гальваническую развязку внутренних и внешних схем контроллера и тем самым повышает его помехозащищенность. Типовая нагрузка, на подключение которой рассчитаны дискретные выходы, имеет параметры 24 В; 0,5 А. Подключение нагрузки к выходам контроллера осуществляется через клеммные колодки (рис. 1.5).

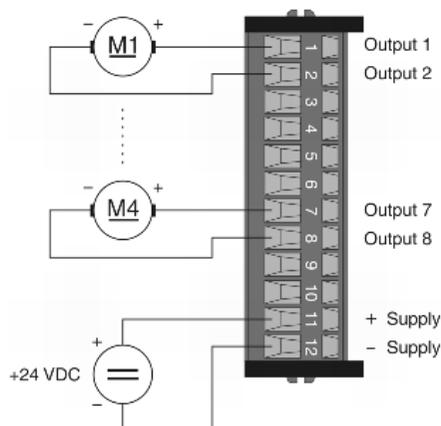


Рис. 1.5. Типовая схема подключения внешней нагрузки к дискретным выходам контроллера

В качестве примера программируемого контроллера, в базовой комплектации рассчитанного на подключение 16 дискретных входов и выходов, можно рассматривать панель-контроллер PP-35 австрийской фирмы V&R. Подключение входных и выходных сигналов осуществляется через клеммные колодки, расположенные на задней стороне панели (рис. 1.6).

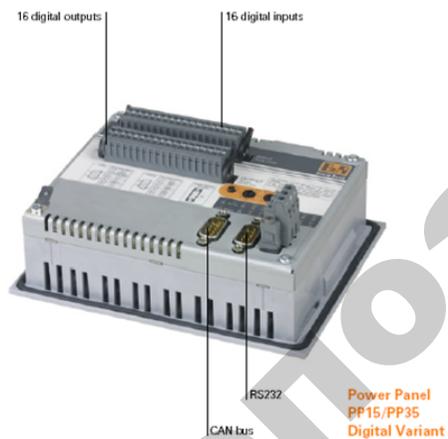


Рис. 1.6. Общий вид (сзади) панель-контроллера PP-35

Для приема информации с аналоговых датчиков с унифицированными сигналами 4–20 мА или 0–10 В используются специальные модули. Если для записи информации с дискретных датчиков достаточно однобитовой ячейки памяти (такие сигналы называют булевскими (bool)), то для записи аналоговых сигналов используют однобайтовые, двухбайтовые и многобайтовые ячейки памяти в зависимости от требуемого разрешения.

Таким образом, обеспечив передачу информации о состоянии технологического объекта с датчиков на контроллер и с контроллера на исполнительные механизмы, мы создали физическую основу системы управления. Следующий шаг – разработка программного обеспечения, реализующего необходимый алгоритм управления технологическим оборудованием.

#### 1.4. Языки программирования стандарта МЭК 61131-3

Схожесть аппаратных решений для входных и выходных модулей с стандартными наборами дискретных и аналоговых сигналов значительно упростила для разработчика задачу технического обеспечения будущей системы управления. Поэтому основная тяжесть разработки переносится в синтез программного обеспечения.

Разработка программ в любой автоматизированной системе, и в особенности для микропроцессорных систем управления технологическими процессами, является базисом, определяющим эффективность и трудоемкость всей разработки. Статистика отечественных и зарубежных разработок показывает, что стоимость разработки программ составляет 40–60 % всей разработки, включая стоимость технических средств. А эффективность функционирования информационно управляющей системы зависит от качества программного обеспечения на 70–80 %. Столь высокие показатели постоянно привлекают внимание исследователей к проблемам программирования. Здесь можно выделить два направления решения этой задачи.

Первое – это развитие языков программирования, включающее переход от машинных команд к ассемблерам, алгоритмическим и объектно-ориентированным языкам программирования высокого

уровня. Другим направлением в этой области является автоматический синтез программ.

С точки зрения функций, реализуемых программным комплексом, весь программный комплекс целесообразно разделить на операционную систему (ОС), систему программирования и прикладные программы.

Особенностью требований к ОС, используемым в контроллерах, является необходимость работы в масштабе реального времени и повышенная надежность. В последнее время многие фирмы, производители так называемых PC-совместимых контроллеров, используют модифицированные компьютерные ОС, такие как MS-DOS, Linux или Windows.

Основное назначение системы программирования – предоставление разработчику наилучших возможностей для создания и отладки прикладных программ. Роль системы программирования как элемента, определяющего, прежде всего, трудоемкость создания прикладных программ, постоянно возрастает. Существуют два класса систем программирования: универсальные типа CodeSys, или IsaGraf, и аппаратно-ориентированные. В качестве примера можно привести Step7 (Simens) или Automation Studio (B&R). Несмотря на значительное разнообразие систем программирования, стандарт МЭК 61131-3 определяет основные требования к языкам программирования контроллеров (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Базовые языки программирования промышленных контроллеров

Английский		Немецкий		Русский		Описание
Аббр.	Обозначение	Аббр.	Обозначение	Аббр.	Обозначение	
IL	Instruction List	AWL	Anweisungsliste	IL	Список инструкций	Текстовый язык. Ассемблероподобный язык.
LD	Ladder Diagram	KOP	Kontaktplan	PKC	Релейно-контактные схемы	Графический язык. Программная реализация релейно-контактных схем

Английский		Немецкий		Русский		Описание
Аббр.	Обозначение	Аббр.	Обозначение	Аббр.	Обозначение	
FBD	Function Block Diagram	FBS	Funktionsbaustein-Sprache	FBD	Функциональные блочные диаграммы	Графический язык. Каждый ФБ имеет входы (слева) и выходы (справа)
SFC	Sequential Function Chart	AS	Ablaufsprache	SFC	Последовательные функциональные диаграммы	Графический высокоуровневый язык. Создан на базе математического аппарата сетей Петри
ST	Structured Text	ST	Strukturierter Text	ST	Структурированный текст	Текстовый паскалеподобный язык программирования

Прикладная программа учитывает и алгоритм управления, и используемые аппаратные средства и в полной мере реализует возможности микропроцессорных систем управления. Необходимость интеграции знаний технолога, программиста и электроника определяет перспективность использования для разработки прикладных программ языков высокого уровня. В конечном итоге именно прикладная программа является коммерческим продуктом даже с учетом того факта, что при непосредственном управлении технологическим оборудованием она является, несомненно, аппаратно ориентированной. При этом существенным является выбор языков программирования [7]. Графические языки типа языка релейно-контактной символики (LD) или язык функциональных блоков (FBK) обладают наглядностью схем и соответствуют опыту аппаратного построения алгоритмов управления. Но применение текстовых алгоритмических языков типа Automation Basic (AB) или Structured Text (ST) имеет очевидные преимущества за счет математического описания алгоритма управления, близкого к естественному

языку, и упрощения обмена информацией с системами верхнего уровня, использующими подобные алгоритмические языки [2, 6, 7].

Программируемость алгоритмов современных систем автоматизации и управления обеспечивает их чрезвычайную гибкость, а интегральное исполнение промышленных контроллеров делает их высоконадежными. Эти два компонента особенно важны для построения систем управления биотехническими объектами сельскохозяйственного производства [2].

Выбор конкретного языка программирования зависит от субъективного опыта разработчика. Инженеру, умеющему решать логические задачи управления с применением релейно-контактной логики, близок будет графический язык релейно-контактных схем LD. Специалисту в области транзисторной логики не составит значительных усилий написать программу на графическом языке функциональных блоков FBD. Эти языки постоянно развиваются, и на их базе может быть решена любая конкретная задача управления. Но наиболее мощными средствами решения логических и вычислительных задач управления и более близкими к естественному и понятному описанию алгоритма управления являются текстовые языки высокого уровня. К таким средствам программирования прикладных задач относятся алгоритмический язык STL (структурированный текст) и Automation Basic. По имеющейся статистике, свыше 60 % разработчиков прикладного программного обеспечения для задач управления технологическим оборудованием используют текстовые языки.

### 1.5. Основы алгоритмического языка Automation Basic

Эффективная разработка системы управления для нового или модернизируемого оборудования определяется интеграцией знаний технолога, экономиста, инженера и программиста. Совершенство алгоритма управления будет определяться успехом взаимодействия разноплановых специалистов, их способностью понимать друг друга и знанием возможностей программно-технических средств построения систем управления. Поэтому для всех вовлеченных в инновационные разработки специалистов необходимым элементом

становятся знания основ и возможностей программируемых систем управления. Как говорят лингвисты, изучив один иностранный язык, следующий изучать значительно проще. Так и в языках программирования систем управления технологическими процессами. Несмотря на естественные различия в используемых символах (текст или рисунок), особенности построения и написания в основе всех языков высокого уровня лежат базовые понятия, знание которых позволит и непрограммистам лучше понять возможности программируемых систем управления.

Во-первых, язык программирования является языком математического описания алгоритма управления технологическим оборудованием. И если первоначально программируемые контроллеры ориентировались на задачи логического управления (даже их первоначальное название – программируемые логические контроллеры (ПЛК)), то сейчас доступны для программирования все разделы математики, включая, естественно, и алгебру Буля. Чтобы подчеркнуть чрезвычайно мощные вычислительные возможности современных контроллеров, все чаще используется термин «компьютеризированный контроллер».

Если ставится задача логического управления, наглядным является использование графических языков программирования. При этом программа внешне напоминает принципиальную электрическую схему: релейно-контактную или электронную логику. Но использование текстовых языков программирования позволяет решать не только логические задачи на основе алгебры Буля, но и использовать весь арсенал математики, начиная с арифметики, включая интегральное и дифференциальное исчисление и базы данных. Причем текстовые программы основаны на понятных нам формах и правилах описания математических задач.

Познакомимся с основами программирования на примере алгоритмического языка Automation Basic. Этот язык входит, наряду с другими, в систему программирования Automation Studio, ориентированную на продуктовый ряд контроллеров фирмы B&R. Ключевыми понятиями любого языка программирования являются переменная, тип данных, действия над переменными (операторы языка) и правила написания (синтаксис) программы.

Переменная (variable) – это именованная ячейка памяти для хранения информации, например, состояния входов/выходов

контроллера, результаты промежуточных вычислений. Понятие «переменная» есть и в обычной математике. Но здесь значение каждой переменной хранится в памяти контроллера. А для того, чтобы обратиться к конкретным переменным, необходимо определить их имена (names). Есть несколько правил для имен переменных в V&R Automation Basic.

- Все переменные должны начинаться с символа (atozorAtoZ) латинского алфавита (кириллица недопустима).
- Остальная часть имени переменной может использовать символы, символы подчеркивания или цифры (от 0 до 9). Другие символы (типа знаков препинания или управляющих символов) не разрешаются.
- Максимальная длина имени переменной – 32 символа.
- Идентификаторы учитывают регистр. Это означает, что switch, Switch и SWITCH являются тремя различными переменными.
- Переменная должна быть непрерывной символьной цепочкой.
- Нельзя использовать в качестве имен переменных ключевые слова V&R Automation Basic, например, if, else, loop.

Согласно этому имена переменной правил типа: lamp\_1 и F\_int\$ являются правильными названиями.

Кроме формальных правил, есть несколько рекомендаций при выборе имен переменных, облегчающих процесс программирования:

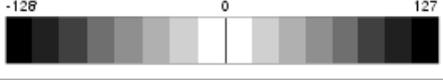
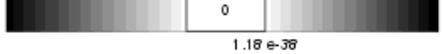
- имя переменной, которое используется, должно быть коротким описанием того физического параметра, которому соответствует конкретная переменная. Например, R – не говорит ничего, а Rasx\_vod – поясняет, не будучи громоздким, что это сигнал расходомера воды;
- используйте заглавные буквы или символы подчеркивания, чтобы разделить длинное название: TopLevelSwitch или top\_level\_switch лучше, чем toplevelswitch;
- используйте комментарий, чтобы описать переменную, особенно при неочевидных именах переменных.

Переменная (variable) нами определена как место хранения данных в памяти контроллера. Любая память имеет ограниченный объем, поэтому важно определить конкретный объем памяти, необходимый и достаточный для хранения значений конкретной переменной. Объем памяти определяется типом данных.

Каждая переменная имеет определенный тип. В V&R Automation Basic есть много различных типов. Тип описывает свойства переменной, то есть диапазон значений или точности числа, сохраненного в переменной, или какие операции являются возможными с этой переменной. V&R Automation Basic содержит следующие простые числовые типы данных: BOOL, USINT, UINT, UDINT, SINT, INT, DINT, REAL (табл. 1.3). Кроме того, есть специальные типы данных для того, чтобы отобразить строки символов (STRING), разницу во времени (TIME) и информацию о дате (DATE\_AND\_TIME).

Таблица 1.3

Типы данных языка Automation Basic

TYPE	SIZE (bits)	Numerical Range	Possible Applications
BOOL	1	0  1	digital values (on/off switches, lights), booleans
SINT	8	-128  127	very small numbers, ASCII characters
USINT	8	0  255	small numbers, status byte, full PC character set
INT	16	-32,768  32,767	counters, analog values (volts, temperature)
UINT	16	0  65,535	large numbers, time (milliseconds)
DINT	32	-2,147,483,648  2,147,483,647	very large numbers, up/down counters
UDINT	32	0  4,294,967,295	enormous distances time (microseconds)
REAL	32	-3.4 E+38  3.4 E+38 1.18 e-38	scientific numbers, IEEE standard, mathematics

*Тип переменной БИТ (BOOL).* Тип данных BOOL может содержать только два дискретных состояния: TRUE (ИСТИНА) или (лог.1) и FALSE (ЛОЖЬ) или (лог.0). Этот тип данных используется, прежде всего, чтобы хранить или определять состояния дискретных устройств (включено/выключено). Для хранения переменной типа BOOL (БИТ) достаточно однобитовой ячейки памяти.

*Типы целочисленных данных.* Переменная типа USINT (BYTE) БАЙТ может принимать целочисленные значения в диапазоне 0–255. Для хранения переменной типа USINT (BYTE) необходима однобайтовая (8 бит) ячейка памяти.

Переменная, имеющая тип данных UINT (WORD) СЛОВО (2 БАЙТА), может принимать целочисленные значения в диапазоне 0–65535 и т. д.

Типы данных SINT (INT8), INT (INT16), и DINT (INT32) могут использоваться, чтобы представить и положительные и отрицательные числа.

SINT (INT8) – в диапазоне –128...+127;

INT (INT16) – в диапазоне –32 768...+32 767.

*Тип данных с плавающей запятой (REAL).* В действительности, есть много параметров, которые выражаются нецелочисленными значениями, например, 34,25 А, или 0,85 В и т. п. Эти типы данных называют числами с плавающей запятой. Представление данных с плавающей запятой в B&R Automation Basic соответствует стандартному формату IEEE 754. Они имеют 3-байтовую мантиссу и 1-байтовую экспоненту.

*Тип данных ВРЕМЯ (TIME).* Тип данных ВРЕМЯ может использоваться, чтобы хранить интервалы времени. В памяти процессора интервал времени сохранен в миллисекундах в подписанном 32-разрядном значении. В режиме Monitor и в программе значение подразделено и отображено в днях, часах, минутах, секундах и миллисекундах.

*Тип данных ДАТА\_И\_ВРЕМЯ (DATE\_AND\_TIME).* Тип данных DATE\_AND\_TIME используется, чтобы хранить информацию о дате. Во внутренней памяти секунды, которые прошли начиная с 01.01.1970. 00:00, сохранены в 32-разрядном числе. Значение отображено в формате даты, который соответствует IEC61131-3.

При определении типа данных необходимо учитывать, что тип переменной должен соответствовать возможному изменению

диапазона ее значений: если переменная может принимать только два значения (0 или 1), то тип такой переменной должен быть определен как БИТ (BOOL). Неправильное определение типа переменной может привести к потере информации, к ошибочному и, возможно, к аварийному управлению. Так, если переменная принимает истинное значение 256, а тип ее определен как однобайтовый (до 255), то в переменной будет храниться ошибочное значение 1. В то же время чрезмерное завышение объемов памяти неэкономично, так как замедляет работу контроллера и снижает его возможности.

Таким образом, переменная в алгоритмических языках высокого уровня объединяет входные и выходные сигналы, а также результаты промежуточных вычислений. Для каждой вводимой в программу переменной обязательным является определение ее имени и типа. Физическую область и объем памяти, обновление данных определяет операционная система.

*Пример (Example).* Необходимо дозировать набор воды в бак для приготовления жидкого корма. Для измерения расхода воды использован электромагнитный расходомер с импульсным (весовым) выходом. Для управления потоком воды установлен электромагнитный клапан.

*Решение.*

Шаг 1. Обеспечиваем электрическое соединение выхода электромагнитного расходомера с дискретным входом контроллера, а дискретного выхода контроллера – с катушкой электромагнитного клапана.

Шаг 2. Присваиваем имена переменных и определяем их тип. Для входного сигнала с электромагнитного расходомера даем символьное имя gasx\_vod, а тип данного сигнала – bool. Для выходного сигнала управления открытия/закрытия электромагнитного клапана имя – klapap, тип – bool.

Кроме переменных, в программе, как и в обычной математике, могут использоваться постоянные числа. Например, необходимо задать объем воды в смесительной ванне, нормированное значение температуры в помещении, массы изделия и т. п.

*Константы (Constants).* Константа – число, которое не изменяет своего значения. Есть константы, определенные в системе или в библиотеках, и можно определить собственную, «определяемую

пользователем» константу. Константа должна иметь имя, соответствующее общим правилам для имен переменной.

Для реализации алгоритма управления над переменными необходимо осуществлять различные действия, определяемые операторами языка. V&R Automation Basic является мощным языком математического описания алгоритма управления технологическим оборудованием. К базовым операторам можно отнести следующие: арифметические операторы (Arithmetic Operators), логические и условные.

V&R Automation Basic обеспечивает стандартные арифметические функции (операторы):

- =; присваивание/равно,
- +; сложение,
- ; вычитание и отрицательное значение,
- ; умножение,
- /; деление.

Эти операторы могут использоваться на числовых переменных в выражениях для выполнения вычислений и должны быть помещены между двумя переменными (как в обычной математике).

*Пример (Example).* В процессе выполнения алгоритма необходимо сложить два постоянных числа (17 и 3) и результат сохранить.

Необходимо ввести три переменных и объявить их тип. Поскольку числа и результат их сложения меньше 255, то можно для всех переменных использовать тип данных USINT (BYTE).

*Решение:*

*Объявление переменных:*

*x: usint; комментарий, 1-я переменная*

*y: usint; 2-я переменная*

*result: usint; результат сложения*

*; текст программы*

*x = 17*

*y = 3*

*result = x + y*

*; Результат сложения 17+3 result = 20.*

*Пример (Example):*

*x = 3*

*y = 5*

*a = 10*

*b = 5*

*result = x\*y + a/b*

*result = 17.*

*Логические операторы (Logical Operators).* Есть небольшой, но важный набор операторов с булевыми значениями. Это операторы: not, and, or, xor, которые определяют классические логические функции – инверсия, логическое умножение (И), логическое сложение (ИЛИ) и исключающее ИЛИ.

*Пример (Example).* При нахождении рабочего органа в начальном положении и нажатии оператором на кнопку необходимо включить привод рабочего органа.

*Решение.*

Шаг 1. Обеспечиваем электрическое подключение датчика конечного положения рабочего органа и кнопки с нормально-разомкнуты контактом к дискретным входам контроллера, а к дискретному выходу контроллера подключаем привод рабочего органа.

Шаг 2. Присваиваем символьные имена переменным и определяем их тип.

*Dat\_Pol:bool; датчик положения рабочего органа.*

*кнопка\_Pusk:bool; кнопка «Пуск».*

*Privod:bool; электродвигатель привода рабочего органа.*

Шаг 3. Разрабатываем текст управляющей программы.

*; текст программы выделен жирным шрифтом*

***Privod = Dat\_Pol and кнопка\_Pusk;*** логическая функция И.

Таким образом, разработана система управления приводом рабочего органа, реализующая заданный алгоритм управления. Если изменится алгоритм управления, например, при условии срабатывания датчика конечного положения или нажатии на кнопку «Пуск», необходимо включить электродвигатель привода рабочего органа. Для этого достаточно изменить только текст программы, оставив электрические соединения без изменений.

*; текст программы*

***Privod = Dat\_Pol or кнопка\_Pusk;*** логическая функция ИЛИ.

Язык Automation Basic предусматривает возможность использования также операторов отношения (RelationalOperators).

Операторы отношения:

= < > >= < <=

Эти операторы нужны для того, чтобы оценить выполнение условий. Результат их использования является всегда истинным или ложным.

*Пример (Example).*

Если переменная (variable) меньше, чем 10, то выполняется набор операторов в строках между [if (variable < 10) then] и [endif].

```
if (variable < 10) then
```

```
; набор операторов, которые обрабатываются при выполнении  
; этого условия
```

```
endif
```

*Условный оператор (Statement) if.*

оператор if (если) используется для проверки *условного выражения* на TRUE (ИСТИНА) или (лог.1) и FALSE (ЛОЖЬ) или (лог.0). Если *условное выражение* принимает значение TRUE(ИСТИНА) или (лог.1), то выполняются операторы в строках между then и endif. Если *условное выражение* принимает значение FALSE (ЛОЖЬ) или (лог.0), то выполняются операторы в строках после endif.

```
if (условное выражение) then
```

```
; выполняемый набор операторов
```

```
endif
```

Данный оператор имеет ключевое значение для изучаемого языка.

*Пример (Example).*

Пусть требуется реализовать двухпозиционный закон управления инфракрасной лампой обогрева поросят. При температуре выше 25 °С обогрев нужно выключить, при температуре ниже 20 °С обогрев нужно включить. Вводим переменные: IK\_Lamp типа BOOL; Temp\_Ob типа USINT. Пишем программу.

```
; текст программы
```

```
if (Temp_Ob > 25) then; проверяем 1-е условие задачи
```

```
IK_Lamp = 0; выключаем обогрев
```

```
endif
```

```
if (Temp_Ob < 20) then; проверяем 2-е условие задачи
```

```
IK_Lamp = 1; включаем обогрев
```

```
endif
```

Датчик температуры нужно подключить к входу контроллера, а инфракрасную лампу – к его выходу.

Продемонстрировав незначительную часть возможностей алгоритмического языка Automation Basic, мы показали для широкого круга специалистов, специально не изучавших программирование, связь обычного математического описания с текстом управляющей технологической программы. Программирование контроллеров общепромышленного применения становится массовым явлением. Ставится задача сделать доступным программирование технологам, не являющимся специалистами в области электроники и микропроцессорной техники. Построение эффективной системы управления технологическими процессами является сложнейшей задачей, требующей полного взаимопонимания разноплановых специалистов.

## 1.6. Интерфейсы «человек–машина» и «машина–машина»

Большинство современных систем управления технологическим оборудованием ориентировано на взаимодействие оператора и компьютера. Компьютер прекрасно справляется с монотонными и долговременными задачами, а человек обладает уникальными возможностями принятия управленческих решений в условиях неопределенности и нехватки информации.

### 1.6.1. Психологический аспект проблемы комплексного предоставления информации оператору

При исследованиях систем управления важно оценить возможности оператора. Психологический аспект деятельности оператора связан с оценкой того количества информации, которое он может принять и переработать в заданный временной интервал при конкретных условиях. Важность этого вопроса обусловлена тем, что человек в единицу времени способен воспринять

лишь ограниченное количество информации, в то время как с увеличением сложности управляемых объектов предоставляемое ее количество резко возрастает. В связи с этим для надежного функционирования систем «человек–машина» оказывается необходимым планомерный учет как объективных, так и субъективных факторов, влияющих на скорость переработки информации человеком [5].

Экспериментально установлено, что для заданных условий с увеличением количества представляемой информации, определенного по Хартли, время  $T_n$  ее переработки человеком линейно возрастает (рис. 1.7).

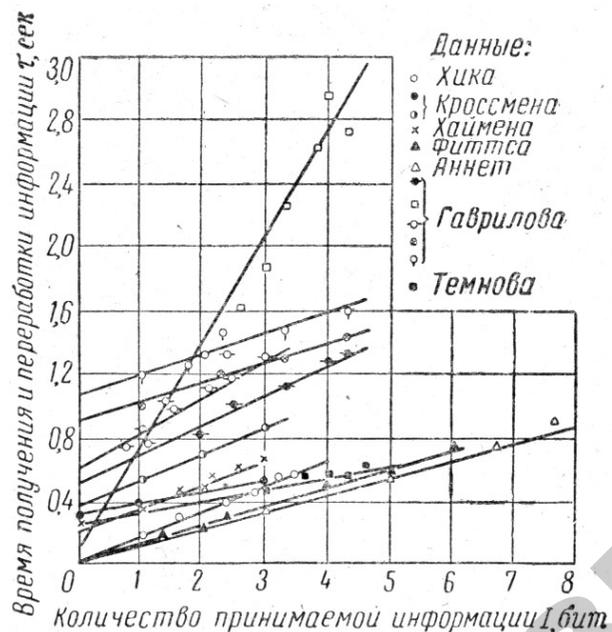


Рис. 1.7. Зависимость времени отдельного действия человека от количества предоставляемой информации, полученная в различных экспериментах

При этом величину  $\lambda = I / T_n$ , обратную крутизне зависимости  $T_n = f(I)$ , определяют как пропускную способность «сенсорного входа» человека по приему и переработке информации. В общем случае пропускная способность  $\lambda$  зависит не только от количества информации, но и от способов ее представления, целей и задач

оператора, субъективных и внешних факторов. Такое многообразие и разнородность аргументов обуславливает большие трудности в нахождении однозначных экспериментальных зависимостей и аналитической оценки пропускной способности оператора.

Однако очевиден тот факт, что в силу ограниченных возможностей оператора по восприятию и обработке информации скорость ее поступления  $V$  (бит в единицу времени) не должна превышать пропускной способности человека. Таким образом, неравенство  $V \leq \lambda$  есть необходимое условие надежной информационной связи человека-оператора с управляемой им системой. При соблюдении этого условия пропускная способность  $\lambda$  обеспечивает переработку текущего количества информации  $I$  в допустимый интервал времени  $T_{n \text{ доп}}$ , т. е.

$$\frac{I}{\lambda} = T_n \leq T_{n \text{ доп}} \quad (1.1)$$

Невыполнение условия (1.1) резко усложняет работу человека как приемника информации и приводит к различным неблагоприятным эффектам перегрузки, а именно к пропуску и ошибочному опознаванию сигналов и задержке в их передаче.

По мере роста поступающего количества информации перегрузка отчасти компенсируется фильтрацией потока информации параллельным включением дополнительных сенсорных каналов, но, в итоге, перегрузка приводит к прекращению восприятия. Последнее означает потерю связи между человеком и управляемой им системой вследствие значительного превышения скорости предъявления информации над скоростью ее переработки.

Перечисленные эффекты перегрузки наблюдаются при управлении большими системами, когда человеку-оператору приходится перерабатывать огромное количество информации, предоставляемое ему различными способами и средствами. В этих случаях для выполнения соотношения (1.1) приходится либо сокращать количество информации, поступающее в заданный временной интервал, либо увеличивать скорость ее переработки оператором. Последнее во многих случаях может быть достигнуто благодаря таким субъективным факторам, как степень обученности и тренированности. Экспериментальные кривые, приведенные на рис. 1.8 показывают

характер изменения времени  $T_n$  переработки заданного количества информации и величины пропускной способности  $\lambda$  от времени обучения  $\tau$ .

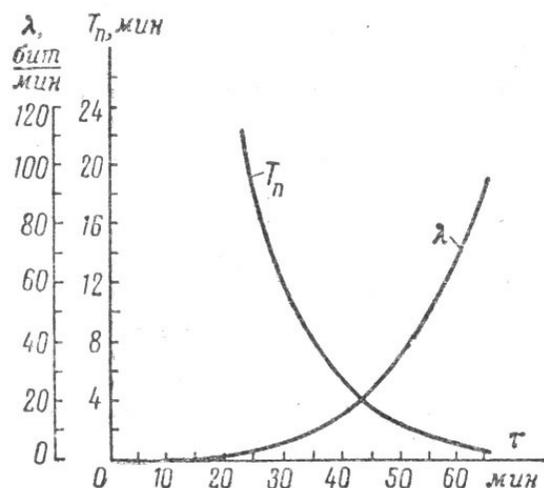


Рис. 1.8. Зависимость пропускной способности  $\lambda$  и времени  $T_n$  переработки заданного объема информации от времени обучения

Зависимости получены на основании лабораторного эксперимента, в котором процесс переработки информации заключался в установлении соответствия между комбинациями включаемых тумблеров и упорядоченным зажиганием ламп. При этом количество информации, перерабатываемой оператором, было постоянным и равным 117,5 бит.

### 1.6.2. Понятие о системах визуализации и сбора данных

Диспетчерское управление и сбор данных SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – процесс сбора информации в реальном времени с удаленных точек (объектов) для обработки, анализа и управления удаленными объектами. Требование обработки в реальном времени обусловлено необходимостью доставки (выдачи) всех необходимых событий (сообщений) и данных на центральный

интерфейс оператора (диспетчера) [1, 9, 10]. SCADA-системы – специализированные пакеты программного обеспечения для мониторинга и управления, предназначены для максимальной интеграции компонент промышленной автоматизации и разработки единых, «сквозных» технологий создания прикладных систем.

Именно использование SCADA-систем является основным и наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях. Именно на принципах диспетчерского управления строятся крупные автоматизированные системы в промышленности, энергетике, на транспорте, в космической и военной областях, в различных государственных структурах.

Таким образом, существенно повышается уровень эффективности и управляемости современного производства, в реальном времени обеспечивается постоянство информационных потоков, которыми могут воспользоваться все сотрудники предприятия – от диспетчера и сменного инженера до руководителей высшего звена. Особенности процесса управления в современных диспетчерских системах следующие:

- процесс SCADA применяется в системах, в которых обязательно присутствие человека (оператора, диспетчера);
- процесс SCADA был разработан для систем, в которых любое неправильное воздействие может привести к отказу (потере) объекта управления или катастрофическим последствиям;
- оператор несет, как правило, общую ответственность за управление системой, которая, при нормальных условиях, только изредка требует подстройки параметров для достижения оптимальной производительности;
- активное участие оператора в процессе управления происходит не часто и в непредсказуемые моменты времени, обычно в случае наступления критических событий (отказы, нештатные ситуации и пр.);
- действия оператора в критических ситуациях могут быть жестко ограничены по времени (несколькими минутами или даже секундами).

Основные требования, предъявляемые к SCADA-системам:

- надежность системы (технологическая и функциональная);

- безопасность управления;
- точность обработки и представления данных;
- простота расширения системы.

Существуют определенные требования безопасности и надежности SCADA:

- никакой единичный отказ оборудования не должен вызвать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на объект управления;

- никакая единичная ошибка оператора не должна вызвать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на объект управления;

- все операции по управлению должны быть интуитивно понятными и удобными для оператора (диспетчера).

Области применения систем диспетчерского управления:

- управление передачей и распределением электроэнергии;
- промышленное, в том числе сельскохозяйственное, производство;
- производство электроэнергии;
- водозабор, водоочистка и водораспределение;
- добыча, транспортировка и распределение нефти и газа;
- управление космическими объектами;
- управление на транспорте (все виды транспорта: авиа, метро, железнодорожный, автомобильный, водный);
- телекоммуникации;
- военная область.

Расследование и анализ большинства аварий и происшествий в авиации, на наземном и водном транспорте, в промышленности и энергетике показали, что, если в 60-е гг. XX в. ошибка человека являлась первоначальной причиной лишь 20 % инцидентов (80 % – технологические неисправности и отказы), то в 90-е гг. доля «человеческого фактора» возросла до 80 %. Причем, в связи с постоянным совершенствованием технологий и повышением надежности электронного оборудования и машин, доля эта может еще возрасти.

Основной причиной таких тенденций является старый традиционный подход к построению сложных автоматизированных систем управления, который часто применяется и в настоящее время: ориентация на применение новейших технических (технологических)

достижений, стремление повысить степень автоматизации и функциональные возможности системы и, в то же время, недооценка необходимости построения эффективного человеко-машинного интерфейса НМИ (Human–Machine Interface), т. е. интерфейса, ориентированного на пользователя (оператора).

Применение нового подхода в реальных космических и авиационных разработках и сравнительные испытания систем в NASA (США) подтвердили его эффективность, позволив увеличить производительность операторов, на порядок уменьшить процедурные ошибки и свести к нулю критические (некорректируемые) ошибки операторов.

В настоящее время в развитых зарубежных странах наблюдается настоящий подъем внедрения новых и модернизации существующих автоматизированных систем управления в различных отраслях экономики. В подавляющем большинстве случаев эти системы строятся по принципу диспетчерского управления и сбора данных. Характерно, что в индустриальной сфере (обрабатывающей и добывающей промышленности, энергетике и пр.) наиболее часто упоминается модернизация существующих производств именно SCADA-системами нового поколения.

Эффект от внедрения новой системы управления исчисляется, в зависимости от типа предприятия, от сотен тысяч до миллионов долларов в год, например, для одной средней тепловой станции он составляет, по подсчетам специалистов, от 200 тыс. до 400 тыс. дол.

Точная, своевременная, достоверная информация на уровне управления производством позволяет оценить издержки, качество и конкурентоспособность продукции. Система комплексной автоматизации WanderWare 2000 охватывает все уровни автоматизации, начиная от управления (inControl) и визуализации процесса (inTouch) и заканчивая уровнем непосредственного управления производственным процессом (inTrack, inBatch).

Все компоненты FactorySuite хорошо интегрированы на основе стандартных DDE-, OLE- и OPC-механизмов и разработанного фирмой Wonderware протокола SuiteLinIc. Ядром пакета FactorySuite является IndustrialSQL Server, который на каждом уровне тесно интегрирован с остальными компонентами FactorySuite. Кроме того,

FactorySuite тесно связан с Microsoft BackOffice-продуктами. Это означает, что все компоненты FactorySuite легко интегрируются с такими продуктами Microsoft, как Microsoft SQL Server, Windows NT Server, Systems Management Server, SNA Server и Mail Server, что существенно расширяет возможности всего производственного персонала, объединяя в масштабе предприятия производственные структуры с управленческими. Доступ к базе данных реального времени (Industrial SQL Server), традиционным реляционным базам данных (например, Microsoft SQL Server), использование ActiveX объектов, API-функций возможны как с уровня управления (Control), обеспечивающего сбор данных от различных датчиков через устройства сопряжения, так и с уровнем визуализации HMI (Human-Machine Interface) и планирования ERP (Enterprise Resources Planning systems). Сам процесс поступления информации на производстве происходит и «сверху», и «снизу». «Сверху» формируется информация, отвечающая за работу предприятия в целом, осуществляется планирование производства.

#### *SCADA-система InTouch*

InTouch – широко известная и распространенная SCADA-система. Одной из многих причин широкой популярности данной системы является удачная реализация человеко-машинного интерфейса HMI и его эффективность в отношении функциональность/цена. HMI позволяет контролировать, управлять всеми объектами и системами, используя графические объекты. Он включает:

- отображение параметров управления сигналами;
- отображение текущих и исторических трендов;
- отображение и регистрацию аварийных сигналов.

Графические объекты могут быть анимированы с использованием следующих динамических атрибутов: цвет, положение, движение, мигание, заполнение и др. InTouch позволяет организовать взаимодействие с другими приложениями, используя следующие средства: стандартный DDE-обмен, OLE-технологии, OPC-программы (OLE for Process Control – OLE для управления процессами). Исполнительная система InTouch поддерживает базу данных текущих значений процесса. Эти значения могут отражать заданные точки контроля устройств, представляющие параметры физического объекта, или точки, представляющие расчетные значения.

Значения параметров собираются и обрабатываются на одном или большем количестве компьютеров, использующих распределенную структуру программного обеспечения. Автоматически выполняются преобразования инженерных единиц собранных данных и обратные преобразования инженерных единиц для задания управляющих установок. Поддерживаются следующие типы данных: переменные ввода/вывода, вещественные числа, целые числа, дискретные числа, строковые переменные, суперпеременные (подобие структур). Также InTouch предоставляет набор инструментов для графического отображения состояния процесса.

InTouch позволяет организовать взаимодействие с другими приложениями, используя стандартные средства:

– DDE-обмен. Большинство разработанных серверов ввода/вывода поддерживают именно DDE-обмен для передачи данных в InTouch-приложение. Обычные приложения, самое популярное из которых Excel, также используют DDE механизм;

– OLE-технология. Используется для взаимодействия с некоторыми компонентами FactorySuite и другими пользовательскими приложениями;

– OPC-программы. Уже появились OPC-серверы, иницирующие передачу данных по новому протоколу. SCADA-система InTouch имеет встроенные механизмы интеграции с другими компонентами FactorySuite. Эти механизмы используют как указанные стандартные протоколы, так и собственный, разработанный фирмой Wonderware, протокол SuiteLink. В этом протоколе введена концепция меток времени и качества информации, выставяемых серверами ввода/вывода. В целом InTouch удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым в настоящее время к SCADA-системам.

#### **Система управления производством InTrack**

InTrack – универсальная система управления производством (MES – Manufacturing Execution Systems).

Эта система позволяет разработчику писать прикладные программы управления производством, моделируя и прослеживая каждую стадию производственных процессов от загрузки сырья до выпуска готовой продукции. В основе прикладных программ лежит работа с окнами, сценариями и библиотекой мастер-объектов, около 40 из которых разработаны специально для MES-систем. Среди

этих объектов – производственные цепочки, операции, материальные ресурсы и продукты и т. д. Схемы производственных процессов создаются в специальном графическом редакторе. С помощью InTrack можно определять и моделировать процессы, автоматизировать сбор данных, устанавливать очередность работ. Использование DDE-обмена и OLE-технологии позволяет организовать связь с различными устройствами ввода/вывода (например, устройств со считывателями штрихкодов), а также с системами верхнего уровня MRP – системами планирования ресурсов предприятия.

*Система управления процессами дозирования и смешения InBatch*

Wonderware InBatch – это гибкая, поддерживаемая и масштабируемая программа управления, специально разработанная для моделирования и автоматизации процессов дозирования и смешения. При помощи InBatch пользователи в металлургической, химической, пищевой промышленности могут моделировать свои процессы, создавать рецепты, имитировать исполнение рецептов, сопоставляя их с моделью, управлять реальным процессом, пользуясь моделью для справок.

**Особенности и преимущества управления периодическим процессом.** Поэтапное управление периодическим процессом заложено в его модель, что исключает необходимость написания собственного программного кода и резко снижает объем инженерных работ по сопровождению системы при эксплуатации. К конкретным функциям относятся краткосрочное планирование, инициализация партий, управление циклами и этапами периодического процесса, статистика периодических процессов и составление отчетов.

*Удобный графический интерфейс пользователя.* Технологи могут разрабатывать рецепты, используя удобный графический интерфейс пользователя, что ускоряет поступление продукта на рынок.

*Моделирование процесса.* Технологическая и информационная модель, созданная в InBatch, описывает возможности оборудования и технологических процессов, состав реквизитов, наиболее полно удовлетворяющих потребности специалистов предприятия в информации. Модель позволяет быстро изменить конфигурацию технологического процесса и системы управления при переходе на другой вид продукции.

*Управление рецептами.* Рецепты в системе InBatch создаются путем выборки возможностей оборудования и технологических процессов предприятия из моделей процессов. Рецепты вводятся в виде *Основных Рецептов* (не зависящих от оборудования и технологии) и преобразуются в *Контрольные Рецепты* (зависящие от оборудования) во время выполнения программы. Управление рецептами распространяется также на потребности в оборудовании, ввод материалов, вывод материалов и процедуры.

*Интеграция с InLouch.* InBatch обеспечивает простую (plug-and-play) интеграцию с InTouch. Это предоставляет оператору возможность использования интерактивного графического интерфейса для мониторинга и управления периодическим процессом. inBatch поставляется в комплекте с предварительно конфигурированными вспомогательными средствами (Мастер-объектами) для работы с InTouch, готовыми к работе экранами, сценариями и прикладными программами.

Новый важный компонент в спектре систем управления и контроля от B&R – это GENESIS32: программный пакет SCADA. Партнерский контракт с компанией Iconics (США) дает B&R всемирные коммерческие права на этот современный программный пакет. Вместе с широкой серией промышленных PC от B&R пользователь получает решения для автоматизации производства с новой перспективой в области визуализации. «OPC-ядро» – вот ключ к GENESIS32. OPC (OLE for Process Control – связь и внедрение объектов для управления технологическим процессом) – это новый открытый промышленный стандарт для систем автоматизации. Он основан на объектной модели программных компонентов Microsoft (общая объектная модель, COM) и распределенной объектной модели программных компонентов (DCOM). Это обеспечивает универсальную основу для соединений между программными и аппаратными компонентами автоматизации.

GENESIS32 является комплексом 32-разрядных приложений для Windows 95, Windows 98 и Windows NT, построенных в соответствии со спецификацией OPC, который предназначен для создания программного обеспечения, сбора данных и оперативного диспетчерского управления верхнего уровня систем промышленной автоматизации. В состав GENESIS32 также входит среда разработки

и исполнения сценарных процедур VBA, обеспечивающая возможность разработки части программного обеспечения средствами Microsoft Visual Basic for Applications 6.0 (Visual Basic для приложений), входящего в популярный пакет MS Office 2000. Все программные компоненты реализованы на базе многопоточной модели и поддерживают технологию ActiveX. В состав GENESIS32 входят следующие клиентские приложения, соответствующие спецификации OPC: GraphWorX32, TrendWorX32, AlarmWorX32, ScriptWorX32.

Указанные приложения могут заказываться и применяться как в составе комплекса, так и автономно. Кроме того, фирма Iconics предоставляет перечисленные далее программные компоненты:

1. Серверы OPC:

- OPC-серверы, разработанные Iconics;
- OPC-серверы, разработанные третьими фирмами;
- Iconics GEN OPC-сервер.

2. Дополнительные приложения и инструментальные средства разработки:

- DataWorX32;
- Сервер регистрации данных в базах данных TrendWorX32 SQL Server;
- ActiveX ToolBox;
- ActiveX ToolWorX;
- OPC ToolWorX 2.2.

GENESIS32™ предлагает пользователю чрезвычайно мощный инструмент, позволяющий создавать графические интерфейсы пользователя, изображения системы и визуализацию машин. Он включает интеграцию импортированной графики, добавление элементов ActiveX и информационный обмен с другими пакетами программ (например, Microsoft Excel). Обширная и простая в использовании библиотека символов, использование символических имен, встроенного браузера тегов OPC и полная интеграция не требуют каких-либо других программных средств при создании приложений.

Объединяет средства разработки и просмотра графических мнемосхем автоматизированных рабочих мест оператора АСУ ТП. Мнемосхемы (экранные формы) могут создаваться как на основе встроенных средств рисования, так и управляющих элементов

ActiveX других производителей. Алгоритмы вторичной обработки данных и процедуры управления экранными формами могут разрабатываться в интегрированной среде разработки и исполнения сценариев VBA. GraphWorX32 является инструментальным средством, предназначенным для визуализации контролируемых технологических параметров и оперативного диспетчерского управления на верхнем уровне АСУ ТП, который полностью соответствует требованиям к клиенту OPC и поддерживает технологии ActiveX и OLE.

*Основные характеристики GraphWorX32:*

- многопоточное 32-разрядное приложение;
- возможность обмена данными с любыми серверами OPC;
- мощные инструменты для создания экранных форм и динамических элементов отображения;
- возможность встраивания элементов управления ActiveX и объектов OLE;
- встроенная среда редактирования сценарных процедур Microsoft Visual Basic for Applications 6.0;
- динамизация элементов отображения со временем обновления графической информации 50 мс;
- поддержка шаблонов экранных форм, содержащих наиболее часто используемые слои графических объектов;
- возможность встраивания в HTML страницы и другие контейнеры OLE (MS Word, MS Excel, MS Access и др.);
- возможность просмотра браузерами Internet, такими как MS Internet Explorer и др.
- обширная библиотека элементов отображения, ориентированных на построение мнемосхем промышленных объектов;
- поддержка графических слоев: один файл может содержать множество экранных форм;
- поддержка градиентов цветовой палитры, обеспечивающая возможность реализации объемной графики;
- возможность динамической смены источников данных во время исполнения посредством технологии псевдонимов;
- защита экранных форм паролем от внесения несанкционированных изменений;
- возможность встраивания графиков TrendWorX32 и журналов событий и тревог AlarmWorX32;

- средства импорта графических метафайлов (wmf)h растровых изображений (BMP);
- встроенный редактор выражений для выполнения математических, функциональных, логических и других операций над данными;
- возможность динамической смены источников данных во время исполнения посредством технологии псевдонимов;
- защита экранных форм паролем от внесения несанкционированных изменений;
- возможность встраивания графиков TrendWorX32 и журналов событий и тревог AlarmWorX32;
- средства импорта графических метафайлов (wmf)h растровых изображений (BMP);
- встроенный редактор выражений для выполнения математических, функциональных, логических и других операций над данными.

Перечень рассмотренных систем SCADA является далеко не исчерпывающим. Многие разработчики предлагают свои решения этой задачи. И здесь необходимо вспомнить российскую разработку – TRACE MODE. Выбор конкретной системы зависит не только от объективных данных конкретной SCADA, поскольку их возможности достаточно унифицированы, но и от конкретных привычек разработчика прикладной задачи, его опыта, имеющихся связей с фирмами-разработчиками и поставщиками программного продукта.

### 1.6.3. Интерфейс «машина–машина»

*Интерфейсы.* Одним из центральных, определяющих моментов в проектировании микропроцессорной системы является выбор совокупности унифицированных аппаратурных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации алгоритмов взаимодействия различных функциональных устройств АСУ ТП, иначе говоря, выбор интерфейса, или (в общем случае) совокупности интерфейсов для конкретной системы [4, 8]. Как правило, АСУ ТП строятся с использованием нескольких интерфейсов, например, интерфейса модулей микропроцессорного контроллера (собственно процессора, ОЗУ, ПЗУ, устройств ввода/вывода), интерфейса подключения периферийных устройств (датчиков информации,

объектов управления, стандартных периферийных устройств, устройств регистрации) и др.

Стандартизации в интерфейсе обычно подлежат: форматы передаваемой информации; команды и состояния; состав и типы линий связи; алгоритм функционирования; передающие и приемные электронные схемы; параметры сигналов и требования к ним; конструктивные решения.

Уточняя требования к интерфейсу при его выборе, исходят из необходимости обеспечения заданного быстродействия АСУ ТП в целом; области применения (сравните внутримашинный интерфейс-процессор – память при длине линий связи в доли и единицы метра и сетевой интерфейс микропроцессорной системы распределенного типа, отдельные устройства управления которой могут размещаться на расстояниях в десятки и сотни метров один от другого); необходимости минимизации стоимости; обеспечения простоты схемных и конструктивных решений; стандартизации процедуры обмена информацией независимо от скорости работы устройств; учета возможности и простоты наращиваемости системы, требований диагностики системы и т. п.

К основным характеристикам интерфейса относят: функциональное назначение; тип организации связей; принцип обмена информацией; способ обмена; режим обмена; количество линий; число линий для передачи данных; количество адресов; количество команд; быстродействие; длину линий связи; число подключаемых устройств; тип линии связи.

По функциональному назначению интерфейсы можно подразделить на магистральные (внутримашинные), внешние интерфейсы периферийных устройств, системные (интерфейсы локальных сетей).

По типу организации связей интерфейсы подразделяют на магистральные, радиальные, древовидные, радиально-магистральные.

По принципу обмена информацией: параллельная, последовательная и параллельно-последовательная передача информации.

По режиму обмена информацией: симплексный, полудуплексный, дуплексный и мультиплексный режимы обмена. Для случая связи двух абонентов в *симплексном режиме* лишь один из двух абонентов может инициировать в любой момент времени передачу информации по интерфейсу (рис. 1.9, а). Для случая связи двух

абонентов в *полудуплексном режиме* любой абонент может начать передачу информации другому, если линия связи интерфейса при этом оказывается свободной (рис. 1.9, б). Для случая связи двух абонентов в *дуплексном режиме* каждый абонент может начать передачу информации другому в произвольный момент времени (рис. 1.9, в). В случае связи нескольких абонентов в *мультиплексном режиме* в каждый момент времени связь может быть осуществлена между парой абонентов в любом, но единственном направлении от одного из абонентов к другому (рис. 1.9, г).

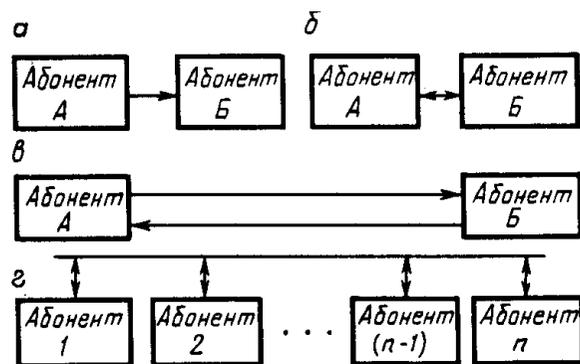


Рис. 1.9. Схемы симплексного (а), полудуплексного (б), дуплексного (в) и мультиплексного (г) режимов обмена информацией

По способу передачи информации во времени различают интерфейсы с синхронной передачей данных (с постоянной временной привязкой в цикле сбора информации) и с асинхронной (без постоянной временной привязки к определенному временному интервалу цикла сбора).

При синхронной передаче данных синхронизирующие сигналы микропроцессора задают определенный временной интервал, в течение которого считывается информация с одного датчика первичной информации. Временной интервал в данном случае определяется наибольшими временными задержками в системе передачи данных и максимальным временем преобразования измеренного сигнала в цифровой сигнал.

Асинхронная передача данных характеризуется наличием управляющих сигналов ГОТОВНОСТЬ К ОБМЕНУ, вырабатываемых

датчиком исходной информации, и НАЧАЛО ОБМЕНА, КОНЕЦ ОБМЕНА, КОНТРОЛЬ ОБМЕНА, вырабатываемых микропроцессором при необходимости сбора информации. При такой организации обмена автоматически устанавливается рациональное соотношение между скоростью передачи данных и временем задержки сигналов в каналах связи. Сигнал КОНТРОЛЬ ОБМЕНА является результатом решения задачи обнаружения сбоя в процессе передачи и обеспечивает распознавание сигнала помехи в канале передачи.

Последовательные интерфейсы, в частности наиболее популярный из них интерфейс RS-232, нашли широкое применение в модемах. Этот стандарт соединения оборудования был разработан в 1969 г. рядом крупных промышленных корпораций и опубликован Ассоциацией электронной промышленности США (Electronic Industries Association – EIA) как вариант «С» рекомендуемого стандарта (Recommended Standard – RS) номер 232. RS-232 разработан как стандарт для соединения компьютеров и различных последовательных периферийных устройств. Международный союз электросвязи ИТУ-Т использует аналогичные рекомендации под названием V.24 и V.28. Министерство обороны США выпустило практически идентичный стандарт Mil-Std-1880. В нашей стране подобный стандарт введен ГОСТ 18145–81.

Модификация «D» RS-232 была принята в 1987 г. В ней определены некоторые дополнительные линии тестирования, в качестве наиболее предпочтительного соединителя для рассматриваемого интерфейса рекомендован разъем типа DB-25.

Самой последней модификацией является модификация «E», принятая в июле 1991 г. как стандарт EIA/TIA-232E. В данном варианте нет никаких технических изменений, которые могли бы привести к проблемам совместимости с предыдущими вариантами этого стандарта. Материал данной главы основан на спецификациях, устанавливаемых стандартом EIA/TIA-232E.

Рекомендация V.24 содержит описание линий и набора сигналов обмена между DTE и DCE. В RS-232 используются другие обозначения линий, однако линии интерфейса RS-232 и рекомендации V.24 выполняют совершенно одинаковые функции. V.24 определяет большее количество линий, чем RS-232, поскольку стандарт V.24 используется и в других интерфейсах. В этом смысле RS-232

является подмножеством V.24. Рекомендация V.24 не определяет электрические характеристики (см. V.28) или другие физические аспекты реализации, такие как тип разъема, расположение контактов, длина кабеля и скорость обмена. Технические вопросы реализации интерфейса подробно изложены в стандарте V.28.

Рекомендация V.28 определяет только электрические характеристики интерфейса V.24, обеспечивающего работу по несимметричным двухполярным линиям обмена на скоростях до 20 Кбит/с. К таким характеристикам относятся уровни используемых сигналов, емкостное сопротивление и т. д. Данная рекомендация не содержит требований к длине кабеля, типу разъемов и расположению их контактов. Поэтому рекомендация V.28 может рассматриваться как подмножество стандарта RS-232. Стандарт RS-232 в общем случае описывает четыре интерфейсные функции:

- определение управляющих сигналов через интерфейс;
- определение формата данных пользователя, передаваемых через интерфейс;
- передачу тактовых сигналов для синхронизации потока данных;
- формирование электрических характеристик интерфейса.

*Сигналы интерфейса RS-232.* Интерфейс RS-232 является последовательным асинхронным интерфейсом. Последовательная передача означает, что данные передаются по единственной линии. Для синхронизации битам данных предшествует специальный стартовый бит, после битов данных следует бит паритета и один или два стоповых бита. Такая группа битов совместно со стартовым и стоповым битом, а также битом паритета носит название старт-стопного символа.

Каждый старт-стопный символ, как правило, содержит один информационный символ, например, символ американского стандартного кода для обмена информацией ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Символы ASCII представляются семью битами. Так, например, латинская буква А имеет код 1000001. Для передачи символов по интерфейсу RS-232 наибольшее распространение получил формат, включающий в себя один стартовый бит, один бит паритета и два стоповых бита. Соответствующий сигнал с уровнями ТТЛ при передаче буквы А показан

на рис. 1.10, а. Начало асинхронного символа всегда отмечает низкий уровень стартового бита. После него следуют 7 битов данных символа кода ASCII. Бит паритета устанавливается в «1» или «0» так, чтобы общее число единиц в 8-битной группе было нечетным (нечетный паритет – нечетность) или четным (четный паритет – четность). Последними передаются два стоповых бита, представленных высоким уровнем напряжения (рис. 1.10).

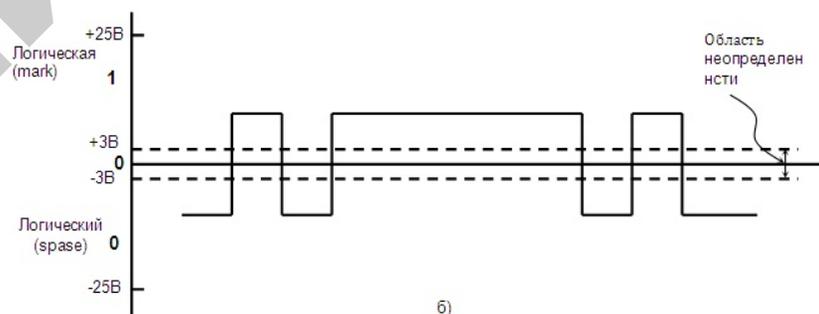


Рис. 1.10. Представление кода буквы А уровнями ТТЛ (а) и на сигнальных линиях интерфейса RS-232 (б)

Часто используются национальные расширения кода ASCII, который полностью включает в себя 128 стандартных ASCII-символов и дополнительно содержит еще 128 символов с единицей в старшем бите. Среди дополнительных символов используются буквы ряда европейских алфавитов, буквы греческого алфавита, математические символы и символы псевдографики. В России наибольшее распространение получила альтернативная кодировка ASCII. Число всех символов расширенного кода ASCII равно 256 и, следовательно, каждый такой символ кодируется восьмью битами

( $2^8 = 256$ ). Удобнее передавать каждый символ расширенной кодировки в виде отдельного старт-стопного символа. Поэтому часто используется формат, состоящий из одного стартового бита, восьми информационных и одного стопового бита. При этом бит паритета не используется. Таким образом, полный асинхронно передаваемый символ данных состоит из 10–11 битов при том, что собственно пользовательские данные состоят из 7–8 битов. Для приведенного примера старт-стопный символ, соответствующий букве А, состоит из 11 битов и записывается в виде 01000001011. Здесь используется четный паритет, поэтому девятый бит содержит 0.

В системах промышленной автоматизации применяются удаленные устройства сбора данных, которые передают и принимают информацию через центральный модуль, предоставляющий доступ к данным как пользователям, так и другим процессорам [4, 8, 9]. Типичными элементами подобных систем являются регистраторы данных и считывающие устройства. Почти идеальная линия передачи данных для этих целей определена стандартом RS-485, который предусматривает связь устройства сбора данных кабелем на основе витой пары.

Поскольку многие из устройств сбора и накопления данных в сетях RS-485 являются компактными автономными устройствами с батарейным питанием, для контроля за их тепловыделением и для увеличения срока службы батарей необходимо принятие мер по снижению их энергопотребления. Точно так же экономия энергии важна для носимых устройств и других приложений, в которых интерфейс RS-485 используется для загрузки данных в центральный процессор.

Стандарт RS-485 был совместно разработан двумя ассоциациями производителей: Ассоциацией электронной промышленности (EIA – Electronics Industries Association) и Ассоциацией промышленности средств связи (TIA – Telecommunications Industry Association). EIA некогда маркировала все свои стандарты префиксом «RS» (рекомендованный стандарт). Многие инженеры продолжают использовать это обозначение, однако EIA/TIA официально заменил «RS» на «EIA/TIA» с целью упростить идентификацию своих стандартов. На сегодняшний день различные расширения стандарта RS-485 охватывают широкое разнообразие приложений.

Стандарты RS-485 и RS-422 имеют много общего, и поэтому их часто путают. В табл. 1.4 для сравнения приводятся характеристики этих стандартов. RS-485, определяющий двунаправленную полудуплексную передачу данных, является единственным стандартом EIA/TIA, допускающим множественные приемники и драйверы в машинных конфигурациях.

Таблица 1.4

Стандарты RS-485 и RS-422

Параметр	RS-485	RS-422
Режим работы	Дифференциальный	Дифференциальный
Максимальная длина кабеля, м	200	1200
Минимальный выходной диапазон драйвера, В	$\pm 2,0$	$\pm 1,5$
Максимальный ток короткого замыкания драйвера, мА	150	250
Чувствительность по входу Rx, мВ	1200	1200
Диапазон напряжений входного сигнала Rx, В	$\pm 7$	от $-7$ до $+12$
Уровень логического нуля Rx, мВ	$< 200$	$< 200$

RS-422, с другой стороны, определяет единственный однонаправленный драйвер с множественными приемниками. Элементы RS-485 обратно совместимы и взаимозаменяемы со своими двойниками из RS-422, однако драйверы RS-422 не должны использоваться в системах на основе RS-485, поскольку они не могут отказаться от управления шиной.

*Защита от электростатических разрядов.* Дифференциальная передача сигнала в системах на основе стандартов RS-485 и RS-422 обеспечивает надежную передачу данных в присутствии шумов, а дифференциальные входы их приемников, кроме того, могут подавлять значительные синфазные напряжения. Однако для защиты

от значительно больших уровней напряжений, которые обычно ассоциируются с электростатическим разрядом (ESD), необходимо принимать дополнительные меры.

Заряженная емкость человеческого тела позволяет человеку уничтожить интегральную схему простым прикосновением к ней. Такой контакт может произойти при прокладке и подключении интерфейсного кабеля. Для защиты от таких разрушительных воздействий интерфейсные микросхемы Maxim включают так называемые ESD-структуры. Эти структуры защищают выходы передатчиков и входы приемников в приемопередатчиках RS-485 от уровней ESD с потенциалом до  $\pm 15$  кВ.

Чтобы гарантировать заявленную защиту от ESD, Maxim осуществляет многократное тестирование положительных и отрицательных выводов питания с шагом 200 В, для проверки последовательности уровней до  $\pm 15$  кВ. Устройства этого класса, отвечающие спецификациям модели человеческого тела (Human Body Model) или IEC 1000-4-2, маркируются в обозначении изделия дополнительным суффиксом «E».

Допустимая нагрузка драйвера RS-485/RS-422 количественно определяется в терминах единичной нагрузки, которая, в свою очередь, является входным импедансом одного стандартного приемника RS-485 (12 кОм). Таким образом, стандартный драйвер RS-485 может управлять 32 единичными нагрузками (32 параллельных 12-килоомных входа). Однако для некоторых приемников RS-485 входное сопротивление является более высоким – 48 кОм ( $1/4$  единичной нагрузки) или даже 96 кОм ( $1/8$  единичной нагрузки), – это означает, что к одной шине могут быть подключены сразу 128 или 256 таких приемников. Вы можете подключить любую комбинацию типов приемников, если их параллельный импеданс не превышает 32 единичных нагрузки (т. е. суммарное сопротивление не меньше 375 Ом).

Высокие скорости передачи требуют больших скоростей нарастания напряжения на выходах драйверов, что создает высокоуровневые электромагнитные помехи (EMI). Некоторые приемопередатчики RS-485 сводят EMI к минимуму, ограничивая их скорости нарастания. Относительно невысокие скорости нарастания также помогают контролировать отражения, вызванные быстрыми переходными процессами, высокими скоростями передачи данных

или длинными линиями связи. Основой для минимизации отражений является использование согласующих резисторов с номиналами, соответствующими волновому сопротивлению кабеля. Для обычных кабелей RS-485 (витая пара проводов 24AWG) это означает размещение 120-омных резисторов на обоих концах линии связи.

Система на основе RS-485, использующая приемники в одну единичную нагрузку (до 32 адресуемых устройств), может, например, иметь следующие биты: 5 битов адреса, 8 битов данных, стартовые биты (все кадры), стоповые биты (все кадры), биты четности (необязательные) и биты CRC (необязательные). Минимальная длина телеграммы для такой конфигурации – 20 битов. Для безопасных передач вы должны отправить дополнительную информацию, такую как размер данных, адрес отправителя и направление, которая увеличит длину телеграммы до 255 байт (2040 битов).

Когда скорость передачи данных высока и кабель имеет большую длину, в системе RS-485 трудно обеспечить сверхмалое потребление, поскольку возникает необходимость устанавливать на линии связи согласующие устройства (терминаторы). В этом случае приемопередатчики с функцией «истинной помехоустойчивости» на выходах приемников могут экономить энергию даже при использовании терминаторов, устраняя потребность в резисторах защитного смещения. Программная организация связи также позволяет снизить потребляемую мощность, переводя приемопередатчик в отключенное состояние или запрещая драйвер, когда он не используется. Для более низких скоростей и более коротких кабелей разница в энергопотреблении огромна. Передача данных со скоростью 60 Кбит/с по 30-метровому кабелю при использовании стандартного приемопередатчика SN75ALS176 со 120-омными согласующими резисторами потребует от системы электропитания ток силой 70 мА. С другой стороны, использование MAX3471 при тех же самых условиях потребует только 2,5 мА от источника питания.

CAN (Control Area Network) – последовательная магистраль, обеспечивающая увязку в сеть «интеллектуальных» устройств ввода/вывода, датчиков и исполнительных устройств некоторого механизма или даже предприятия. Характеризуется протоколом, обеспечивающим возможность нахождения на магистрали нескольких ведущих устройств, обеспечивающим передачу данных в реальном

масштабе времени и коррекцию ошибок, высокую помехоустойчивость. Система CAN имеет большое количество микросхем, обеспечивающих работу подключенных к магистрали устройств, разработку которых начала фирма BOSCH для использования в автомобилях, и в настоящее время широко используемых в автоматизации промышленности.

Стандарт	ISO 11898
Скорость передачи	1 Мбит/с (максимум)
Расстояние передачи	1000 м (максимум)
Характер сигнала, линия передачи	дифференциальное напряжение, скрученная пара
Количество драйверов	64
Количество приемников	64
Схема соединения	полудуплекс, многоточечная

- Предназначен для организации высоконадежных недорогих каналов связи в распределенных системах управления. Интерфейс широко применяется в промышленности, энергетике и на транспорте. Позволяет строить как дешевые мультиплексные каналы, так и высокоскоростные сети.

- Скорость передачи задается программно и может быть до 1 Мбит/с. Пользователь выбирает скорость, исходя из расстояний, числа абонентов и емкости линий передачи.

{PRIVATE}	25	50	100	250	500	1000	2500	5000
Расстояние, м								
Скорость, Кбит/с	1000	800	500	250	125	50	20	10

- Максимальное число абонентов, подключенных к данному интерфейсу, фактически определяется нагрузочной способностью примененных приемопередатчиков. Например, при использовании трансивера фирмы PHILIPS PCA82C250 она равна 110.

- Протокол CAN использует оригинальную систему адресации сообщений. Каждое сообщение снабжается идентификатором, который определяет назначение передаваемых данных, но не адрес

приемника. Любой приемник может реагировать как на один идентификатор, так и на несколько. На один идентификатор могут реагировать несколько приемников.

- Протокол CAN обладает развитой системой обнаружения и сигнализации ошибок. Для этих целей используется поразрядный контроль, прямое заполнение битового потока, проверка пакета сообщения CRC-полиномом, контроль формы пакета сообщений, подтверждение правильного приема пакета данных. Хемминговский интервал  $d = 6$ . Общая вероятность необнаруженной ошибки  $4,7 \cdot 10^{-11}$ .

- Система арбитража протокола CAN исключает потерю информации и времени при «столкновениях» на шине.

- Интерфейс с применением протокола CAN легко адаптируется к физической среде передачи информации. Это может быть дифференциальный сигнал, оптоволокно, просто открытый коллектор и т. п. Несложно делается гальваническая развязка.

Элементная база, поддерживающая CAN, широко выпускается в промышленном исполнении.

Таким образом, имеется многофункциональная общесистемная база построения компьютерных систем управления различными технологическими процессами и производствами.

### Выводы по главе 1

1. Программируемые контроллеры общепромышленного применения являются универсальной базой построения современных систем управления технологическими процессами, в том числе и биотехническими объектами сельскохозяйственного производства.

2. Новая технология переносит основную тяжесть разработки систем управления в синтез прикладного программного обеспечения. Для снижения трудоемкости разработки программного обеспечения созданы универсальные алгоритмические языки высокого уровня, выбор которых зависит от опыта конкретного разработчика.

3. Разработка систем управления технологическими процессами и оборудованием, несмотря на имеющиеся мощные общесистемные программно-технические средства, является наукоемкой задачей, требующей интеграции знаний разноплановых специалистов, включая технологов экономистов, схемотехников и программистов.

## Список литературы к главе 1

1. Олссон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Дж. Пиани. – СПб. : Невский Диалект, 2001. – 557 с.
2. Гируцкий, И.И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) / И.И. Гируцкий. – Минск : БГАТУ, 2002. – 277 с.
3. Зюбин, В.Е. Программирование ПЛК: языки МЭК 61131-3 и возможные альтернативы // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – № 11. – С. 31–35.
4. Овчинников, В.В. Техническая база интерфейсов локальных вычислительных сетей / В.В. Овчинников, И.И. Рыбкин. – М. : Радио и связь, 1989. – 268 с.
5. Темников, Ф.Е. Теоретические основы информационной техники / Темников Ф.Е. [и др.]. – М. : Энергия, 1971. – 424 с.
6. Пар, Э. Программируемые контроллеры : руководство для инженера / Э. Пар ; пер. 3-го англ. изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 516 с.
7. Петров, И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и интерфейсы / И.В. Петров. – М. : СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.
8. Передача данных в системах контроля и управления : практ. руководство / Дж. Парк, С. Макей ; пер. с англ. В.В. Савельева. – М. : ООО «Группа ИДТ», 2007. – 480 с.
9. Сбор данных в системах контроля и управления : практ. руководство / Дж. Парк, С. Макей, Э. Райт ; пер. с англ. В.В. Савельева, В.Ф. Кузнецовой. – М. : ООО «Группа ИДТ», 2006 – 504 с.
10. SCADA-система GENESIS 32 / // Современные технологии автоматизации (СТА). 2000. – № 2. – С. 78–84.

## ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ И КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОТКОРМА СВИНЕЙ

Достижения науки в области применения вычислительной техники, а также широкое применение электроники открыли новые перспективы компьютеризации производственных процессов сельскохозяйственного производства. Это послужило толчком как для разработки принципиально новых технологий и технических средств производства, так и для модернизации действующих сельскохозяйственных предприятий. В последнее десятилетие усилились научные и конструкторские работы по созданию и внедрению так называемых «точных технологий», основное преимущество которых заключается в повышении продуктивности животных и растений за счет точного соблюдения технологических режимов, создания комфортных условий для живых организмов и рационального использования имеющихся материальных и энергетических ресурсов. Основные усилия научных работников и конструкторов и в ближайшей перспективе будут направлены на создание комплексов программно-технических средств и оборудования, обеспечивающих существенное повышение продуктивности животных и улучшение качества продукции. При этом именно технологический эффект (увеличение продуктивности, улучшение качества продукции) следует рассматривать как важнейший фактор эффективности инноваций. Применение математического моделирования позволяет прогнозировать ожидаемый результат реализации инженерных решений и выбирать наилучший из них. Составление математических моделей, описывающих явления, происходящие при создании животноводческой продукции, – сложная задача. При ее решении необходимо рассматривать физиологические, биохимические, электрофизические процессы в живом организме.

Невыполнение научно обоснованных норм кормления и условий содержания животных является характерной чертой современного животноводства. Животноводство как объект управления включает биологические и технические подсистемы с множественными перекрестными связями. Нестационарность, распределенность

в пространстве и времени, биологические индивидуализм и гистерезис, другие особенности делают чрезвычайно сложной задачу оптимального управления. ПрIMITИзация управления приводит к неупорядоченности системы, которую количественно можно оценить через энтропию. Рост энтропии системы, обуславливающий увеличение неупорядоченности, как следует из теории управления, вызван недостатком информации о состоянии системы [1]. Применение аппарата теории информации к задачам организации предприятий промышленности дается в трудах академика Трапезникова и других авторов [30, 31]. Впервые вопросы использования информационной теории применительно к задачам животноводства рассмотрены в работах Крауспа В. Р. [16–19].

Информатизация животноводства предполагает необходимость поэтапного решения ряда задач. Первоочередной и фундаментобразующей задачей является информатизация управления технологическими процессами. Решение этой задачи позволяет упорядочить нижний уровень системы и обеспечить выполнение технологических требований. Решение этой задачи требует построения адекватных распределенных информационных моделей поточных технологических процессов. Оптимизация технологических параметров требует построения адекватных математических моделей, формализующих отклик животного на условия содержания и кормления. Особенно это актуально в связи с присущими животным в высокой степени индивидуализмом и гистерезисом (зависимость текущей продуктивности не только от реальных параметров, но и от предыдущих многолетних условий содержания и кормления).

Однако автоматизация уровня непосредственного управления технологическими процессами позволяет обеспечить локальную цель упорядочения содержания имеющегося в наличии поголовья. Животноводство является многооперационной системой, со значительным пространственным и временным распределением, нестационарными стохастическими связями между различными фазами производства. Применительно к промышленному свинокомплексу, необходимо адаптировать концепцию компьютерно-интегрированного производства. Концепция предполагает поэтапное построение трехуровневой структуры автоматизированной системы управления

(АСУ) производственного предприятия. Компьютеризация должна осуществляться по принципу «снизу-вверх». Автоматизация нижнего уровня на базе микропроцессорных контроллеров – наиболее трудо- и капиталоемкая часть. Этап связан с перестройкой мышления и обучением огромного числа людей, занятых непосредственно на производстве. Однако это необходимый фундамент, на базе которого возможно успешное решение задач среднего и верхнего уровней управления. Концепция исходит из невозможности одномоментной разработки столь сложных систем управления. Первоначально создаются локальные системы управления относительно автономными технологическими процессами, так называемые «отрочки автоматизации». Затем эти системы объединяются, обеспечивается их согласование с системами верхнего уровня.

Специфика современных проблем управления связана с высоким темпом перемен окружающего нас мира. Однако теперь мы располагаем инструментом, который может справиться с этой проблемой, ибо действует быстро и гибко. Это – компьютер и основанные на нем новые информационные технологии [1, 2, 3, 32].

Информация – это важнейшее понятие кибернетики, ее «начало начал». Информационные процессы, происходящие во всяких, живых и неживых, системах, – объективны и неотъемлемы от них. Нельзя рассматривать информацию вне этих систем и эти системы – вне информационных процессов, происходящих в них. Основное открытие кибернетики – это установление качественного единства информационных процессов в живой и неживой природе, в том числе в социальных и экономических процессах.

Любая система сохраняет свою организацию благодаря информации. Связь между отдельными подсистемами биологических и технических объектов возможна только на основе информации, которая имеет различную форму, но содержание у нее одно: данные о состоянии отдельных элементов объектов.

Различные системы функционируют целенаправленно благодаря существованию некоего управляющего механизма. Информация, поступающая от отдельных подсистем в управляющую систему, перерабатывается, и здесь же вырабатываются управляющие сигналы для отдельных элементов. Таким образом, информация – необходимый элемент управления, а без управления невозможно целенаправленное поведение любой системы.

Как известно, в число фундаментальных понятий, которые работала классическая физика, входят: вещество, движение, пространство, энергия, время. Кибернетика доказывает, что этих понятий недостаточно для полной характеристики реального мира. Создание научной картины действительности требует использования фундаментального и всеобщего понятия информации. В кибернетике абстрагируются от вещественной природы систем и отдельных элементов. Нас будут интересовать только процессы получения, переработки и передачи информации. Иначе говоря, системы, изучаемые кибернетикой, замкнуты для информации, но открыты для материи и энергии, т. е. исследователя-кибернетика не интересуют энергетические преобразования, осуществляемые в системе, а также количество и характер материальных объектов, участвующих в этих преобразованиях. Кибернетика выявляет «чистую» логику управления, информационные механизмы управления.

## 2.1. Обобщенная модель влияния информатизации управления на эффективность производства

Степень информатизации системы управления – интегральный, в большей степени качественный, чем количественный, показатель системы управления по ее способности к получению информации о состоянии объекта управления и принятию эффективных управленческих решений [4, 5, 6, 9].

Очевидно, что степень информатизации системы управления связана с числом входов/выходов, а также алгоритмическим и вычислительным ресурсом устройства управления. Стремление к усовершенствованию алгоритма управления вызывает быстрый рост необходимой степени информатизации системы управления. Может оказаться, что эффект, достигаемый при повышении степени оптимальности алгоритма управления, полностью нивелируется необходимыми дополнительными затратами на автоматизированную систему управления. Получить качественную оценку подобного явления достаточно сложно, поэтому, в качестве первого шага, попытаемся построить логистическую зависимость между указанными параметрами (рис. 2.1). Очевидно, в качестве нижнего уровня

организации производства продуктов питания можно рассматривать природу. Дикое животное и растения (биологические объекты) обладают определенной самоорганизацией и могут рассматриваться как первая ступенька сельскохозяйственного производства. Переход от натуральных форм к искусственным, рост концентрации и специализации производства приводит не только к росту эффективности, но сопровождается необходимым повышением степени информатизации. Причем можно считать установленным фактом, что недостаточная степень информатизации приводит к негативным последствиям для производства. Проявление недостаточности степени информатизации разнообразно: это некомпетентность специалистов, отсутствие возможности получения достоверной и оперативной информации, несовершенство алгоритмов управления и т. д. На основании изложенного эффект от производства сельскохозяйственной продукции можно представить в виде двух слагаемых:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{сам}} + \mathcal{E}_{\text{упр}},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{сам}}$  – эффект, достигаемый за счет способности биологической системы к самоорганизации;

$\mathcal{E}_{\text{упр}}$  – эффект, достигаемый за счет сознательной организации производства (эффект от управления предприятием).

Для оценки эффективности управления предприятием используется понятие неупорядоченности (энтропии)  $H$ . Зависимость между этими величинами может быть представлена в следующем виде [33]:

$$\mathcal{E}_{\text{упр}} = \mathcal{E}_{\text{max}} \left[ a_1 e^{-k_1 (H_0 - H_t)} \right], \quad (2.1.)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{max}}$  – максимально (потенциальный) эффект данного производства;

$H_0, H_t$  – значение энтропии до и после информатизации производства;

$a_1, k_1$  – экспериментальные коэффициенты.

Из анализа зависимости (2.1) следует, что эффективность производства плавно увеличивается при уменьшении энтропии. Рациональный уровень снижения энтропии, связанный с затратами

на АСУ и соответствующую степень информатизации  $C_{инф}$ , определяется из выражения

$$\left[ \frac{d\mathcal{E}_T}{dH_T} \right]_{H_T \rightarrow \min} \geq \frac{d\Phi(C_{инф})}{dH_T}, \quad (2.2)$$

где  $\Phi(C_{инф})$  – затраты на создание АСУ в зависимости от степени информатизации производства.

Обсуждаемые зависимости можно представить в виде графиков (рис. 2.1).

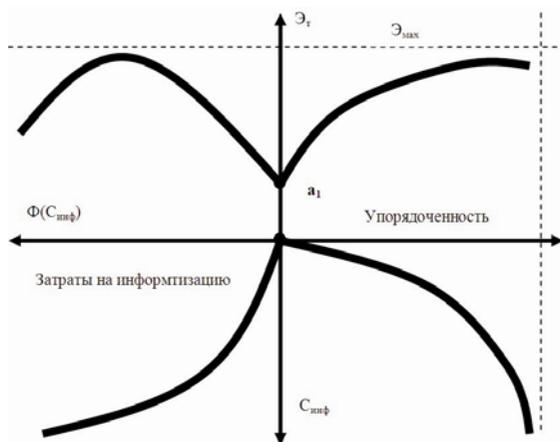


Рис. 2.1. Графики зависимостей эффективности производства  $\mathcal{E}_T$  от степени информатизации и затрат на информатизацию  $C_{инф}$

Основополагающий вывод: полностью устранить неопределенность невозможно, затраты при этом бесконечно возрастают. Очевидно, что быстро достичь высокой степени информатизации невозможно. Разработку и внедрение АСУ необходимо вести в соответствии с концепцией компьютерно-интегрированного производства. Данная концепция предполагает поэтапную автоматизацию производства, начиная от создания локальных АСУ ТП отдельными технологическими процессами, установками, т. н. «островков автоматизации», к созданию комплексных и интегрированных АСУ.

## 2.2. Формулировка задачи оптимального управления откормом свиней и выбор критериев эффективности

Производственная структура типового свиноводческого комплекса включает два обособленных подразделения – цех воспроизводства и цех откорма. Для свиноводческого комплекса, спроектированного на производство 54 000 гол. свиней в год, предусмотрено поступление раз в 4 дня 600 гол. молодняка массой около 40 кг из цеха воспроизводства в цех откорма. Соответственно, при плановых суточных привесах 600 г через 100 дней откормленные свиньи массой 100 кг должны поступать на переработку. Однако практика показывает, что такая простая, на первый взгляд, схема дает многочисленные сбои.

Для реализации данной технологии цех откорма включает 30 обособленных секторов, разбитых на 5 линий раздачи жидких кормов, причем каждый из секторов содержит по 24 групповых станка с возможностью размещения до 25 гол. Затраты на корма и поддержание микроклимата составляют более 80 % от всех затрат при производстве свинины. Поэтому именно автоматизация процессов кормления и поддержания микроклимата является одной из первоочередных задач снижения себестоимости производства свинины.

Цель управления заключается в переводе объекта из некоторого начального состояния в заданное конечное состояние с поиском таких управленческих решений, которые обеспечивают экстремум выбранного показателя (функционала качества).

Начальное распределение животных по группам и их массы, а также длительность откорма носят случайный характер вследствие биотехнического характера объекта. В качестве интегральных критериев эффективности откорма рассматриваются следующие функционалы: среднесуточный прирост массы, средний расход корма на единицу прироста массы, рентабельность и прибыль.

К сожалению, в существующем оборудовании для раздачи кормов аппаратно возможно определение лишь номера станка. Количество животных определяется оператором визуально, а для оценки текущей массы животных приемлемых методов нет.

При этом в качестве функции цели используются плановые привесы. Поэтому вектор управления технологическими процессами кормления свиней содержит 5 компонент: влажность жидкой смеси,

номер здания, номер сектора, номер станка и объем групповой дозы. Возмущающие факторы: качество комбикорма и ненаблюдаемость текущей массы животных, случайность ее распределения в группе. На большинстве комплексов используются завозные комбикорма, и возможность влияния на качество комбикорма на нижнем уровне управления исключается. Вектор управления технологическим процессом поддержания микроклимата содержит номер здания, номер сектора, объем вентилируемого воздуха и внутреннюю температуру в секторе откорма. Причем и внутренняя температура, и объем вентилируемого воздуха определяются суммарной массой животных и их возрастом. Для создания необходимого микроклимата в секторах откорма имеются локальные системы, но в настоящее время параметры микроклимата и кормления определяются и поддерживаются независимо, что снижает эффективность откорма.

Для оценки качества функционирования микропроцессорной системы управления откормом свиней приняты следующие показатели:

- предельный эффект  $E_{id}$ , достигаемый в случае, когда система управления обладает идеальными характеристиками;
- потери качества функционирования  $S$ , вызванные действием факторов, характеризующих неидеальность системы управления.

Тогда

$$E_{id} = M [W_{id} - W_b]; \quad (2.3)$$

$$S = M [W_{id} - W_r], \quad (2.4)$$

где  $W_b$  – значение показателя качества функционирования (ПКФ) объекта (например, удельный расход корма на единицу привеса) в условиях отсутствия микропроцессорного управления;

$W_{id}$  – значение ПКФ управляемого объекта при условии идеального управления (т. е. отсутствуют факторы, снижающие эффект микропроцессорного управления);

$W_r$  – значение ПКФ откорма, при условии реального микропроцессорного управления;

$M$  – оператор математического ожидания.

Для получения количественных значений (2.3) и (2.4) необходимо получить зависимости конечных показателей откорма свиней с качеством управления.

Уже на нижнем уровне управления технологическими процессами откорм свиней необходимо рассматривать как биотехническую систему (рис. 2.2), т. е. нельзя ограничиваться только техническими показателями поточно-механизированных линий, таких как, например, погрешности дозирования или поддержания параметров микроклимата, а необходимо формализовать связи технических параметров с привесами животных или даже пытаться выходить на такие экономические показатели, как прибыль или удельный расход кормов и др.

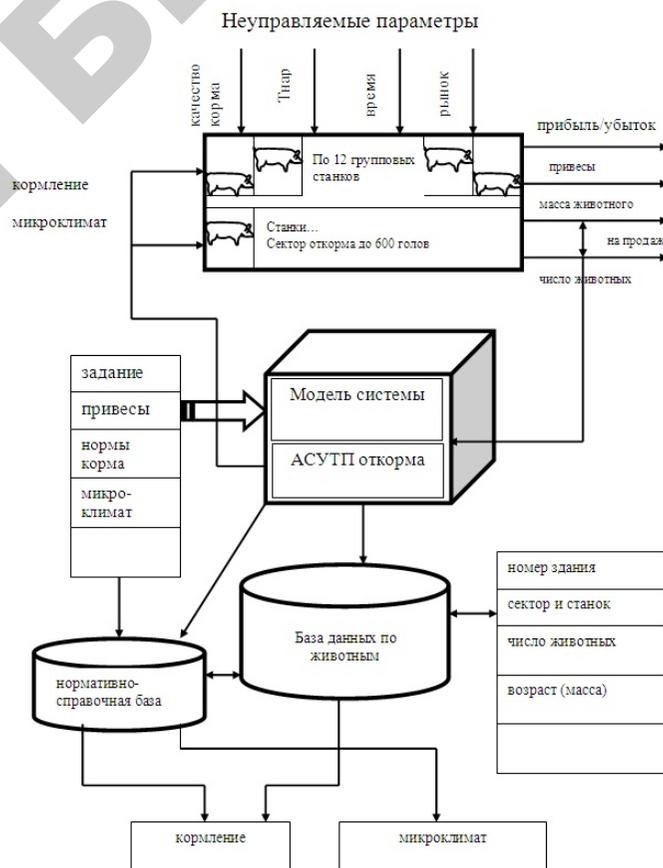


Рис. 2.2. Биотехническая модель откорма свиней (на примере одного сектора)

Любая биотехническая система испытывает влияние многообразных факторов внешней среды, как управляемых, так и неуправляемых. И задача исследования заключается в поиске ограниченного набора управляемых и (или) контролируемых переменных, позволяющих с большей или меньшей точностью прогнозировать поведение биотехнической системы.

### 2.3. Синтез биотехнической модели откорма свиней с обоснованием зависимости привесов от расхода кормов

При построении поточно-механизированных процессов важная роль принадлежит оптимизации их параметров и режимов работы в целях получения максимальной эффективности производства [14, 15, 16, 17, 28, 35]. Но для применения данной методологии необходимы достоверные оценки выходных экономических параметров, по которым осуществляется оптимизация, например, суточные привесы, рентабельность и пр., в реальном масштабе времени. Параметры и режимы работы поточно-механизированных линий влияют на потери кормов, стрессы животных и т. п. Но для зоотехнической науки при откорме свиней основополагающим показателем является суточный привес животных, зависящий от многих факторов. В то же время доступных аппаратных средств определения суточных привесов применительно к промышленным технологиям содержания свиней не существует. Поэтому предпринимаются попытки построения регрессионных зависимостей привесов от дозы корма, с помощью которой оцениваются потери продукции при погрешности дозирования [12, 15, 18, 22, 29]. Но линейные с ограничением или кусочно-линейные модели привесов, построенные по результатам конкретных зоотехнических опытов, имеют ограниченное применение и не позволяют решать задачи оптимизации производства.

Первостепенной является задача формализации процесса выращивания свиней в виде зависимости ежесуточных привесов животных от параметров кормления и их массы. Решение этой задачи позволяет [9, 10, 11, 30]:

- оптимизировать дозы кормления (затраты на корм составляют 75 % от общих затрат на производство свинины);
- оценить влияние погрешности дозирования жидкого корма на привесы животных;
- построить модели прогнозирования управления промышленным производством свинины (корректировать дозы кормления в зависимости от изменения привесов в течение всего периода откорма).

При выборе вида зависимости мы исходили из необходимости выполнения следующих условий:

- отклонение от данных зоотехнических опытов не должно превышать 3–5 %, что вполне удовлетворяет решению поставленных задач;
- для задач откорма определен диапазон изменения массы животных от 30 до 130 кг;
- модель привесов должна обладать устойчивостью по отношению к данным различных зоотехнических опытов.

Последнее условие можно обеспечить при поиске зависимости, имеющей биологическую интерпретацию. Поэтому при идентификации за основу модели привесов была взята известная функция роста [38] после ввода в нее параметров, легко поддающихся биологической интерпретации:

$$P(m) = P_{100} \left( \frac{m}{100} \right)^{0,25} \left( \frac{D - D_{pod}}{D + D_{pod}} \right), \quad (2.5)$$

где  $P_{100}$  – потенциально возможный привес животного массой 100 кг для данной породы и данных условий содержания и кормления, кг;

$D$  и  $D_{pod}$  – доза кормления и поддерживающая доза кормления, к. ед.

Поддерживающая доза, с учетом рекомендаций [6] обеспечивающая 420 кДж/кг<sup>0,75</sup>, определяется следующим образом:

$$D_{pod} = k m^{0,75}, \quad (2.6)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от энергосодержания 1 кг корма, к. ед./кг<sup>0,75</sup>.

Модель (2.5.) обладает устойчивостью на данные различных зоотехнических опытов и настраивается путем подбора двух коэффициентов:  $P_{100}$  определяется генетическим потенциалом животных и условиями их содержания и  $k$  определяется энергосодержанием 1 к. ед. используемого корма.

На основе экспериментальных данных, приведенных в [12, 13, 22, 31, 32], были проведены исследования по оценке адекватности предложенной зависимости (2.5). Для решения этой задачи были применены методы наименьших квадратов и регрессионного анализа. Расчеты проводились в электронных таблицах MS Excel 2000.

Экспериментальные данные [32] и результаты расчетов по формуле (2.5) представлены в табл. 2.1. Потенциально возможный привес  $P_{100}$  был подобран эмпирически и для данных расчетов равен 1,54 кг. Это значение может изменяться, и конечные результаты могут отличаться от приведенных в табл. 2.1 и на рис. 2.3.

Таблица 2.1

Экспериментальные данные зоотехнических опытов [32] и расчет по формуле (2.5) суточной прибавки массы свиней на откорме

Номер опыта	Масса свиный, $m$ , кг	Доза корма, $D$ , к. ед.	Доза подерж. $D_{pod}$ , к. ед.	Привес, кг		Погрешность, %
				эксперим.	расчет., $P(m)$	
1	36,3	2,1	0,444	0,75	0,778	-3,783
2	45,4	2,542	0,525	0,82	0,832	-1,407
3	54,5	2,838	0,602	0,86	0,860	-0,026
4	72,6	3,185	0,746	0,91	0,882	3,087
5	90,8	3,895	0,882	0,95	0,948	0,216
6	100	4,312	0,949	0,98	0,985	-0,466

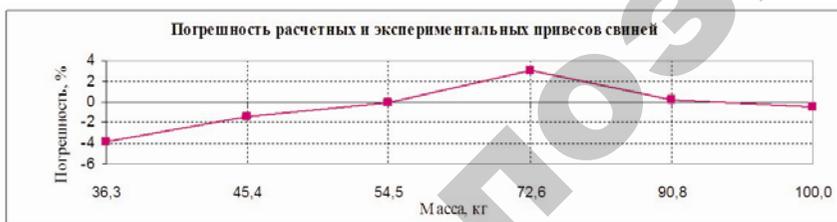


Рис. 2.3. Погрешность расчетных и экспериментальных привесов свиней

Разность между расчетными и экспериментальными значениями привесов приведена на рис. 2.3. Очевидно, что формула (2.5) корректно отражает требуемую зависимость, т. к. погрешность не превышает допустимо возможную для этих данных (2–3 %).

С использованием этих результатов решена задача оценки влияния погрешности дозирования на суточную прибавку массы свиней (рис. 2.4.) и решаются задачи оценки эффективности взаимосвязанного управления параметрами кормления и микроклимата.

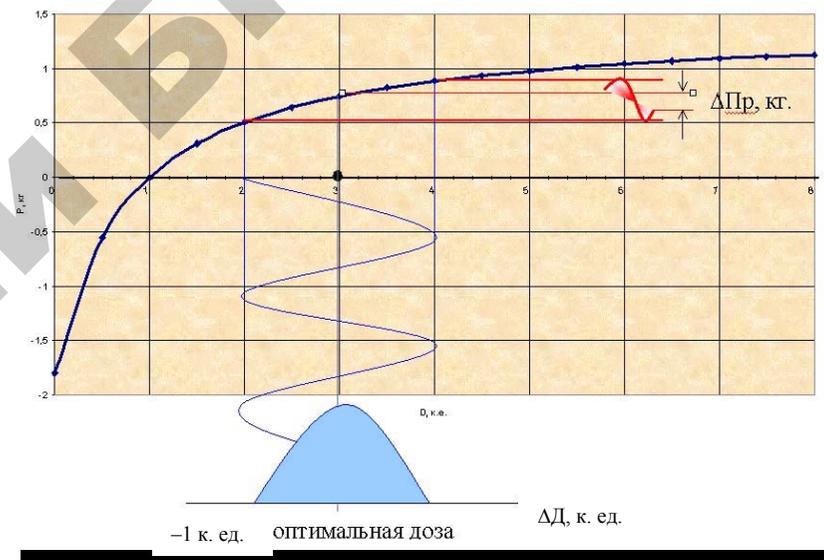


Рис. 2.4. Графическое представление влияния погрешности дозирования кормов на привесы свиней

Пусть система дозирования кормов обеспечивает подачу животным доз  $D$  корма, имеющих плотность нормального распределения [9]:

$$f(D) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(D - D_{nom})^2}{2\sigma^2}\right], \quad (2.7)$$

где  $D_{nom}$  – математическое ожидание случайной величины  $D$ ;  
 $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение дозы  $D$ .

Для простоты примем, что среднее значение фактически выдаваемой дозы совпадает с нормированным значением:

$$D = D_{nom}. \quad (2.8)$$

Чтобы определить выходную величину  $P_f$  – фактическое значение привеса животного, необходимо рассмотреть прохождение случайного сигнала с параметрами (2.7) и (2.8) через нелинейное звено с передаточной функцией (2.5). Разложим выходную функцию (2.5) в ряд Тэйлора в окрестностях точки  $D_{nom}$ :

$$P_f(D) = P(D_{nom}) + \left(\frac{dP}{dD}\right)_{D_{nom}} (D - D_{nom}) + \left(\frac{d^2P}{dD^2}\right)_{D_{nom}} (D - D_{nom})^2 + \dots, \quad (2.9)$$

где  $P(D_{nom}) = P_{nom}$  – нормированный привес свиньи при отсутствии флуктуаций дозы кормления.

Ограничиваясь квадратичным членом в разложении (2.9), произведем статистическое усреднение (2.9) с учетом (2.7) и (2.8). Получим следующее выражение для среднего значения фактических привесов животного:

$$P_f(D) = P(D_{nom}) - 2P_{100} \left(\frac{m}{100}\right)^{0,25} \left[ \frac{D_{pod}}{(D + D_{pod})^2} \right] \sigma^2, \quad (2.10)$$

т. е. наличие отклонений от задаваемого значения на входе, даже при условии обеспечения условия (2.8), приводит к потерям привесов. Это объясняется нелинейностью зависимости (2.5), поскольку превышение номинальной дозы вызывает по величине меньшее приращение привесов, чем такой же недокорм вызывает большее снижение привесов (рис.2.4).

Численная оценка (2.10) показывает, что наличие у дозирующего устройства 15–30 % флуктуаций приводит к 0,5–5,5 % потери привесов (рис. 2.5).

И этого одного результата было бы достаточно для экономического обоснования достаточно сложного и дорогого оборудования с микропроцессорным управлением для приготовления и раздачи кормов. Однако это только «вершина айсберга» эффективности информатизации технологических процессов на промышленном свиномкомплексе.

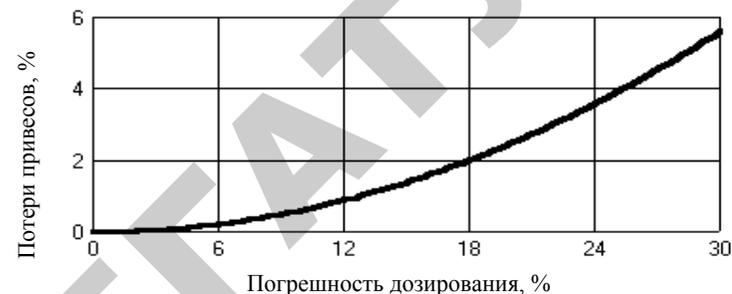


Рис. 2.5. Потери привесов свиней при наличии флуктуаций дозы корма от нормированного значения

При этом данная модель позволяет оценить только потери привесов за текущие сутки. В то же время для оценки потерь привесов и других показателей за период откорма перспективно применение имитационных моделей. Применение электронных таблиц Excel позволяет не только последовательно, по суткам, проследить результаты откорма, но и дает возможность оценки стохастических флуктуаций факторов, влияющих на эффективность откорма.

#### 2.4. Оптимизация дозы кормления по экономическим критериям

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.

Ограниченные возможности предыдущего 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.

Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением полностью удовлетворяют требованиям сельскохозяйственного производства. Супербольшая 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 линии с распределенным управлением, 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 микропроцессорной технике программно-техническая избыточность создает уникальные возможности не только технической, но и биологической диагностики. Например, временной анализ поедаемости кормов можно использовать для определения состояния животного.

Среди всего разнообразия сельскохозяйственных технологических процессов особое место занимает кормление. Поэтому именно на примере кормления и рассмотрим эффективность применения микропроцессорной техники. Для выбора дозы корма необходимо обосновать критерии оптимальности [5]. В качестве первого критерия можно использовать максимум прибавки массы на единицу корма:

$$\Pi_1 = \frac{P(m)}{D} \rightarrow \max. \quad (2.11)$$

При использовании данного критерия с использованием формулы (2.5) после несложных математических упражнений можно получить

$$D1_{\text{опт}} \approx 2,4 D_{\text{под}}, \quad (2.12)$$

т. е. при кормлении свиней (в соответствии с формулой (2.12)) получим минимальный расход кормов на единицу привеса.

В качестве еще одного экономического критерия можно использовать максимум расчетной прибыли, или максимум рентабельности, за период откорма без учета предварительных затрат.

Для прибыли используем следующее выражение:

$$\Pi_2 = P(m) C_{\text{мяс}} - 1,4 D C_{\text{корм}}, \quad (2.13)$$

где  $D_{\text{норм}}$  – фактическая норма потребления корма;

$0,4 D_{\text{норм}} C_{\text{корм}}$  – оценка затрат на отопление, зарплату и т. п. с учетом факта, что в структуре себестоимости свинины корма составляют 75 %;

$C_{\text{мяс}}$  и  $C_{\text{корм}}$  – стоимость 1 кг корма и 1 к. ед., руб.

Если взять в качестве критерия оптимальности выражение (2.13), то получим, что оптимальная доза по максимуму прибыли

$$D2_{\text{опт}} = D_{\text{под}} \left\{ \left[ \frac{P_{100}}{D_{\text{под}}} \left( \frac{m}{100} \right)^{0,25} \frac{C_{\text{мяс}}}{C_{\text{корм}}} \right]^{0,5} - 1 \right\}. \quad (2.14)$$

А если использовать в качестве критерия максимум рентабельности

$$\Pi_3 = \frac{P_{100} C_{\text{мяс}} - 1,4 D C_{\text{корм}}}{1,4 D C_{\text{корм}}}, \quad (2.15)$$

то получим оптимальную дозу:

$$D3_{\text{опт}} \approx 3 D_{\text{под}}. \quad (2.16)$$

Математическая модель была также использована для построения имитационной динамической модели процесса откорма свиней

с использованием электронных таблиц Excel. Настройка модели осуществлялась в соответствии с зоотехническими данными. Цены на свинину и комбикорм взяты по состоянию на 1.02.2004 г. (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Результаты имитационного моделирования  
по определению параметров откорма свиней при постановочной массе 40 кг

Отношение расхода корма к величине поддерживающей дозы	Условная рентабельность процесса откорма, %	Условная прибыль процесса откорма на 1 гол., у. е.	Удельный расход корма на единицу привеса, к. ед./кг	Среднесуточный привес, г	Масса 1 гол. на 114 день откорма, кг
1,0	-100,0	-18,0		0	40,0
1,2	-43,3	-8,85	7,31	101	51,6
1,4	-5,6	-1,3	4,90	189	61,8
1,5	14,2	1,98	4,47	229	66,4
2,0	45,1	14,2	3,87	397	85,7
2,5	54,7	21,3	3,96	523	100,2
3,0	53,5	24,5	4,23	621	109,2
3,5	48,0	26,1	4,56	699	120,3
4,0	41,0	25,5	4,93	762	127,6
4,5	33,7	23,6	5,30	814	133,6

Оптимальные значения  $D/D_{\text{под}}$  по критерию «максимум рентабельности» лежат в диапазоне 2,5–3,0, а по критерию минимум удельного расхода корма в диапазоне 2,0–2,5 (рис. 2.6).

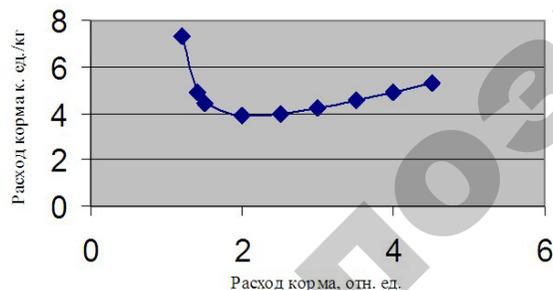


Рис. 2.6. Зависимость удельного расхода корма на единицу привеса в зависимости от интенсивности кормления

Таким образом, синтезированная модель привесов, удовлетворяющая принципу биологической интерпретации, и разнообразные имитационные модели позволяют оценить качество микропроцессорного управления откормом свиней в различных условиях функционирования по различным критериям эффективности.

## Выводы по главе 2

1. Внедрение высокоточных технологий в промышленное свиноводство предполагает необходимость идентификации процесса откорма свиней как биотехнической системы. Синтезированная модель суточной прибавки массы свиней на откорме (формула (2.7)) позволяет решать ряд актуальных задач по оценке влияния погрешности дозирования кормов на прибавку массы, выбора оптимальных доз корма по экономическим критериям и т. д.

Новизна предложенной модели заключается в выборе структуры с понятными и биологически интерпретируемыми параметрами. Благодаря этому модель устойчива к данным различных зоотехнических опытов и позволяет решить ряд задач по выбору параметров и режимов работы поточно-механизированных линий кормления свиней.

2. Решение задачи по оценке влияния погрешности выдаваемых доз корма на продуктивность животных показывает, что снижение погрешности дозирования с 15 % до 3 % позволяет получить дополнительно не менее 2 % прибавки массы свиней на откорме. А увеличение прироста живой массы свиней на 1 % для промышленного комплекса с годовой производительностью 54 000 гол. прибавляет денежную выручку на 75 тыс. долл. Это говорит о достаточно высокой эффективности снижения погрешности дозирования кормов, что позволяет рекомендовать к применению современные системы дозирования.

3. Оптимальный уровень кормления зависит от выбранного критерия оптимальности. Разработанные имитационные модели с использованием электронных таблиц Excel позволяют путем численного эксперимента оценить такие показатели, как расход кормов и прирост массы свиней за весь период откорма свиней при различных дозах кормления.

4. Разработанная модель суточной прибавки массы свиней на откорме позволяет также оценить эффективность взаимосвязанного выбора параметров поточно-механизированных линий раздачи кормов и создания микроклимата, а также решать задачу адаптации на условия конкретного свиноводческого комплекса.

### Список литературы к главе 2

1. Альт, В.В. Информационные технологии в земледельческой механике / В.В. Альт // Автоматизация сельскохозяйственного производства : сб. докл. Междунар. науч.-технич. конф., 29–30 сент. 2004 г. (Углич). – Углич, 2004. – Ч. 2. – С. 201–210.

2. Алиев, Р.А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р.А. Алиев. – М. : Радио и связь, 1990. – 264 с.

3. Артюшин, А.А. Стратегические направления автоматизации сельскохозяйственного производства / А.А. Артюшин // Автоматизация сельхоз. производства : сб. докл. Междун. науч.-технич. конф., Углич, 29–30 сент. 2004 г.. – Углич, 2004. – Ч. 1. – С. 14–25.

4. Гируцкий, И.И. Информационное обеспечение технологических процессов промышленного производства свинины / И.И. Гируцкий, Н.В. Гуцо, В.А. Павловский // Агропанорама. – 2002. – № 2. – С. 29–32.

5. Гируцкий, И.И. Основы компьютеризации кормления свиней на свинокомплексах Беларуси / И.И. Гируцкий // Доклады Рос. акад. с.-х. наук. – 2003. – № 2. – С. 52–56.

6. Гируцкий, И.И. Теоретические основы автоматизации производства в условиях модернизации промышленного свиноводства / И.И. Гируцкий // Известия НАН Беларуси. Сер. Агропромышленное производство. – 2003. – № 3. – С. 94–98.

7. Гируцкий, И.И. Адаптивное управление откормом свиней / И.И. Гируцкий // Тракторы и сельхозмашины. – 2005. – № 12. – С. 39–42.

8. Гируцкий, И.И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) : конспект лекций / И.И. Гируцкий. – Минск : БГАТУ, 2002. – 277 с.

9. Гируцкий, И.И. Эффективность компьютеризации технологических процессов в свиноводстве / И.И. Гируцкий, В.С. Досин, Г.Г. Палкин // Вес. ААН Рэсп. Беларусь. – 1995. – № 1. – С. 102–107.

10. Грабауров, В.А. Моделирование и оптимизация биотехнических систем в промышленных птичниках : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.07 / В.А. Грабауров, Челябинский агроинженерный ун-т. – Челябинск, 1992. – 42 с.

11. Грабауров, В.А. Моделирование и оптимизация биотехнических систем : учеб. пособие / В.А. Грабауров, Ф.Ф. Пашенко. – Ростов н/Д : РИСХМ, 1986. – 93 с.

12. Кабанов, В.Д. Изучение затрат корма на привесы у свиней в связи со скоростью их роста / В.Д. Кабанов // Научные основы развития животноводства в БССР : межведом. сб. – Мн. : Ураджай, 1970. – С. 80–87.

13. Калюга, В.В. Математические и графические модели роста и прироста живой массы свиней / В.В. Калюга, Ю.А. Мирзоянц, С.Ю. Мирзоянц // Науч. тр. ВИМ. – 2002. – Т. 144. – С. 216–219.

14. Кирсанов, В.В. Механизация и автоматизация животноводства / В.В. Кирсанов. – М. : КолосС, 2004. – 399 с.

15. Кирсанов, В.В. Механизация и технологии животноводства / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. – М. : КолосС, 2007, 2008. – 403 с.

16. Князев, К.И. Интенсивный мясной откорм / К.И. Князев. – М. : Колос, 1979. – 220 с.

17. Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба. М. : КолосС – 1999. – 528 с.

18. Краусп, В.Р. Интенсификация электрифицированных технологических процессов животноводства : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / В.Р. Краусп, ВИЭСХ. – М., 1997. – 88 с.

19. Краусп, В.Р. Комплексная автоматизация в промышленном животноводстве / В.Р. Краусп. – М. : Машиностроение, 1980. – 214 с.

20. Краусп, В.Р. Научные проблемы развития АСУ ТП стационарных сельскохозяйственных объектов / В.Р. Краусп // Автоматизация производственных процессов в сельском хозяйстве : матер. Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 7–9 июня 2000 г. – Минск-М., 2000. – С. 26–27.

21. Краусп, В.Р. Автоматизированные и инфокоммуникационные технологии в управлении электрифицированным производством / В.Р. Краусп // Автоматизация сельскохозяйственного производства : сб. докл. Междунар. науч.-технич. конф., Углич, 29–30 сент. 2004 г. – Углич, 2004. – Ч. 2. – С. 3–11.

22. Махаев, Е.А. Затраты обменной энергии растущими и откармливаемыми свиньями на жизнедеятельность, синтез и отложение белка и жира / Е.А. Махаев // Матер. Междунар. науч.-практич. конф. «Прошлое, настоящее и будущее зоотехнической науки», Подольск, 7–10 сент. 2004 г. – Подольск, 2004. – Т. 2. – С. 117–123.

23. Мусин, А.М. Методические рекомендации по технико-экономической оценке автоматизированных технологических процессов животноводства / А.М. Мусин. – М. : ВИЭСХ, 2003. – 44 с.

24. Мусин, А.М. Как сделать автоматизацию эффективной / А.М. Мусин // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 1. – С. 19.

25. Мусин, А.М. Состояние и задачи автоматизации промышленного свиноводства / А.М. Мусин, А.Е. Елховский, А.В. Марков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 7. – С. 26–28.

26. Мусин, А.М. Показатели эффективности автоматического дозирования кормов / А.М. Мусин // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – № 2. – С. 15–16.

27. Мусин, А.М. Выбор кормораздатчика по технико-экономическому критерию / А.М. Мусин, В.И. Ломов // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 5. – С. 30–34.

28. Мусин, А.М. Технологический эффект автоматизации биотехнических систем производства / А.М. Мусин // Автоматизация сельскохозяйственного производства : сб. докл. Междунар. науч.-технич. конф., Углич, 29–30 сент. 2004 г. – Углич, 2004. – Ч. 2. – С. 66–76.

29. Мороз, Ю.Д. Эффективность совершенствования системы управления дозированием кормов / Ю.Д. Мороз, В.В. Ширшова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – № 4. – С. 31–32.

30. Автоматизированная система откорма свиней: пат. № 2323 Респ. Беларусь, А01 К 1/02. / И.И. Гируцкий, А.Ю. Кучинский; заявитель БГАТУ. – № u20050255; заявл. 02.05.2005; опубл. 30.12.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 4. – С. 10.

31. Плященко, С.И. Основы животноводства / С.И. Плященко. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – С. 172–194.

32. Понд, У.Дж. Биология свиньи / У.Дж. Понд, К.А. Хаупт ; пер. с англ. и предисл. В.В. Попова. – М. : Колос, 1983. – 334 с.

33. Солодовников, В.В. Теория сложности и проектирование систем управления / В.В. Солодовников, В.И. Тумаркин. – М. : Наука, 1990. – 168 с.

34. Справочник проектировщика АСУ ТП / Г.Л. Смилянский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1983. – 527 с.

35. Славин, Р.М. Методологические основания автоматизированного дозированного кормления сельскохозяйственных животных и птицы / Р.М. Славин // Автоматизированное кормление сельскохозяйственных животных и птицы : сб. науч. тр. – М. : ВИЭСХ, 1993. – С. 3–21.

36. Славин, Р.М. Автоматизация процессов в животноводстве и птицеводстве / Р.М. Славин. – М. : Агропромиздат, 1991. – 397 с.

37. Стребков, Д.С. Перспективные направления энергообеспечения и энергосбережения в сельском хозяйстве / Д.С. Стребков, А.В. Тихомиров // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве : тр. 3-й Междунар. науч.-технич. конф., Москва, 14–15 мая 2003 г. – Ч. 1 : Общие проблемы энергообеспечения и энергосбережения. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2003. – С. 3–12.

38. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Горнли ; пер. с англ. А.С. Каминского. – М. : Агропромиздат, 1987. – 400 с.

### **ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЯЗАННОГО, АДАПТИВНОГО И ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОТКОРМОМ СВИНЕЙ**

Согласно мнению зоотехников, успех производства свинины на 60 % зависит от кормления, на 20 % – от микроклимата и на 20 % – от генетического потенциала. Дифференциация этих направлений обуславливалась их сложностью и неспособностью существующих технологий управления к переработке огромных потоков информации по взаимосвязанному и интегрированному управлению технологическими процессами откорма свиней. Компьютеризация управления создает принципиальную возможность преодоления этого противоречия, но предварительно необходимо оценить технико-экономическую эффективность таких решений.

Производство свинины носит интегрированный характер, и эффективность его определяется согласованным решением зоотехнических, ветеринарных, технологических и экономических задач, однако на практике уровень взаимодействия достаточно низок. Новое поколение систем управления, основанное на достижениях новых информационных технологий, позволяет преодолеть данное противоречие путем создания комплексных и интегрированных автоматизированных систем управления (ИАСУ).

Анализ патентной и научно-технической литературы, передового производственного опыта показывает перспективность применения микропроцессорной техники как при решении локальных задач управления технологическими процессами кормления и поддержания микроклимата, так и при переходе к взаимосвязанному управлению основными технологическими процессами откорма свиней [1–3, 8–10].

Но переход к новому этапу создания поточно-механизированных линий с микропроцессорным управлением требует проведения теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию эффективности взаимосвязанного управления, разработке новых методик и программно-технических средств экспериментальных исследований параметров технологических процессов и биологического объекта управления.

Математические модели технологических процессов производства сельхозпродукции описываются уравнениями с большим числом переменных. Число состояний таких систем чрезвычайно велико. Их анализ путем перебора вариантов практически невозможен, поэтому прибегают к всевозможным допущениям и ограничениям, упрощая математическую модель. При этом не учитываются некоторые факторы, влияющие на конечный результат технологического процесса. Дополнительные трудности возникают из-за неопределенности исходной информации, уровень которой в биотехнических системах значительный. Возможности традиционных методов анализа моделей технологических процессов были также ограничены большим объемом вычислительных работ, необходимых для обчета всех возможных состояний системы. Новые информационные технологии дают возможность преодолеть трудности, связанные с анализом многомерных систем, углубить познания о закономерностях производства сельскохозяйственной продукции [14].

Обоснование методов имитационного моделирования изложено в соответствующей проблематике научной литературе, в которой представлены приемы, позволяющие получить достоверные прогнозные оценки эффективности исследуемого объекта. Метод имитационного моделирования не дает общего решения для многомерных систем с большим числом переменных. Выбор оптимального решения путем простого перебора вариантов практически не осуществим. Чтобы получить желаемый результат, рекомендовано, пользуясь принципом системного подхода, выделить из множества действующих на исследуемый объект факторов главные из них, т. е. те, которые оказывают существенное влияние на конечный результат, а на остальные факторы либо наложить ограничения, либо их действием пренебречь. Известно, что эффективность техники и технологии зависит от условий, в которых они функционируют. Чтобы решить, является ли рассматриваемый вариант «наилучшим», необходимо провести технико-экономический анализ для заданных условий, снова требующий выбора базы для сравнения. Поэтому желательно, чтобы модели отражали условия производства и учитывали связи проектируемого технологического процесса с внешней средой. Количественно эта связь выражается в виде цен на продукцию, сырье, энергию. Эти параметры отражают, прежде всего, конъюнктуру рынка и хозяйственных условий.

В основу выбора оптимального варианта положен метод сравнительной эффективности, заключающийся в сравнении экономических показателей двух вариантов. В качестве базового варианта рассматриваются старые технологии управления, а в качестве нового рассматривается применение новых информационных технологий управления. В качестве критерия оптимизации целевой функции можно принять прибыль или рентабельность.

Подстановка в целевую функцию параметров техники и объекта автоматизации позволяет вычислить прирост прибыли при расчетных условиях. В реальных условиях эти показатели претерпевают изменения. Например, изменяется поголовье скота на ферме, его продуктивность и т. д. Кроме того, изменяется рыночная конъюнктура, в результате чего изменяется цена на производимую продукцию, топливо, энергию, корм. Все это влияет на прибыль, получаемую в результате реализации продукции. В реальных условиях всегда имеется риск потери прибыли по этой причине. При выборе варианта инженерного решения необходимо оценить возможные потери эффективности (экономический риск), для чего определяют ситуации, в которых может функционировать проектируемый объект.

Как правило, известны только пределы, в которых варьируют изменяющиеся показатели, а закон распределения вероятностей их изменения неизвестен. Можно, используя методы принятия решений в условиях неопределенности исходной информации, прогнозировать возможный экономический риск (возможную потерю прибыли) для определенных заранее условий (ситуаций функционирования) и полученные результаты использовать при выборе оптимального решения. Большое внимание совершенствованию ПМЛ раздачи кормов уделено в трудах А.М. Мусина [14–19].

### **3.1. Синтез взаимосвязанной математической модели выбора параметров кормления и микроклимата при откорме свиней**

Рентабельность производства свинины в конечном счете определяется количеством выращиваемых на убой свиней, полученных от одной свиноматки, и скоростью их роста. Примерно 40–60 %

генетических возможностей, которыми располагают местные породы, не реализуются в виде конечной продукции. Причиной этого, кроме неправильного кормления, является неблагоприятный микроклимат. Для определения параметров микроклимата, обеспечивающих экономически выгодный процесс откорма, необходимо учитывать двойной эффект: влияние параметров микроклимата, прежде всего, внутренней температуры, на привесы животных и вклад в себестоимость продукции на необходимые для этого затраты тепловой и электрической энергии.

В настоящее время имеются многочисленные исследования по влиянию уровня кормления на границы термонейтральной зоны свиней, а также параметров микроклимата (прежде всего, внутренней температуры воздуха в помещениях для содержания животных) на их привесы [1, 11, 12, 20, 24]. Поэтому определенный интерес представляет взаимосвязанный выбор параметров кормления и микроклимата. Такие исследования применительно к птицеводству проведены А.В. Дубровиным [8, 9]. Нами, на основании предложенной модели привесов как функции уровня кормления и известных уравнений теплотехники (прилож. 4) и обобщения результатов литературных данных, разработана компьютерная модель оценки эффективности взаимосвязанного выбора параметров микроклимата и кормления [4]. Энергетические затраты на поддержание параметров микроклимата включают затраты тепловой энергии на подогрев вентилируемого воздуха и затраты электрической энергии на вентиляцию.

Для практического применения полученных результатов предложен алгоритм адаптивного управления откормом свиней [5].

#### **3.1.1. Эффективность применения частотно-регулируемого привода в системе вентиляции свинарника-откормочника**

Затраты электрической энергии на привод вентиляторов для обеспечения воздухообмена в помещениях для содержания свиней достигают до 60 % от общего потребления электрической энергии на свиноводческих комплексах. Воздухообмен на откорме определяется массой и количеством животных в секторе. В то же время

воздухообмен как параметр системы микроклимата определяется на основании усредненных данных за весь период откорма и рассчитан на максимально возможные значения количества и массы животных. Так же в процессе откорма масса животных и их количество, в том числе по различным секторам, претерпевают существенные изменения. Поэтому представляет интерес оценка эффективности ежесуточного изменения таких параметров микроклимата, как воздухообмен и внутренняя температура в каждом секторе в зависимости от динамики откорма.

Животные ставятся на откорм массой около 40 кг и снимаются с откорма при достижении массы 90–110 кг. Между текущей массой животного и днем откорма существует очевидная зависимость:

$$m(k) = m(1) + \sum_{i=1}^k P(i), \quad 3.1.$$

где  $m(1)$  – масса свиньи при постановке на откорм в первый день, кг;  
 $P(i)$  – текущие привесы в  $i$ -й день откорма, кг;  
 $k$  – число дней откорма.

Бесспорным фактом является необходимость обеспечения вентиляции производственных помещений. Так, в зимнее время рекомендуется минимальный воздухообмен около  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $100 \text{ кг}$  массы животных.

Оценка произведения  $Zm$  – числа и массы животных в помещении для откорма – показывает, что с момента постановки и до снятия животных с откорма расчетная величина воздухообмена изменяется в диапазоне  $8000\text{--}24\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

И если этот факт не учитывать, то возможны лишние затраты энергии или потеря привесов.

С переходом на рыночную экономику вопросы энерго- и ресурсосбережения приобрели особую важность. Устранение нерационального расхода средств сегодня все чаще решается при помощи высоких технологий, и здесь одну из ведущих позиций занимает частотно-регулируемый привод вентиляторов.

Приведем расчет затрат электроэнергии для трех способов регулирования подачи воздуха в помещение: 1) дросселирующая заслонка, 2) включение/выключение, 3) частотное регулирование.

*Способ 1:* регулирование дросселирующей заслонкой.

Находим действующую мощность вентилятора, с учетом его характеристики, по формуле

$$N = N_0 \left( 0,25 + 0,75 \frac{L}{L_0} \right), \quad (3.2)$$

где  $N$  – мощность вентилятора, Вт;

$N_0$  – номинальная мощность вентилятора, Вт;

$L$  – требуемая подача воздуха, кг/с;

$L_0$  – номинальная производительность вентилятора, кг/с.

Вычисляем потребление электроэнергии:

$$W_z = t \frac{N}{\cos \varphi \cdot \eta}, \quad (3.3)$$

где  $t$  – время работы вентилятора в сутки, ч;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности электродвигателя;

$\eta$  – КПД электродвигателя.

*Способ 2:* регулирование включением/выключением.

Потребление электроэнергии при этом способе регулирования определяется по формуле

$$W = t N + W_n, \quad (3.4)$$

где  $W_n$  – потери электроэнергии в электродвигателе при пуске системы без нагрузки.

*Способ 3:* регулирование частотно-регулируемым приводом.

Потребление электрической энергии при частотном регулировании определяется по формуле

$$W_{\text{чрп}} = t \frac{N}{\cos \varphi \cdot \eta}. \quad (3.5)$$

Мощность рассчитывается по формуле

$$N = L_0 \left( \frac{n}{n_0} \right)^3, \quad (3.6)$$

где  $n_0$  – номинальная частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $n$  – требуемая частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ .

Требуемая частота вращения

$$n = n_0 \left( \frac{L}{L_0} \right). \quad (3.7)$$

На основании вышеприведенных выражений (3.1–3.7), в электронных таблицах Microsoft Excel была разработана численная модель, позволяющая вычислить суточный расход электроэнергии системой вентиляции для различных способов регулирования. На рис. 3.1. изображены графики суточного потребления электроэнергии системой вентиляции для различных способов регулирования. Моделирование проводилось при следующих условиях: количество свиней в помещении – 600 гол., среднесуточный привес одного животного – 0,6 кг.



Рис. 3.1. Графики суточного потребления электроэнергии системой вентиляции для различных способов регулирования

Суммарное потребление электроэнергии системой вентиляции за период откорма составило: для дросселирования – 14 600 кВт·ч,

для включения/выключения – 13 700 кВт·ч, для частотного регулирования – 9700 кВт·ч.

Как видно из расчетов, экономия электроэнергии при использовании частотного регулятора по сравнению со способом регулирования включением/выключением составляет 41 %, а по сравнению с дросселированием – 50 %, что говорит об эффективности применения частотного регулирования подачи воздуха.

Таким образом, ежесуточный расчет требуемого воздухообмена с учетом динамики прироста массы и изменений количества животных позволяет получить до 30–40 % экономии электрической энергии. Но рост массы животных на откорме предполагает возможность соответствующего изменения внутренней температуры в секторах откорма. Поэтому ежесуточная корректировка внутренней температуры производственных помещений в холодный период откорма также может снизить затраты на откорм свиней.

### 3.1.2. Расчет затрат при содержании свиней при различных температурах

Общие затраты на содержание в сутки определяются из выражения

$$Z = Z_{от} + Z_k + Z_э, \quad (3.8)$$

где  $Z_{от}$  – суточные затраты на отопление;

$Z_k$  – суточные затраты на корма;

$Z_э$  – суточные затраты на электроэнергию.

Затраты на отопление в сутки находим из выражения

$$Z_{от} = 86\,400 Q_F C_1, \quad (3.9)$$

где  $Q_F$  – мощность ОВС, Вт;

$C_1$  – себестоимость 1 Дж тепловой энергии.

Суточные затраты на корма

$$Z_k = D_k C_2, \quad (3.10)$$

где  $D_k$  – суточный расход корма, кг;  
 $C_2$  – цена 1 кг корма.

Суточные затраты на электроэнергию

$$Z_k = W_3 C_3, \quad (3.11)$$

где  $W_3$  – суточный расход электроэнергии, кВт · ч;  
 $C_3$  – цена 1 кВт · ч электроэнергии.

Находим составляющие затрат.

Мощность отопительно-вентиляционной системы

$$Q_F = \sum KA(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) + \rho \frac{(23 + 3,7(m)^{0,75})(0,97 + 10^{-5}(t_{\text{вн}})^{3,6})}{3600(x_{\text{вн}} - x_{\text{нар}})} \times \\ \times [c(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) + 2,25(x_{\text{вн}} - x_{\text{нар}})] - n \times \\ \times (0,275\alpha^{0,835} + 3,84m^{0,866} - 75 + 1,234(t_{\text{н}} - t_{\text{вн}})m^{0,111}).$$

Суточные затраты корма

$$D_k = 2,5D_{\text{под}} + D_q, \quad (3.12)$$

где  $D_{\text{под}}$  – поддерживающая доза, кг;

$D_q$  – количество корма, необходимое для компенсации тепло-выделений химической терморегуляции  $\Delta q$  при отклонении температуры от оптимальной.

В то же время нижняя граница термонеutralной зоны у свиней сложным образом зависит от массы, уровня кормления и условий содержания:

$$t_n = 31 - 5\alpha - (0,0875(m - 20))^{0,91} - 0,037\alpha(17 - (0,023(m - 40))^2), \quad (3.13)$$

где  $t_n$  – нижняя критическая температура содержания свиней, °С;

$\alpha$  – уровень кормления;

$m$  – масса свиньи, кг.

Таким образом, ежесуточным изменением уровня кормления свиней можно варьировать значение внутренней температуры в секторах и добиваться наиболее эффективных режимов откорма.

### 3.1.3. Разработка и анализ комплексной компьютерной модели влияния параметров кормления и микроклимата на откорм свиней

На основании математической модели была разработана комплексная компьютерная модель влияния связанного выбора параметров кормления и микроклимата на откорм свиней, выполненная в электронных таблицах Microsoft Excel.

Компьютерная модель позволяет получить экономические показатели процесса откорма свиней. В качестве критерия оптимальности можно применить рентабельность откорма свиней  $R$ :

$$R = \frac{B - Z_k - Z_{\text{от}}}{Z_k + Z_{\text{от}}}, \quad (3.14)$$

где  $R$  – рентабельность;

$B$  – выручка от продажи продукции (мяса).

При помощи этой модели были построены зависимости рентабельности от уровня кормления при различных факторах (рис. 3.2, 3.3 и 3.4)

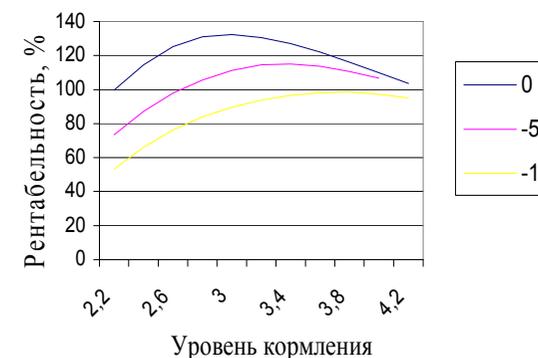


Рис. 3.2. График зависимости рентабельности от уровня кормления при различной температуре наружного воздуха, °С

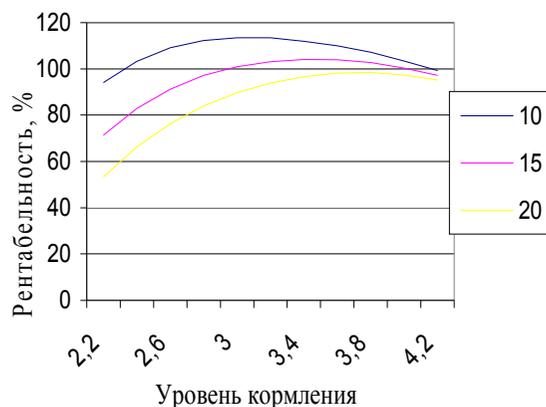


Рис. 3.3. График зависимости рентабельности от уровня кормления при различной стоимости 1 ГДж тепловой энергии, у. е.

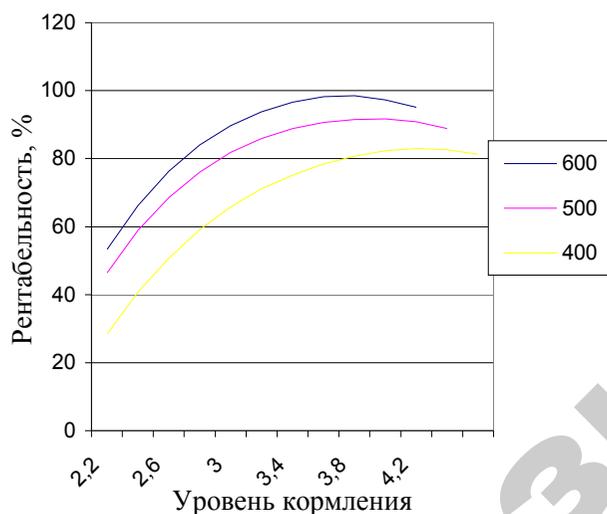


Рис. 3.4. График зависимости рентабельности от уровня кормления при различном количестве свиней в помещении

Как видно из данных рисунков, максимальная рентабельность будет при различных значениях уровня кормления в зависимости от таких факторов, как цена на тепловую энергию, наружная температура, число животных в помещении.

Таким образом, ежесуточные расчеты и изменение параметров поточно-механизированных линий приготовления и раздачи кормов и поддержания параметров микроклимата в зависимости от динамики прироста массы свиней на откорме и изменяющихся внешних условий позволяют повысить на 2–5 % рентабельность откорма [4, 6].

Центральное место в решении этих задач принадлежит модели прогнозирования прироста массы свиней на откорме (формулы (2.5) и (2.6)). Однако в условиях разных свиноводческих комплексов параметры модели могут изменяться. Поэтому необходимо иметь инструмент настройки этих параметров на условия конкретного комплекса.

### 3.2. Выбор структуры и программно-математического обеспечения адаптивного управления откормом свиней

Ранее, на основе синтезированной модели прибавки массы (формула (2.5)), рассмотрено решение трех задач: оценка погрешности дозирования на прибавку массы; оптимизация уровня кормления по экономическим критериям и оценка взаимосвязанного управления параметрами кормления и микроклимата. Но данная модель может быть положена в основу решения и более сложной задачи – адаптивного управления откормом свиней. Для биотехнической системы откорма свиней требуется постоянное уточнение модели в связи с изменяющимися во времени и пространстве характеристиками. Изменение генетического потенциала свиней, изменение параметров корма и внешней среды делает актуальными проработки возможности построения адаптивных систем управления для промышленного свиноводства. В общем случае адаптивные системы можно разделить на два больших класса: самоорганизующиеся и самонастраивающиеся [255, 256]. Применительно к нашему случаю целесообразно использование идеологии поисковых самонастраивающихся систем. В этом случае структура объекта управления известна и неизменна, и структура системы управления заранее выбрана, требуется лишь определить алгоритм настройки его коэффициентов (алгоритм адаптации). При этом настройка параметров модели осуществляется с помощью специально организованных поисковых сигналов.

Известен способ автоматизированного откорма свиней, при котором каждая свинья при постановке на откорм маркируется электронным датчиком, который ее идентифицирует [25]. При входе свиньи в зону кормления система производит идентификацию и выдает необходимую для данного животного дозу корма. Поскольку в зоне кормления расположены напольные весы, при кормлении производится взвешивание свиньи. На основании измеренной массы производится расчет следующей дозы корма. Этот процесс продолжается циклически до достижения свиньей требуемой массы. Недостатками такого метода являются:

- наличие весов, что усложняет систему откорма свиней и снижает надежность системы;
- в условиях промышленных свинокомплексов использование весов для измерения массы отдельного животного практически невозможно (сложно и нецелесообразно), поскольку свиньи находятся в групповых станках весь период откорма, и взвешивание животных создает стрессовую ситуацию для них, что существенно уменьшает значения привесов.

Нашей задачей является оптимизация технологических процессов кормления за счет адаптации модели привесов к фактическим параметрам откорма для получения максимального экономического эффекта откорма свиней. Для решения указанной задачи предлагается алгоритм адаптивного откорма свиней, включающий:

- содержание животных в групповых или индивидуальных станках;
- определение начальной и конечной средней массы животных в каждом станке путем взвешивания;
- распределение свиней по группам кормления с базовыми параметрами модели привесов и измененными от базовых значений в большую и меньшую сторону параметрами модели привесов;
- определение текущей массы животного путем расчета по модели привесов;
- определение оптимальной дозы кормления животных в зависимости от его расчетной текущей массы;
- нормированное кормление на станок;
- поддержание оптимальных параметров микроклимата;

- сравнение фактических результатов откорма и расчетных значений в конце цикла для групп животных с разными параметрами модели привесов;
- корректировку (при необходимости) параметров нормированной модели расчета привесов для следующего цикла откорма.

Групповая доза кормления рассчитывается по формуле

$$D_{\text{груп}} = ZD_{\text{корм}}, \quad (3.15)$$

где  $Z$  – число животных в станке,

$D_{\text{корм}}$  – суточная доза корма одному животному, к. ед.

При постановке на откорм группы животных по результатам предыдущих циклов откорма определяются основные параметры модели откорма: коэффициенты  $P_{100}$  и  $k$  (формулы (2.7) и (2.8), рис. 3.5.), которые являются базовыми коэффициентами для данного цикла откорма. Затем животные распределяются по групповым станкам, и путем взвешивания определяется их масса.

Чтобы на следующем цикле откорма определить оптимальные базовые значения параметров модели откорма, вводятся отклонения значений базовых коэффициентов параметров модели в сторону их уменьшения и увеличения на 10 %, т. е. получаются 9 возможных вариантов коэффициентов:

$$0,9 \cdot P_{100} \text{ и } 0,9 \cdot k; 0,9 \cdot P_{100} \text{ и } 1,0 \cdot k; 0,9 \cdot P_{100} \text{ и } 1,1 \cdot k; 1,0 \cdot P_{100} \text{ и } 0,9 \cdot k; \\ 1,0 \cdot P_{100} \text{ и } 1,0 \cdot k; 1,0 \cdot P_{100} \text{ и } 1,1 \cdot k; 1,1 \cdot P_{100} \text{ и } 0,9 \cdot k; 1,1 \cdot P_{100} \text{ и } 1,0 \cdot k; \\ 1,1 \cdot P_{100} \text{ и } 1,1 \cdot k.$$

Базовые и измененные значения коэффициентов параметров модели  $P_{100}$  и  $k$  применяются в разных станках в процессе откорма свиней. Затем ежедневно для каждого группового станка определяются расчетным путем доза корма и расчетный привес в соответствии с принятыми параметрами модели (формулы (2.5), (2.6)).

Масса животных на следующие сутки определяется путем добавления расчетного привеса к массе текущих суток. После завершения цикла откорма животные снимаются с откорма, и определяется их фактическая масса путем взвешивания. Результаты фактического взвешивания животных по станкам сравниваются с их расчетной массой. По результатам сравнения выбирают значения модели расчета привесов на следующий цикл откорма.

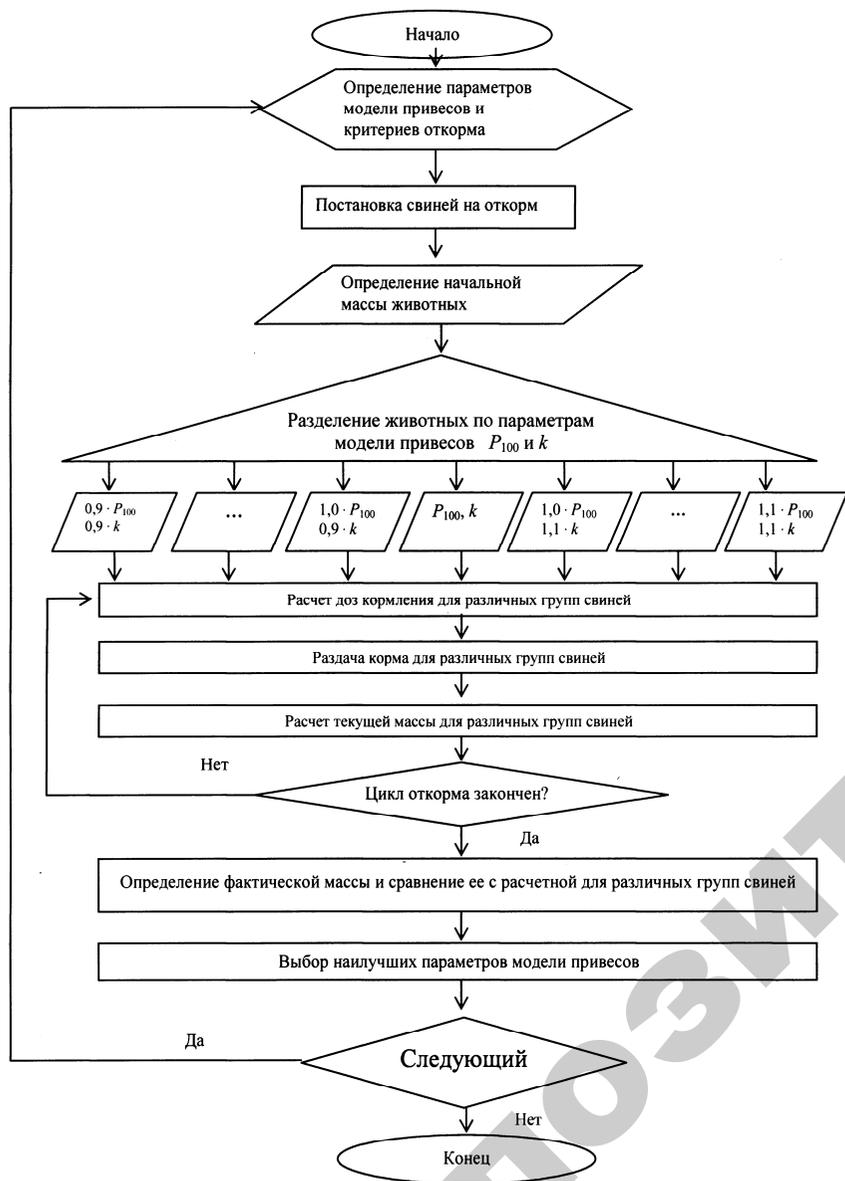


Рис. 3.5. Поисковый алгоритм адаптивного управления откормом свиней

Для реализации предлагаемого способа система адаптивного управления откормом свиней включает (рис. 3.6.):

- персональный компьютер 1 со специализированным прикладным программным обеспечением, которое включает: программные средства ведения базы данных 2 параметров модели откорма животных, блока расчета привесов и массы животных 3, блока расчета текущих параметров модели 4 и блок определения параметров модели расчета привесов по результатам предыдущих циклов откорма 5;
- микропроцессорные контроллеры 6, исполнительные механизмы 7 систем кормления и микроклимата и датчики системы микроклимата 8 для обеспечения расчетных значений выдаваемых животным доз корма и параметров микроклимата.

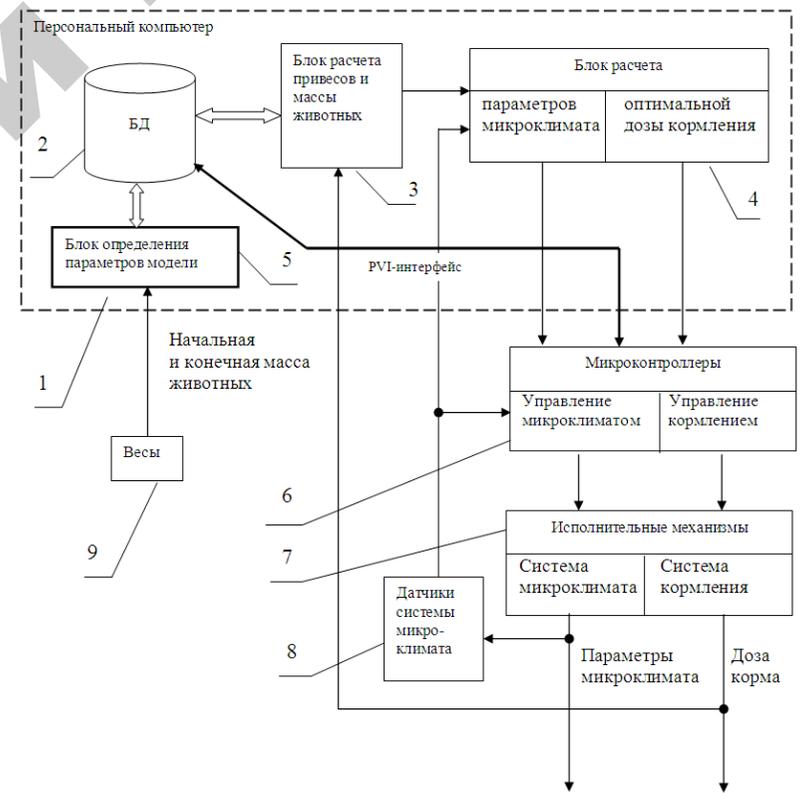


Рис. 3.6. Структура системы адаптивного управления откормом свиней

Программные модули блока расчета привесов и массы животных, блока расчета текущих параметров модели и блока определения параметров модели по результатам предыдущих циклов откорма выполнены с использованием электронных таблиц Microsoft Excel. В качестве средства ведения базы данных параметров модели откорма животных используется Microsoft Access. Для обеспечения интерфейса между персональным компьютером и микроконтроллерами используется программный комплекс PVI (Process Visualization Interface).

- весы 9 для определения начальной и конечной массы животных за период откорма.

Все элементы системы имеют интерфейс для обмена данными между собой.

При постановке свиней на откорм происходит распределение животных по станкам сектора откорма. Сектор откорма типового комплекса содержит 24 групповых станка, каждый из которых вмещает до 25 свиней. Начальная масса животных в станке определяется путем их взвешивания (рис. 3.6, блок 9) и усреднения полученного результата. Распределение станков животных по вариантам коэффициентов параметров модели осуществляется в базе данных персонального компьютера (рис. 3.6, блок 2). На их основании для каждого станка в блоке 4 «Расчет оптимальной дозы корма и параметров микроклимата» определяется доза корма. Данные о дозе корма и оптимальных параметрах микроклимата передаются на микроконтроллеры (блок 6), которые управляют исполнительными механизмами систем кормления и поддержания микроклимата (блоки 7, 8). На основании выданной дозы корма и данных о параметрах микроклимата рассчитывается привес свиней и их текущая масса (блок 3). Далее определяется, закончился ли период откорма. Этот процесс продолжается циклически до достижения даты окончания периода откорма, после чего определяется фактическая конечная масса для различных групп животных путем взвешивания на весах (блок 9) и заносится в базу данных персонального компьютера (блок 2). По результатам цикла откорма производится сравнение расчетных и фактических значений массы животных в каждом станке в блоке определения параметров модели 5 и определяется станок, в котором это расхождение минимально. Значения

коэффициентов параметров откорма этого станка будут приняты за базовые коэффициенты для следующего цикла откорма.

*Численный пример реализации адаптивного управления откормом свиней*

В сектор откорма поставлено 560 гол. свиней, разделенных на 24 группы. Предположим, что для данного цикла откорма приняты следующие оценки параметров модели привесов – базовые значения коэффициентов  $P_{100}$  и  $k$ :

$$P_{100}(\text{расч.}) = 1,38; k(\text{расч.}) = 0,033. \quad (3.16)$$

Но в силу ряда причин (например: поступили животные с другим генетическим потенциалом, поменялся поставщик комбикорма или изменился его состав) фактические параметры модели должны быть другими:

$$P_{100}(\text{факт.}) = 1,24; k(\text{факт.}) = 0,036. \quad (3.17)$$

Поскольку кормление осуществляется в соответствии с расчетными значениями этих параметров (3.16), а фактические привесы будут определяться значениями (3.17), то в конце цикла откорма фактические массы животных будут отличаться от расчетных. Это будет обозначать, что результаты откорма не будут оптимальными. Чтобы на следующий цикл откорма приблизить расчетные значения модели привесов к фактическим и обеспечить оптимальные параметры откорма, в соответствии с предлагаемым алгоритмом (рис. 3.6) имеющиеся 24 группы свиней кормят со следующими расчетными значениями коэффициентов (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Пример распределения свиней на откорме по групповым станкам и соответствующие им параметры модели откорма

№ станка	Число голов	Масса 1 гол., кг	$P_{100}(\text{расч.})$	$k(\text{расч.})$
1	20	39,6	1,38	0,033
2	22	36,6	1,38	0,033
3	25	41,2	1,38	0,033
4	23	37,1	$0,9 \cdot 1,38$	$1,1 \cdot 0,033$
5	22	36,0	$1,1 \cdot 1,38$	$1,0 \cdot 0,033$
6	22	37,1	1,38	0,033

Окончание табл. 3.1

№ станка	Число голов	Масса 1 гол., кг	$P_{100}$ (расч.)	$k$ (расч.)
7	18	37,3	1,38	0,033
8	25	35,5	1,38	0,033
9	24	43,4	$1,0 \cdot 1,38$	$0,9 \cdot 0,033$
10	19	40,4	1,38	0,033
11	28	40,0	$1,1 \cdot 1,38$	$0,9 \cdot 0,033$
12	24	39,1	1,38	0,033
13	23	39,1	$0,9 \cdot 1,38$	$1,0 \cdot 0,033$
14	25	38,2	1,38	0,033
15	25	37,2	1,38	0,033
16	19	41,7	1,38	0,033
17	27	38,8	1,38	0,033
18	23	39,2	$1,1 \cdot 1,38$	$1,1 \cdot 0,033$
19	27	42,5	$0,9 \cdot 1,38$	$0,9 \cdot 0,033$
20	22	34,9	1,38	0,033
21	30	39,1	1,38	0,033
22	23	36,9	1,38	0,033
23	24	41,1	$1,0 \cdot 1,38$	$1,1 \cdot 0,033$
24	20	40,6	1,38	0,033
Всего	560			

Расчет ежедневных расчетных и фактических значений массы свиней, привесов, поддерживающих доз и дозы кормления, групповой дозы кормления производится по моделям, разработанным в электронных таблицах Microsoft Excel (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Результаты цикла откорма по группам животных

№ станка	Масса 1 гол., кг	$P_{100}$ (расч.), кг	$k$ (расч.)	Масса, кг			Удельный расход корма, к. ед./кг		
				расч.	факт.	Раз-ность	расч.	факт.	Раз-ность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	39,6	1,38	0,033	102,7	93,3	9,4	3,68	4,34	0,66
2	36,6	1,38	0,033	98,9	89,6	9,3	3,59	4,22	0,63
3	41,2	1,38	0,033	104,8	95,2	9,6	3,73	4,39	0,66

Окончание табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	37,1	$0,9 \cdot 1,38$	$1,1 \cdot 0,033$	92,7	93,0	0,3	4,31	4,28	0,03
5	36,0	$1,1 \cdot 1,38$	$1,0 \cdot 0,033$	105,2	90,5	14,7	3,31	4,23	0,92
6	37,1	1,38	0,033	99,6	90,3	9,3	3,61	4,24	0,63
7	37,3	1,38	0,033	99,9	90,5	9,4	3,62	4,25	0,63
8	35,5	1,38	0,033	97,5	88,3	9,2	3,56	4,18	0,62
9	43,4	$1,0 \cdot 1,38$	$0,9 \cdot 0,033$	107,6	92,8	14,8	3,42	4,41	0,99
10	40,4	1,38	0,033	103,8	94,3	9,5	3,71	4,36	0,65
11	40,0	$1,1 \cdot 1,38$	$0,9 \cdot 0,033$	110,3	90,3	20	3,10	4,32	1,22
12	39,1	1,38	0,033	102,1	92,7	9,4	3,67	4,32	0,65
13	39,1	$0,9 \cdot 1,38$	$1,0 \cdot 0,033$	95,2	91,1	4,1	3,98	4,30	0,65
14	38,2	1,38	0,033	101,0	91,6	9,4	3,65	4,28	0,63
15	37,2	1,38	0,033	99,7	90,4	9,3	3,61	4,25	0,64
16	41,7	1,38	0,033	105,4	95,8	9,6	3,75	4,41	0,66
17	38,8	1,38	0,033	101,8	92,3	9,5	3,66	4,31	0,65
18	39,2	$1,1 \cdot 1,38$	$1,1 \cdot 0,033$	109,3	98,8	10,5	3,76	4,42	0,66
19	42,5	$0,9 \cdot 1,38$	$0,9 \cdot 0,033$	99,4	90,2	9,2	3,69	4,41	0,72
20	34,9	1,38	0,033	96,8	87,6	9,2	3,54	4,16	0,62
21	39,1	1,38	0,033	102,1	92,7	9,4	3,67	4,32	0,65
22	36,9	1,38	0,033	99,3	90,0	9,3	3,60	4,24	0,64
23	41,1	$1,0 \cdot 1,38$	$1,1 \cdot 0,033$	104,7	99,6	5,1	4,11	4,46	0,35
24	40,6	1,38	0,033	104,1	94,5	9,6	3,72	4,37	0,65

Для каждого станка расчетная таблица формируется на отдельном листе электронной таблицы.

На откорм в станок № 1 ставятся свиньи средней массой 39,6 кг. Длительность цикла откорма составляет 123 дня. Значение коэффициента отношения дозы кормления к дозе поддерживающей

$$A_{opt} = 2,41. \quad (3.18)$$

Для определенной массы животного ежедневно определяются расчетные и фактические значения поддерживающей дозы корма по формуле (2.8) с соответствующими коэффициентами, оптимальная доза кормления – по формуле (3.18), групповая доза кормления – по формуле (3.15), расчетные и фактические значения привеса –

по формуле (2.5) с соответствующими коэффициентами (формулы (3.16) и (3.17)).

Например, для начальной массы животного  $m = 39,6$  кг (1-е сутки откорма), расчетная поддерживающая доза корма равна

$$Drash_{pod} = k_{rash} (m)^{0,75} = 0,033 \cdot 39,6^{0,75} = 0,5218 \text{ к. ед.},$$

а фактическая поддерживающая доза корма равна

$$Dfakt_{pod} = k_{fakt} (m)^{0,75} = 0,036 \cdot 39,6^{0,75} = 0,568 \text{ к. ед.}$$

Доза кормления рассчитывается исходя из расчетной поддерживающей дозы:

$$D_{korm} = 2,41 \cdot Drash_{pod} = 2,41 \cdot 0,521 = 1,255 \text{ к. ед.}$$

Групповая доза кормления согласно (3.39) равна

$$Dgrup_{korm} = ND_{korm} = 20 \cdot 1,255 = 25,109 \text{ к. ед.}$$

Расчетный суточный привес одной головы согласно (2.5) равен

$$\begin{aligned} P(m)rash &= P_{100}rash \left( \frac{m_{rash}}{100} \right)^{0,25} \left( \frac{D_{korm} - Drash_{pod}}{D_{korm} + Drash_{pod}} \right) = \\ &= 1,38 \left( \frac{39,6}{100} \right)^{0,25} \left( \frac{1,255 - 0,521}{1,255 + 0,521} \right) = 0,453 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Фактический суточный привес согласно равен

$$\begin{aligned} P(m)fakt &= P_{100}fakt \left( \frac{m_{fakt}}{100} \right)^{0,25} \left( \frac{D_{korm} - Dfakt_{pod}}{D_{korm} + Dfakt_{pod}} \right) = \\ &= 1,24 \cdot \left( \frac{39,6}{100} \right)^{0,25} \left( \frac{1,255 - 0,568}{1,255 + 0,568} \right) = 0,371 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Далее определяется новое расчетное значение массы свиньи (2-е сутки откорма):

$$mrash_{i+1} = mrash_i + P(m)rash = 39,6 + 0,453 = 40,053 \text{ кг.}$$

где  $mrash_{i+1}$  – новое расчетное значение массы свиньи, кг;  
 $mrash_i$  – текущее расчетное значение массы свиньи, кг.

Далее определяется нового фактическое значение массы свиньи (2-е сутки откорма):

$$mfakt_{i+1} = mfakt_i + P(m)fakt = 39,6 + 0,371 = 39,971 \text{ кг.}$$

где  $mfakt_{i+1}$  – новое расчетное значение массы свиньи, кг;  
 $mfakt_i$  – текущее расчетное значение массы свиньи, кг.

Для вторых суток откорма расчет всех показателей производится по тем же формулам, но для новых значений расчетной и фактической масс животных.

Расчет производится аналогично для каждого суток цикла откорма в течение 123 дней.

По окончании цикла откорма для каждого станка определяются расчетная и фактическая масса животных, расчетный и фактический удельный расход корма. Данные по всем станкам сведены в табл. 3.2.

После завершения цикла откорма определяется конечная средняя масса животных путем их взвешивания. По результатам данного цикла откорма (табл. 3.2) следует, что наиболее близкие значения получены для группы свиней, находившихся в станке № 4. Следовательно, для следующего цикла откорма будут приняты новые значения:

$$P_{100}(\text{расч.}) = 1,24; \quad k(\text{расч.}) = 0,036. \quad (3.19)$$

Новый цикл откорма начинается с учетом результатов предыдущих циклов, что дает возможность минимизировать удельный расход корма или другие показатели откорма в соответствии с выбранным критерием.

Предлагаемый способ позволяет обеспечивать изменение параметров откорма свиней в соответствии с их генетическим потенциалом, кормовой базой и технологией содержания, что повышает эффективность откорма.

Применение адаптивного управления позволит осуществлять откорм свиней оптимальным образом в условиях конкретного свиноводческого предприятия.

### 3.3. Возможности построения интегрированных систем в свиноводстве

Анализ зарубежного опыта показывает массовое внедрение компьютерных систем управления в сельскохозяйственное производство. На международных конференциях внедрение новых информационных технологий в управление производством рассматривается как одно из приоритетных направлений развития. Так, в концептуальных докладах [21] утверждается: «Важным направлением в области автоматизации и информатизации электрифицированного сельскохозяйственного производства является создание автоматизированных систем управления для нормированного кормления животных, основанных на информационных технологиях и базах данных о животных».

Сложность объекта управления, недостаточность средств получения и переработки информации приводят к тому, что многие управленческие решения на разных уровнях принимаются интуитивно.

Производство свинины носит интегрированный характер, и эффективность его определяется согласованным решением зоотехнических, ветеринарных технологических и экономических задач, однако на практике уровень взаимодействия низок. Новое поколение систем управления, основанное на достижениях новых информационных технологий, позволяет преодолеть данное противоречие путем создания интегрированных автоматизированных систем управления (ИАСУ). Могут быть выделены следующие уровни иерархически связанных целей производства [7].

*1 уровень.* Производственно-технологические цели, которые определяют соблюдение параметров технологии, плановых параметров производственных звеньев. Достижению этих целей могут способствовать комплекс средств микропроцессорного управления основными поточно-механизированными линиями.

*2 уровень.* Техничко-экономические цели предприятия, включая оптимизацию производства по обоснованным критериям. Для их достижения, как правило, недостаточно локальных ресурсов, а требуется согласованное взаимодействие АСУ ТП, АСУ П, АСНИ и других систем, их комплексирование. Примером таких целей является достижение заданного (минимального) значения себестоимости.

*3 уровень.* Цели стратегические, связанные с прогнозированием, выбором вида продукции, способа ее производства и т. д.

Но, ведя разработку по принципу снизу вверх, от создания отдельных поточно-механизированных линий с микропроцессорным управлением, необходимо предусматривать их последующую горизонтальную и вертикальную интеграцию (рис. 3.7). Автоматизация нижнего уровня создает надежные предпосылки автоматизации среднего и верхнего уровня управления предприятием. Кормление и микроклимат – наиболее сложные и дорогие процессы в производстве свинины, и их автоматизация является первоочередной задачей.

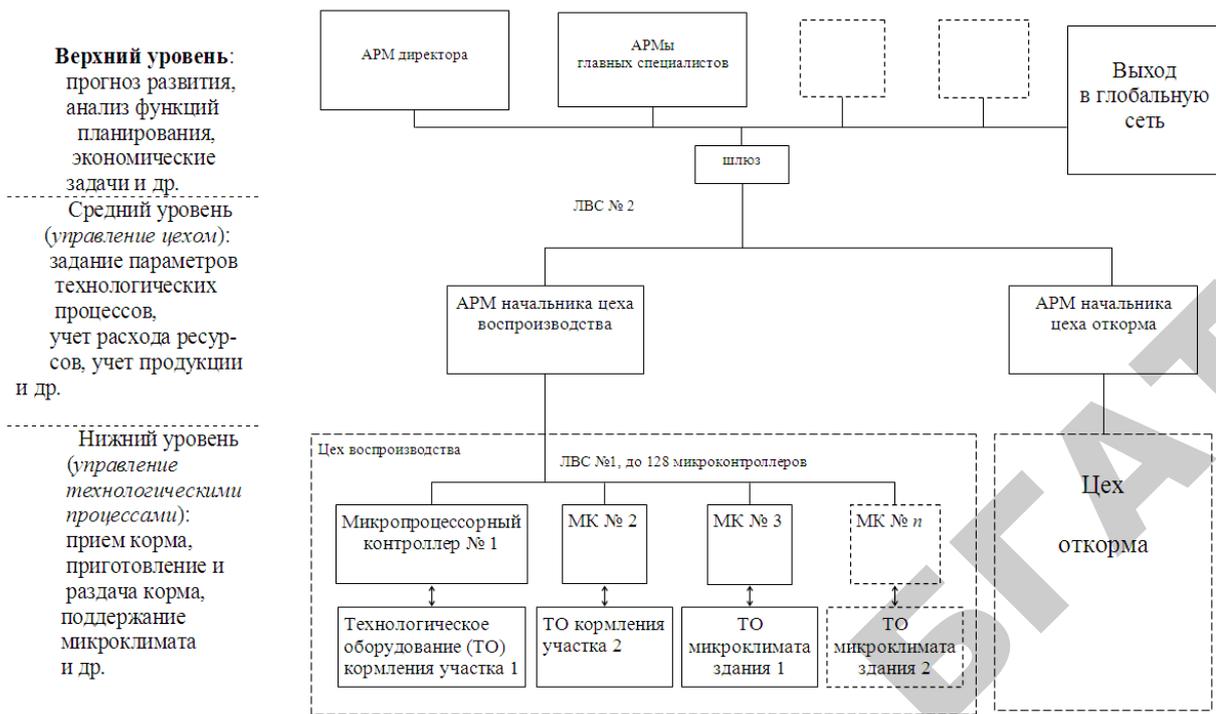


Рис. 3.7. Примерная структура ИАСУ промышленного свиного комплекса

Программно-технической основой АСУ ТП должны стать микро-процессорные контроллеры общепромышленного применения. Существенным и неотъемлемым свойством АСУ ТП сельскохозяйственного назначения должна стать функциональная диагностика технологического оборудования. Использование знаний о возможных отказах и их проявлениях может существенно повысить надежность выполнения технологического процесса, что является несомненным преимуществом информационных технологий управления. Новые технологии управления, основанные на идеологии локальных вычислительных сетей и общих баз данных, создают принципиальную возможность преодоления существующей локальности управления производством свинины. Сложность задач интеграции управления состоит в том, что традиционно решением задач различных уровней управления, начиная с нижнего уровня непосредственного управления технологическими процессами, включая задачи уровня участка-цеха и заканчивая задачами верхнего – уровня предприятия, занимаются разные специалисты и используют сложно совместимые программно-технические средства. До тех пор, пока эти уровни управления функционируют между собой, по крайней мере, в программно-аппаратном смысле, независимо друг от друга такое положение дел не вызывает особых трудностей. Но, ставя перед собой задачу создания трехуровневой информационно-управляющей системы, обеспечивающей совместимость алгоритмическую, информационную и аппаратную, мы уделили значительное внимание анализу подобных технологий с учетом последних тенденций решения таких сложных задач. Анализ литературы и новейших научно-технических разработок, как отечественных, так и зарубежных, показывает, что для связи с ЭВМ верхнего уровня разработчики АСУ ТП используют разнообразные SCADA и ограничиваются задачами визуализации, накопления статистики, учета аварий и т. п., не ставя перед собой задачи интеграции с задачами уровня управления предприятия.

### 3.3.1. Разработка структуры и алгоритма двухуровневой модели системы управления производственным участком промышленного свиного комплекса

Анализ возможных подходов к решению задач по автоматизации участка откорма свиного комплекса показал перспективность,

в качестве первого шага к интеграции, двухуровневой структуры системы, где на верхнем уровне осуществляется ведение базы данных по животным и решаются задачи по определению алгоритма функционирования нижнего уровня непосредственного управления технологическими процессами (рис. 3.8).

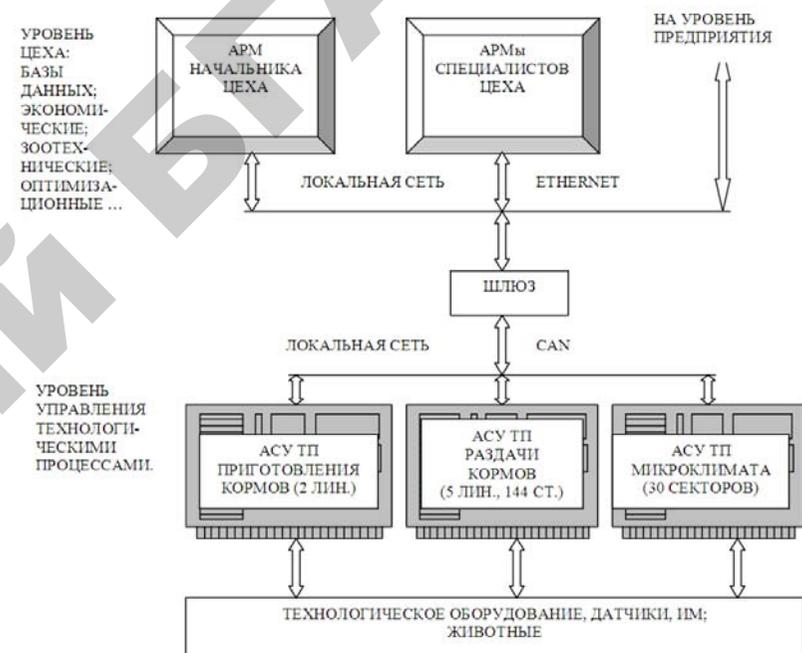


Рис. 3.8. Двухуровневая структура управления ПМЛ для откорма свиней

Первоочередными задачами для производства является упорядочение процессов кормления свиней, поэтому на данном этапе основное внимание было уделено следующим вопросам (рис. 3.9):

- программно-технической реализации базы данных по животным, с учетом их мест содержания, сроков постановки на откорм и т. д.;
- программной реализации динамической модели откорма свиней;
- расчету оптимальных (по экономическим критериям) доз кормления по групповым станкам производственных помещений участка откорма;

– программно-технической реализации обмена контроллер–ПЭВМ по протоколу DDE, созданию лабораторной модели двухуровневой АСУ и проведению исследовательских испытаний.

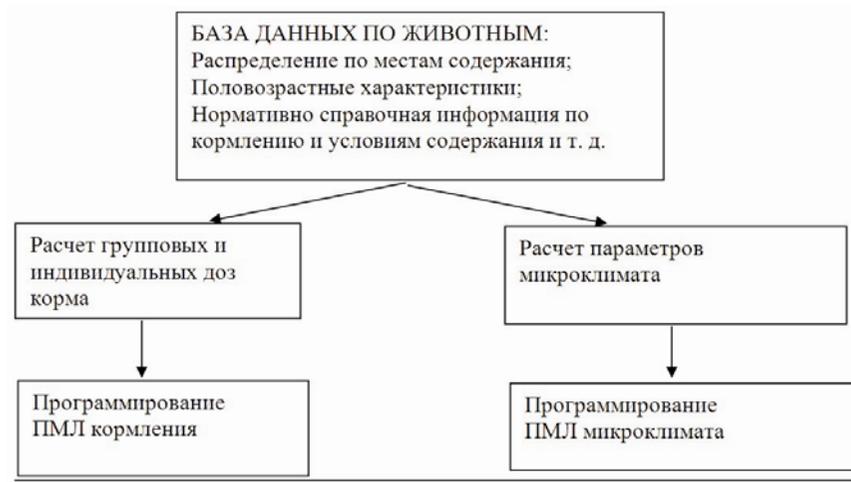


Рис. 3.9. Структура информационного обеспечения двухуровневой системы выбора и управления поточно-механизированными линиями откорма свиней

Аппаратная реализация данной информационной структуры требует наличия персональной электронной вычислительной машины (ПЭВМ) и микропроцессорных программируемых контроллеров. На ПЭВМ, работающую под управлением операционной системы (ОС) Windows, возлагаются задачи ведения базы данных по животным, нормативно-справочной информации, решение прикладных задач. В качестве первоочередной задачи выступает расчет групповых доз корма по производственным помещениям свиного комплекса и обеспечение обмена с микропроцессорными контроллерами. На микропроцессорные контроллеры возлагаются задачи обмена данными с ПЭВМ и непосредственное управление технологическим оборудованием свиного комплекса. Аппаратно обмен между ПЭВМ и микропроцессорными контроллерами организуется по стандартному интерфейсу RS-232 С.

Для ведения базы данных по животным выбрано стандартное приложение Microsoft Office (реляционная база данных Microsoft

Access). Математическая модель откорма свиней реализована в среде программирования Delphi. Обмен данными между Windows-приложениями и управляющей технологической программой осуществляется с использованием технологии DDE.

Нижний уровень управления ориентирован на использование системы автоматизации В&R 2000. Аппаратно система содержит три класса контроллеров – 2003, 2005 и 2010, а также Power Panel PP21 и PP41, каждый из которых, в свою очередь, может быть сконфигурирован под свою задачу. Такой подход позволяет легко выбрать соответствующую аппаратную платформу под конкретную задачу. SYSTEM 2000 обеспечивает выполнение логических и аналоговых функций, сбор и накопление данных, учет аварий и статистический анализ. SYSTEM 2000 имеет многозадачную операционную систему реального времени, специально адаптированную к задачам управления технологическими процессами. Система программирования – Automation Studio – упрощает конфигурирование и программирование задач автоматизации. Технологические параметры и данные управляемого процесса адресуются символически. Аппаратные средства автоматически распознаются и поддерживаются системой программирования. Automation Studio позволяет программировать на всех стандартных языках: Automation Basic, ANSI-C, IEC 61131-3 – лестничные диаграммы (LAD), список команд (IL), структурированный текст (ST), последовательная функциональная схема (SFC), редактор модулей данных и редактор типов данных.

### 3.3.2. Примерная структура базы данных цеха откорма свиного комплекса

Одним из базовых и инвариантных элементов создаваемой системы является база данных по животным участка откорма. Эта база содержит следующие основные сведения.

*Здание № 1* (всего 5 зданий):

– сектор № 1 (всего 6 секторов в каждом здании);

– станок № 1 (всего 24 станка в секторе): занят/свободен, ремонт, санобработка.

Свиньи в групповом станке:

- число (0–25);
- дата постановки на откорм;
- начальная масса;
- половозрастные характеристики;
- порода;
- суммарный расход корма на станок/гол.;
- текущая масса (станок/гол.).

Планируемая доза корма на следующее кормление 0–200 л.

Структура НСИ (нормативно-справочной информации):

- день откорма (масса свиньи);
- марка комбикорма;
- норма расхода комбикорма на одну голову.

*Задача 1.* Расчет текущей дозы жидкого корма для группового станка:

- 1) по нормам кормления;
- 2) планируемыми привесам.

*Задача 2.* Прогнозирование привесов по групповым станкам.

Основу для решения данной задачи составляет динамическая модель откорма свиней, разработанная в 2002 году [3].

*Задача 3.* Суммарный расход корма за текущий период откорма на станок/гол.

*Задача 4.* Себестоимость откорма (сектор/станок).

*Задача 5.* Учет/планирование наличия комбикорма.

*Задача 6.* Расчет параметров микроклимата по секторам. Температура. Объем вентиляции.

Как для пользователей, так и для разработчиков Microsoft Windows предлагает множество преимуществ, которые включают в себя:

- MS Windows и другие программные продукты;
- межпрограммное взаимодействие и связь;
- многозадачность: возможность одновременно запускать множество программ;
- доступ к большему объему памяти: MS Windows поддерживает защищенный режим. Для разработчиков эти преимущества включают в себя:

– непосредственную поддержку широкого диапазона периферийных устройств ввода/вывода;

- богатую библиотеку графических подпрограмм;
- больше памяти для больших программ;
- взаимодействие между программами через интерфейсы поддерживаемые программами и самой операционной системой;

- большинство лицензионного программного обеспечения написано для платформы MS Windows, в том числе и B&R Automation, что является решающим фактором при выборе операционной системы.

К недостаткам MS Windows и других программных продуктов Microsoft следует отнести то, что установка системы требует лицензионного соглашения. Это приводит к дополнительным затратам при разработке системы, которые связаны с покупкой лицензии на ПО Microsoft и B&R Automation.

*Обоснование выбора реляционного типа базы данных*

Реляционные базы данных (БД) обладают следующими преимуществами:

- быстрота разработки БД и при случае модернизации;
- удобство работы с БД;
- все современные программные продукты используют реляционную модель данных. К ним относятся MS Access, MS SQL Server, Oracle и Borland Database.

### **3.3.3. Разработка лабораторной модели**

#### **двухуровневой системы управления участком откорма**

В лабораторной модели (рис. 3.10) информация о текущих параметрах технологического процесса откорма передается из контроллера в персональный компьютер. Далее эта информация обрабатывается, и необходимые управляющие воздействия передаются через интерфейс PVI на нижний уровень системы управления. Такой цикл управления дает возможность корректировать процесс откорма с целью его оптимизации.

Выбор ПО для разработки и использования БД сложен и зависит от многих факторов, но, в первую очередь, от доступности ПО

и количества пользователей, работающих с БД. Для начала выбран MS Access, так как он широко распространен и наиболее удобен в использовании.

В проекте предусмотрена возможность перехода на любую другую реляционную БД на платформе MS Windows с поддержкой технологий ADO или OLE DB.

В общем виде схема передачи данных отображена на рис. 3.10, б).

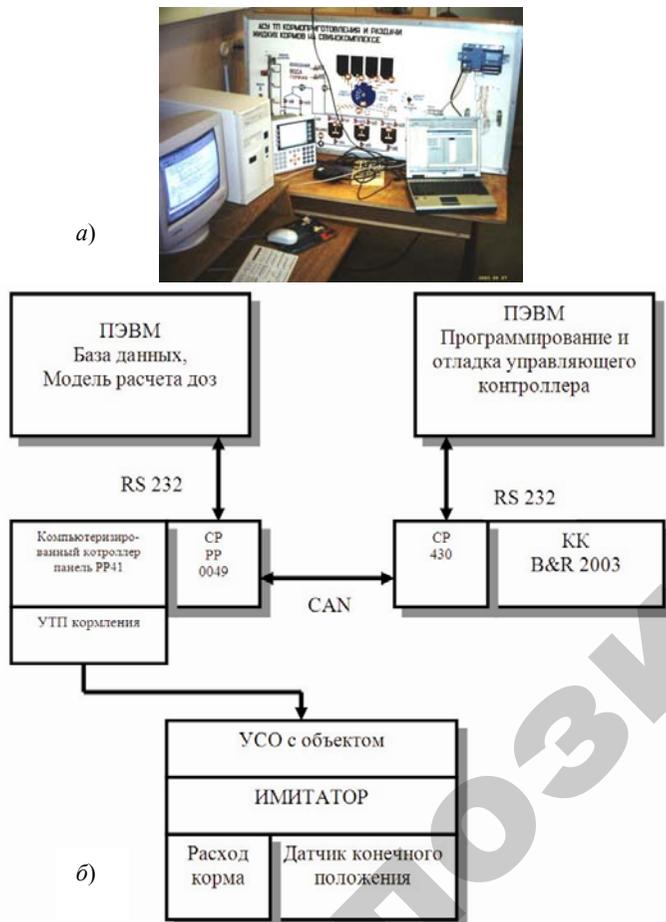


Рис. 3.10. Лабораторная модель двухуровневого управления участка откорма: а) – общий вид; б) – структурная схема

В начале работы программы связи неактивны соединения с базой данных и DDE-сервером. Оператор подключает программу к базу данных и DDE-серверу. Связь с базой данных осуществляется по интерфейсу ADO. Поэтому перед подключением оператор должен проверить правильность имени базы данных и опции подключения. Программа помнит предыдущее подключение. При подключении программа связи проверяет последний день связи с базой данных.

При изменении информации по станкам программа проверяет правильность вводимых данных и их полноту. Так, при вводе средней массы животных по станку программа запрашивает остальную информацию. Если оператор отказывается ввести остальную информацию, то отменяется весь ввод информации по данному станку. Так же проверяется диапазон вводимых данных.

Информация по животным разделяется по станкам, секторам и зданиям, но группируется по откормам. Станок может принадлежать откорму или быть пустым, или стоять на ремонте. Информация по откормам располагается отдельно. Откорм можно создать, удалить и частично изменить. Время начала откорма не изменяется и устанавливается при создании откорма. Состояние откорма изменяется внутренними часами в установленное время суток.

При создании откорма животных можно распределить по секторам автоматически с последующей корректировкой. При удалении откорма удаляется из базы данных вся информация, связанная с ним. Поэтому, если удалить текущий откорм, то пропадет вся информация по станкам, в которых был удаленный откорм. Программный модуль расчета привесов выполнен с использованием электронных таблиц Microsoft Excel.

Последовательное увеличение объемов получаемой и перерабатываемой информации (рис. 3.11), начиная с совершенствования поточно-механизированных линий приготовления и раздачи кормов, позволит улучшать параметры откорма. Упорядочив процессы кормления и микроклимата, можно решать задачи по оптимизации производства в целом, включая учет и прогноз.

С уровня цеха

↓

ЗАДАНИЕ

726 байт / 2 раза  
в сутки

Нормы кормления
Вид комбикорма



На уровень цеха

↑

ОТЧЕТ

14 байт / сут.

Расход комбикорма
Расход воды
Расход энергии
Аварии оборудования

Рис. 3.11. Информационная модель управления процессом кормления свиней

Таблица 3.3

Характеристики систем управления процессом кормления свиней

Вид управления	Обработываемый поток информации, бит/с	Отклонение от задания, %	Потери в год		
			Комбикорм, т	Вода, м <sup>3</sup>	Привесы, %
Ручной режим	20–100	± 50	700	3650	2
Локальные АСУ ТП	640–2000	± 3	70	3650	0
Интегрированная АСУ (прогноз)	3000–6000	± 1	0	0	Рост привесов

Таблица 3.4

Информационные потоки системы управления процессом кормления свиней

Наименование параметра	Объем информации, бит	Периодичность ввода/вывода, с	Источник/назначение Ввод/вывод, (I/O)
1	2	3	4
Плановая доза корма	780 · 8	Два раза в сутки	Оператор, I
Текущая доза корма	2 · 8	0,1	Расходомер + ОЗУ, I

Окончание табл. 3.4

1	2	3	4
Положение Раздаточных тележек	30	0,1	Датчики конечного положения, I
Влажность жидкого корма	8	При необходимости	Оператор, I
Вид комбикорма	8	60 раз/2 ч	Оператор, I
Расход комбикорма	6–60	0,1	Весы, I
Расход воды	60	0,1	Расходомер воды, I
Расход жидких кормов	60	0,1	Расходомер, I
Состояние технологического оборудования	Функциональная диагностика	1	Оператор, O
– шнеки, затворы, клапаны	10–100	0,1	Оборудование, O
– двигатели тележки	60	0,1	Оборудование, O

### Выводы по главе 3

1. Проведено множество исследований, показывающих зависимость привесов свиней от параметров микроклимата или уровня кормления. Эти два технологических процесса рассматриваются отдельно, при проведении опытов не всегда учитываются существенные факторы, что приводит к противоречивым рекомендациям. Новые технологии управления, основанные на идеологии вычислительных сетей и общих баз данных, создают принципиальную возможность преодоления существующей локальности управления производством свинины.

2. Учет ежесуточной динамики прироста массы свиней на откорме позволяет обоснованно выбирать необходимый объем вентиляции и внутренней температуры производственных секторов. Ежесуточную корректировку параметров вентиляции обеспечивает

использование частотно-регулируемого привода вентиляторов. При этом достигается экономия до 10–30 % электрической энергии. В холодное время года ежедневно необходимо осуществлять расчеты по выбору уровня кормления свиней и внутренней температуры откормочников в зависимости от наружной температуры, массы и количества животных, цен на корма и свинину.

Различные условия промышленных комплексов, в частности, разные корма, породы свиней и условия содержания, обуславливают необходимость адаптации параметров поточно-механизированных линий откорма.

3. Синтезирована математическая модель, обобщающая результаты зоотехнических опытов и учитывающая взаимосвязь параметров кормления и микроклимата при откорме свиней. На основе математической модели создана компьютерная программа, позволяющая имитировать процесс откорма свиней при различных условиях откорма и получать высокие экономические показатели. Использование взаимосвязанного и адаптивного управления технологическими процессами кормления и микроклимата позволит экономить до 10–30 % электрической и тепловой энергии и на 5–10 % повысить рентабельность откорма.

4. В основу методологии применения новых информационных технологий управления должна быть положена концепция компьютерно-интегрированного производства: от создания локальных систем управления отдельными технологическими процессами и установками к комплексным и интегрированным системам управления производством свинины.

5. Обоснована структура и разработаны модельные программы двухуровневой системы управления участка откорма свиноводческого комплекса. Инвариантной основой системы является база данных по животным и динамическая модель откорма свиней, на основе которых определяются текущие дозы кормления для групповых станков производственных помещений. Для организации обмена между приложениями используются стандартные интерфейсы типа DDE, а аппаратный обмен контроллер–ПЭВМ реализован на интерфейсе RS-232. Проведенные исследовательские испытания лабораторной модели двухуровневой модели управления участком откорма свиней подтвердили правильность выбранных программно-технических средств.

6. Однако все эти результаты могут быть достигнуты только при наличии надежных и многофункциональных поточно-механизированных линий приготовления и раздачи кормов с микропроцессорным управлением, эффективность которых должна быть доказана в условиях промышленного свиноводства.

### Список литературы к главе 3

1. Баротфи, И. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах / И. Баротфи, П. Рафай ; пер. с венг. Э. Шандора, А.И. Залепукина. – М. : Агропромиздат, 1988. – 228 с.
2. Венедиктов, А.М. Кормление сельскохозяйственных животных : справочник / А.М. Венедиктов, П.И. Викторов ; под ред. А.П. Калашникова. – М. : Росагропромиздат, 1988. – 366 с.
3. Виноградов, В.Н. Научное обеспечение свиноводства / В.Н. Виноградов // Матер. координационного совещания по проблемам науч. обеспечения свиноводства России на период 2008–2012 гг. – Дубровицы : ВИЖ, 2008. – С. 16–23.
4. Гируцкий, И.И. Теоретические основы связанного управления процессами кормления и создания микроклимата. [текст] / И.И. Гируцкий, А.Ю. Кучинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 3. – С. 22–24.
5. Гируцкий, И.И. Адаптивное управление откормом свиней / И.И. Гируцкий // Тракторы и сельхозмашины. – 2005. – № 12. – С. 39–42.
6. Гируцкий, И.И. Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для откорма свиней : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / И.И. Гируцкий, ФГОУ ВПО МГАУ. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 36 с.
7. Дубровин, А.В. Перспектива связанного автоматизированного управления кормлением и микроклиматом в птицеводстве / А.В. Дубровин // Автоматизированное кормление сельскохозяйственных животных и птицы : сб. науч. труд. – М. : ИЭСХ, 1993. – С. 117–128.
8. Дубровин, А.В. Структура экономически оптимальной АСУ ТП локального и общего обогрева птицефабрики / А.В. Дубровин // Автоматизация сельскохозяйственного производства : сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Углич, 29–30 сентября 2004 г. – Углич, 2004. – Ч. 2. – С. 22–30.

9. Дринчи, В.М. Перспективы применения информационных технологий в сельском хозяйстве / В.М. Дринчи // Вестник Росс. акад. сельскохоз. наук. – 2002. – № 6. – С. 15–17.

10. Лебедь, А.А. Математическая модель продуктивности животных и птицы как объекта управления по микроклимату // Науч.-техн. бюл. по электрификации с. х. – М. : ВИЭСХ, 1979. – Вып. 2. – С. 38–43.

11. Лебедь, А.А. Микроклимат животноводческих помещений. – М. : Колос, 1984. – 199 с.

12. Методология оценки и моделирования комфортных условий содержания свиней / Метод. указания для слушателей ФПК. – Минск : БГАТУ, 2003. – 120 с.

13. Мусин, А.М. Методические рекомендации по технико-экономической оценке автоматизированных технологических процессов животноводства / А.М. Мусин. – М. : ВИЭСХ, 2003. – 44 с.

14. Мусин, А.М. Как сделать автоматизацию эффективной / А.М. Мусин // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 1. – С. 19.

15. Мусин, А.М. Состояние и задачи автоматизации промышленного свиноводства / А.М. Мусин, А.Е. Елховский, А.В. Марков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 7. – С. 26–28.

16. Мусин, А.М. Показатели эффективности автоматического дозирования кормов / А.М. Мусин // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – № 2. – С. 15–16.

17. Мусин, А.М. Выбор кормораздатчика по технико-экономическому критерию / А.М. Мусин, В.И. Ломов // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 5. – С. 30–34.

18. Мусин, А.М. Технологический эффект автоматизации биотехнических систем производства / А.М. Мусин // Автоматизация сельскохозяйственного производства : сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Углич, 29–30 сентября 2004 г. – Углич, 2004. – Ч. 2. – С. 66–76.

19. Мороз, Ю.Д. Эффективность механизации и автоматизации свиноводства / Ю.Д. Мороз, В.В. Ширшова. – Мн. : Ураджай, 1992. – 127 с.

20. Морозов, Н.М. Стратегия автоматизации производственных процессов в животноводстве / Н.М. Морозов, Н.Н. Новиков //

Автоматизация сельскохозяйственного производства : сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Углич, 29–30 сент. 2004. – Углич, 2004. – Ч. 1. – С. 75–83.

21. Морозов, Н.М. Оптимизация комплектов технических средств и моделирование технологических процессов при производстве свинины / Н.М. Морозов, В.И. Ломов, Д.К. Ларкин. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 216 с.

22. Мурусидзе, Д.Н. Технология производства продукции животноводства / Д.Н. Мурусидзе, А.Б. Левин. – М. : Агропромиздат, 1992. – 222 с.

23. Мурусидзе, Д.Н. Установки для создания микроклимата на животноводческих фермах / Д.Н. Мурусидзе, А.М. Зайцев, Н.А. Степанова. – М. : Колос, 1979. – 327 с.

24. Палкин, Г.Г. Рынок техники для производства молока в Беларуси: аналит. обзор / Г.Г. Палкин ; Белорус. науч. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК. – Минск, 2003. – 33 с.

25. Самарин, В.А. Энергосберегающие системы управления микроклимата животноводческих помещений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / В.А. Самарин; ФГОУ ВПО МГАУ. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2001. – 33 с.

26. Солдатов, В.В. Методы робастного и адаптивного управления технологическими процессами / В.В. Солдатов, В.П. Борцов // Теория и практика построения и функционирования АСУ ТП : тр. Междунар. науч. конф. CONTROL–2003. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – С. 21–28.

27. Gerasimovitch, L. Energy-ecological results of computer based feeding of pigs / L. Gerasimovitch, I. Hirutski // Advanced technologies for energy producing and effective utilisation. Proceedings of the International Scientific Conference, Latvia, Jelgava, May, 27–28, 2004 / Latvia Universiti of Agriculture. – Jelgava, 2004. – P. 17–20.

## **ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОТОЧНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И РАЗДАЧИ ЖИДКИХ КОРМОВ ДЛЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ БЕЛАРУСИ**

Реализация моделей дозированного кормления, связанного, адаптивного и интегрированного управления в условиях действующих свиноводческих комплексов требует поиска рационального взаимодействия существующего технологического оборудования и новых систем управления. Использование существующего оборудования серьезно сокращает необходимые капитальные вложения и позволяет достаточно быстро получить эффект от новых технологий управления. При этом на разработчика накладываются определенные ограничения, что требует нахождения путей придания действующему оборудованию новых качеств за счет возможностей микропроцессорного управления [1, 18].

### **4.1. Разработка новых схем и режимов технологических процессов приготовления и раздачи жидких кормов**

Реконструкция действующих свиноводческих комплексов может стать эффективным направлением повышения эффективности их функционирования, но требуются определенные усилия по совершенствованию технологического оборудования и процессов с учетом требований точных технологий и возможностей микропроцессорного управления. При этом основными технологическими процессами при откорме свиней являются процессы приготовления и раздачи жидких кормов.

#### **4.1.1. Основные требования к параметрам технологических процессов приготовления и раздачи жидких кормов**

На комплексах КПС-54, КПС-108 основная часть корма раздается животным в жидком виде. Разбавление корма в соотношении 1:3,

что соответствует влажности 78,6 %, позволяет транспортировать его по трубам малого диаметра.

При эксплуатации трубопроводного транспорта необходимо следить за влажностью транспортируемого корма, так как при пониженной влажности корма возможно забивание трубопровода и возникновение аварийных ситуаций. Поэтому операторы кормосмесительных поддерживают повышенную влажность, что не гарантирует потребление животным заданного количества сухого вещества.

Нами проведены экспериментальные исследования влажности жидких кормов (табл. 4.1). Опыты проведены на свинокомплексе «Белая Русь» при приготовлении жидкого корма для цеха воспроизводства. Всего в течение 3 дней была определена влажность 10 проб. Определение влажности проводилось согласно ГОСТ 13496.3–92 в лаборатории свинокомплекса.

Средняя влажность приготовленного корма оказалась равной 80,2 %, вариационный размах – 7,7 %, среднеквадратичное отклонение – 3,0 % при проектной влажности жидкого корма 78,6 %. Влажность колебалась в пределах 84,6–76,9 % [5].

Рассмотрим влияние изменения влажности жидкого корма на потребление животными комбикорма. Содержание сухого вещества в объеме жидкого корма зависит от его влажности и плотности:

$$M_c = (1 - W / 100)JV, \quad (4.1)$$

где  $M_c$  – масса сухого вещества, кг;

$W$  – влажность жидкого корма, %;

$J$  – плотность кормосмеси, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – объем жидкого корма, м<sup>3</sup>.

Таким образом, определяемое физиологическими потребностями животных необходимое количество сухого вещества зависит не только от объема дозы, но и от влажности и плотности жидкого корма.

В то же время, как показывают литературные данные и экспериментальные исследования влажности жидкого корма, проведенные на промышленных свинокомплексах (табл. 4.1), влажность жидкого

корма флуктуирует как при автоматическом дозировании комби-корма и воды, так и при ручном кормоприготовлении (особенно в больших размерах).

Таблица 4.1

Результаты определения влажности жидкого корма

№ опыта	Дата	Влажность, %
1	17.04.1997	78,16
2	17.04.1997	79,82
3	17.04.1997	76,87
4	18.04.1997	81,5
5	18.04.1997	76,93
6	18.04.1997	80,19
7	18.04.1997	76,96
8	19.04.1997	82,86
9	19.04.1997	84,19
10	19.04.1997	84,61
Влажность жидкого корма	min	76,87
	max	84,61
КВАДРОТКЛ = $\sum (x - \bar{x})^2$		80,71
Дисперсия	$\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}$	9,27
Стандартное отклонение по выборке	$\sqrt{\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$	2,99

Изменение влажности вызывает также изменение плотности жидкого корма в соответствии со следующей зависимостью:

$$J = \frac{m}{v} = \frac{m_b + m_k}{\frac{m_b}{j_b} + \frac{m_k}{j_k}} = \frac{k+1}{k + \frac{1}{k}} = \frac{w-w_k}{100-w} + \frac{1}{k} \quad (4.2)$$

где  $m_b$  – масса воды;

$m_k$  – масса комбикорма;

$j_b$  – плотность воды;

$j_k$  – плотность комбикорма;

$k$  – отношение массы воды к массе комбикорма при смешивании;

$w_k$  – влажность комбикорма.

Расчеты показывают, что в 1 л жидкого корма содержится комбикорма, кг: при 75 % – 0,294; 78,5 % – 0,250; 81 % – 0,222, т. е. при средней норме кормления в 6 л при влажности корма 75 % животные получают по 1,764 кг комбикорма, а при 81 % – 1,332 кг, что на 34 % меньше. Следовательно, увеличение влажности кормосмеси с 78 до 80 % приводит к уменьшению дозы комбикорма на 9 %, что отрицательно сказывается на продуктивности животных.

Поскольку влажность является массовой характеристикой, а дозирование жидкого корма по станкам осуществляется объемно, то для стабилизации выдаваемой нормы сухого вещества необходимо иметь постоянную влажность и плотность жидкого корма.

Для свиноводческих комплексов промышленного типа, учитывая масштабы производства, одним из резервов снижения затрат на производство продукции является исключение потерь корма при выполнении технологических операций по приготовлению жидкого корма. В настоящее время при принятой технологии приготовления жидких кормов невозможно полностью исключить их потери. Объем приготавливаемого корма определяется ориентировочно в количестве замешанных ванн, например, оператору дают задание приготовить две с половиной ванны. Учитывая, что объем одной ванны равен 5,3 м<sup>3</sup> и отсутствуют какие-либо измерительные устройства, количество приготавливаемого корма полностью зависит от квалификации и добросовестности оператора. Однако даже точное приготовление определенного объема корма совсем не означает исключение его потерь, так как при ручной раздаче корма по станкам опять вмешиваются субъективные факторы и все зависит от оператора в цехе, так как при сливе корма в кормушку очень трудно оценить его количество. Во-первых, на кормушке отсутствуют какие-либо

мерные метки, а во-вторых, при наличии в станке достаточно большого числа животных, например, порядка 15 голов, которые при начале раздачи корма активно блокируют кормушку, оператору полностью перекрывается обзор зоны выдачи корма. Поэтому операторы в основном ориентируются по времени для управления краном кормораздачи, при этом не учитывается изменение давления в трубопроводе в зависимости от месторасположения раздаточного крана, его состояния, влажности приготовленного корма. На практике все вышеизложенные факторы приводят к большой неравномерности потребления корма. Исследования, проведенные на кормосмесительной № 1 СГЦ «Белая Русь», показывают, что количество оставшегося корма колеблется от 1,2 до 3,2 т за одно кормление. Необходимо отметить, что это количество корма полностью не является потерями и может частично использоваться. Однако это мера вынужденная и логически не оправдана в смысле приготовления излишек корма и работ по его использованию. В табл. 4.2. приведены данные о наличии остатков корма в течение 5 суток.

Таблица 4.2

Количество остатков жидкого корма (т)

День	1	2	3	4	5
Утро	1,4	1,8	3,0	2,8	1,2
Вечер	2,0	2,1	1,7	3,2	1,8

Таким образом, среднее количество излишка корма при ручном режиме раздачи составило 2,1 т за кормление. Готовить же меньшее количество корма операторы не могут. Согласно принятой технологии после окончания кормления необходимо трубы промыть водой. Это обусловлено необходимостью вытеснить корм из труб во избежание закисания корма (т. е. его порчи) и забивания трубопроводов. Данные исследования говорят о том, что в трубах корм закисает в два раза медленнее, чем в ванне с открытой поверхностью, однако в при высокой температуре и в трубах корм приходит в полную негодность, не говоря уже о вероятности забивания трубопроводов, особенно при использовании кукурузосодержащих марок комбикорма.

Следовательно, жидкий корм из трубопроводов должен быть вытеснен в ванну, где летом в течение часа начинается активный процесс брожения, и единственный способ в этом случае – его более или менее рациональное использование в подсобном хозяйстве. Для уменьшения потерь корма необходимо несколько изменить технологическую схему кормления и применить элементы автоматического управления технологическими процессами [7].

Отсутствие средств оперативного определения влажности жидкого корма приводит к нежелательным последствиям, что делает необходимой разработку экспресс-методов оценки влажности жидкого корма.

#### 4.1.2. Экспресс-оценка влажности жидкого корма по величине осадка

Если с помощью мерного сосуда взять из смесительной ванны пробу жидкого корма (смесь комбикорма и воды) объемом  $C$  и дать отстояться, то постепенно, под действием сил гравитации и взаимодействия частиц комбикорма между собой и водой произойдет расслоение жидкого корма на осадок, содержащий весь комбикорм, объемом  $V$  и практически чистую воду (рис. 4.1).

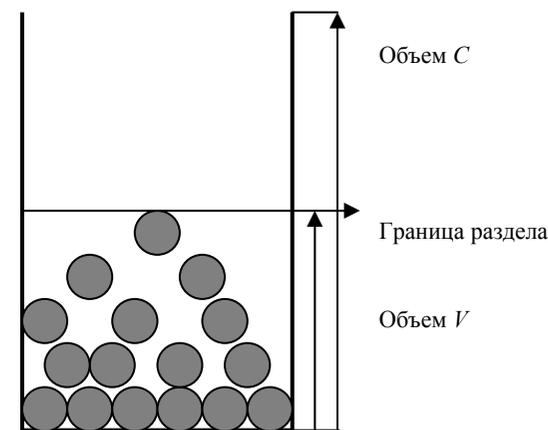


Рис. 4.1. Схема разделения жидкого корма

Причем объем осадка будет зависеть от количества комбикорма в первоначальной пробе, т. е. от влажности жидкого корма. Поставим перед собой задачу нахождения количественной связи между влажностью жидкого корма и отношением объема осадка к объему пробы жидкого корма  $V/C$ .

Первоначально определим средние значения плотности и влажности осадка в объеме  $V$  [8]. Можно предположить, что плотность осадка будет максимальной на дне сосуда и линейно уменьшаться до значения плотности воды на границе раздела (см. рис. 4.1). При плотной укладке нижнего ряда каждый элементарный куб с гранью  $2R$  будет содержать шарообразную частицу комбикорма радиусом  $R$  и воду. Тогда в этом элементарном кубе комбикорм будет занимать объем  $(4/3)\pi R^3$ , а вода –  $8R^3 - (4/3)\pi R^3$ . Средняя плотность этого куба

$$\rho_n = \{(4/3)\pi R^3 \rho_k + [8R^3 - (4/3)\pi R^3] \rho_v\} / (8R^3), \quad (4.3)$$

где  $\rho_k$  и  $\rho_v$  – плотности комбикорма и воды, г/см<sup>3</sup>.

Физическая плотность комбикорма должна быть определена экспериментально в условиях, близких к реальным условиям приготовления жидкого корма.

При проведении опытов использовался мерный цилиндр емкостью 1 л с ценой деления 10 мл.

Проведены две серии опытов для соотношения воды и комбикорма 2:1 ( $K_V = 2$ ) и 3:1 ( $K_V = 3$ ). Смешивание проводилось до момента, когда уменьшение объема жидкого корма практически прекращалось (15–20 мин), что приблизительно соответствует времени кормоприготовления и раздачи ванны комбикорма. Результаты опытов проведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Результаты опытов по определению плотности жидкого корма

$K_V$	Объем воды, мл	Масса комбикорма, г	Объем смеси, мл	Объем комбикорма, мл	Плотность корма, г/см	Марка комбикорма
3	600	200	745	145	1,074	Рассыпной СК-21
2	400	200	545	145	1,101	Рассыпной СК-21
3	600	200	745	145	1,074	Гранулированный
2	400	200	545	145	1,101	Гранулированный

Анализ результатов показывает, что объем воды, вытесняемый 200 г комбикорма, постоянен, и составляет в условиях опытов 145 мл. Точность определения этого объема  $\pm 5$  мл.

Тогда

$$\rho_k = \frac{200}{145 \pm 5} = (1,38 \pm 0,05) \text{ г/см}^3. \quad (4.4)$$

Подставляя это значение в формулу (4.3), получим, что максимальная плотность осадка на дне сосуда составляет

$$\rho_n = 1,2 \text{ г/см}^3.$$

Тогда, с учетом линейного изменения плотности по высоте сосуда до границы раздела сред, средняя плотность осадка

$$\rho_V = 1,1 \text{ г/см}^3. \quad (4.5)$$

В то же время плотностью смеси комбикорм/вода может быть получена следующая зависимость:

$$\rho_V = \frac{m}{V} = \frac{m_v + m_k}{\frac{m_v}{\rho_v} + \frac{m_k}{\rho_k}} = \frac{n+1}{n + \frac{1}{\rho_k}}, \quad (4.6)$$

где  $n = \frac{m_v}{m_k}$  – отношение массы воды к массе комбикорма в объеме осадка  $V$ ;

$\rho_v = 1 \text{ г/см}^3$  – плотность воды;

$\rho_k = 1,38 \text{ г/см}^3$  – плотность комбикорма.

В тоже время средняя влажность осадка в объеме  $V$

$$W_V = \left( \frac{\frac{w_k}{100} m_k + m_v}{m_k + m_v} \right) 100 \% = \frac{w_k + n}{n + 1} 100 \%, \quad (4.7)$$

где  $w_k = 14 \%$  – стандартная влажность комбикорма.

Совместное решение уравнений (4.6) и (4.7) с учетом (4.5) показывает, что для данных предположение

$$W_V = 71,5 \%$$

Тогда средняя влажность смеси комбикорм/вода, занимающей объем пробы  $C$ :

$$W_C = \frac{W_V \rho_V V + C - V}{\rho_V V + \rho_B (C - V)} 100 \% . \quad (4.8)$$

После подстановки в (4.7) и несложных преобразований получим:

$$W_C = \left( 1 - 0,31 \frac{V}{C} \right) 100 \% . \quad (4.9)$$

Например, если выбрать объем пробы  $C = 500$  мл, то формула (4.9) приобретает вид:

$$W_{500} = (100 - aV) \% , \quad (4.10)$$

где  $a = 0,062 \frac{1}{ml}$  – нормирующий коэффициент.

Для подтверждения рабочей гипотезы были проведены исследования по определению влажности жидкого корма (смесь комбикорма с водой) по величине осадка. При проведении исследований использовали кормосмесь с отношением комбикорма к воде (по массе) 1:2; 1:2,5; 1:3; 1:4, что соответствует реальным условиям и зоотехническим требованиям на промышленном свинокомплексе. Из объема приготовленного корма отбиралась проба в 500 мл, по которой определялась величина осадка (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Результаты исследований по определению влажности жидкого корма по величине осадка

Соотношение комбикорма с водой	1:2	1:2,5	1:3	1:3,5	1:4
Влажность корма %	71,0	75,14	78,25	80,66	82,60

Окончание табл. 4.4

Объем пробы жидкого корма, мл	500	500	500	500	500
Объем осадка, мл	445,0	387,5	325,0	290,0	257,5

После отбора пробы жидкого корма перед замером величины осадка в мензурке выдержка составляла 3 мин. За это время взвешенные частицы полностью осаждались, и увеличение времени выдержки не приводило к изменению величины осадка.

Определение влажности экспериментальных проб жидкого корма проводилось в лабораторных условиях согласно ГОСТ 13496.3–92.

После обработки результатов исследований получена зависимость величины осадка от влажности жидкого корма, которая аппроксимируется уравнением

$$W = 98,2 - 0,0607 V , \quad (4.11.)$$

где  $V$  – объем осадка, мл.

Для практической реализации результатов исследований построен график указанной зависимости (рис. 4.2). Обработка результатов и построение графика производилось с использованием Microsoft Excel.

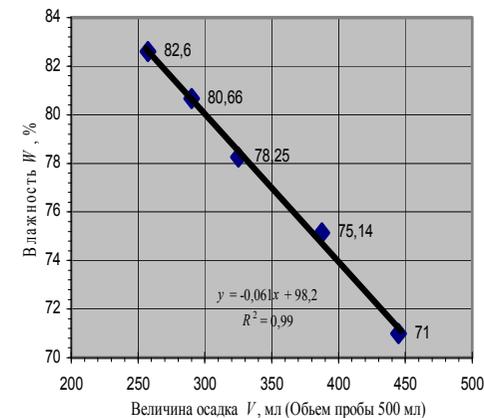


Рис. 4.2. График зависимости влажности жидкого корма от величины осадка

При определении влажности жидкого корма оператором отбирается в мензурку с делениями проба объемом 500 л, отстаивается в течение 3 мин, замеряется объем осадка и по графику определяется влажность корма. После определения влажности жидкого корма оператор принимает решение о раздаче корма или корректировке влажности путем добавления сухого комбикорма или воды.

Теоретическая модель (формулы (4.10) и (4.11)) и полученное высокое значение коэффициента детерминации  $R^2 = 0,99$  говорит о том, что данный метод может использоваться для экспресс-оценки влажности жидкого корма по косвенному показателю – отношению осадка в мерном сосуде к величине пробы жидкого корма после определенного времени отстаивания [51].

#### 4.1.3. Дискретно-непрерывный дозатор комбикорма

Типовое оборудование кормосмесительной для дозирования комбикормов состоит из четырех бункеров с шнеками-извлекателями, подающими сухие комбикорма в бункер весового дозатора ДКБ-500. Весы имеют четыре фотоэлементных датчика, подающих сигнал на каждый шнек-извлекатель. Корм для взвешивания может поступать из любого бункера. На циферблате весов с помощью фотоэлементного датчика устанавливается доза, по достижении которой датчик подает сигнал на отключение шнека-извлекателя и включение пневмоцилиндра управления затвором. Затвор открывается, и взвешенная доза корма выгружается в кормораспределительный бункер, а затем в смеситель. Недостатком такого устройства является потребность в операторе для установки датчиков в соответствующее производственное положение. Приведенная конструкция дозатора плохо приспособлена для работы в составе линии комприготовления, работающей в автоматическом режиме. В реальных условиях производства оператору приходится самому интуитивно определять необходимую дозу комбикорма и, как показывает практика, проще следить за показаниями весов и отключать шнек-извлекатель в режиме ручного управления.

Более совершенным является устройство, состоящее из четырех бункеров со шнеками-извлекателями, подающими сухие комбикорма в бункер весового дозатора [2, 33]. Весы имеют стационарные датчики положения стрелки на циферблате весов в позиции ноль и единичной дозы, подающие сигналы на микропроцессорный контроллер, управляющий кормоприготовлением. Корм для взвешивания может поступать из любого бункера. Контроллер включает один из шнеков-извлекателей, при наличии сигнала с датчика позиции ноль, при достижении единичной дозы соответствующий датчик подает сигнал контроллеру, последний отключает шнек-извлекатель и включает пневмоцилиндр управления затвором. Затвор открывается, и взвешенная доза корма выгружается в кормораспределительный бункер, а затем в смеситель. Цикл повторяется до достижения необходимого количества единичных доз. Недостатком такого устройства является способность обеспечить суммарную дозу только с дискретностью единичной дозы, что на практике не всегда удобно и может приводить к потере точности или к необходимости участия оператора, поскольку реально требуемое количество комбикорма – величина переменная и изменяется с меньшей дискретностью, чем единичная доза.

Практически значимой задачей является минимизация отклонения фактической суммарной дозы комбикорма от заданной при работе дозатора в дискретном режиме в составе поточной линии кормоприготовления. Для этого предлагается использование, по крайней мере, двух датчиков положения стрелок весов в районе единичной дозы и узла управления с вычислителем первых и вторых доз, вход которого соединен с задатчиком суммарной дозы комбикорма.

Для решения указанной задачи предлагается микропроцессорный дискретно-непрерывный дозатор комбикормов, включающий: линии подачи и выгрузки комбикорма; весовое стрелочное устройство с датчиками положения стрелок весов, один из которых обеспечивает измерение положения стрелки весов «0»; узел управления, входы которого соединены с датчиками положения стрелок весов, а выходы – с линиями подачи и выгрузки комбикорма; задатчик

суммарной дозы комбикорма, причем дискретный дозатор содержит, по крайней мере, два датчика положения стрелок весов, установленные с небольшим зазором в районе единичной дозы комбикорма, а узел управления дополнительно содержит вычислитель первых и вторых доз комбикорма, вход которого соединен с задатчиком суммарной дозы комбикорма. Узел управления может быть выполнен в виде программируемого микропроцессорного контроллера (рис. 4.3).

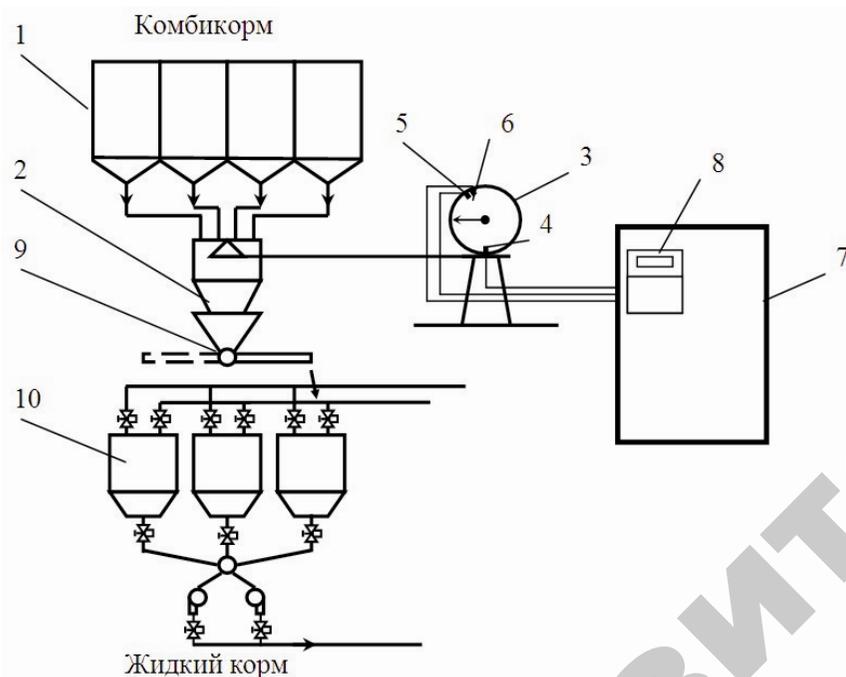


Рис. 4.3. Технологическая схема усовершенствованного дискретно-непрерывного дозатора комбикормов

Из бункеров 1 шнеками-извлекателями сухие комбикорма подаются в бункер весового дозатора 2, весы 3 имеют стационарные датчики положения стрелки на циферблате: в позиции «0» – 4, меньшей единичной дозы – 5, большей единичной дозы – 6, подающие сигналы устройству управления (микропроцессорному

контроллеру) 7, содержащему вычислитель 8 меньших и больших единичных доз, взвешенная доза корма выгружается в кормораспределительный бункер 9, а затем в смеситель 10.

Информация о положении стрелки весового дозатора через входное устройство связи с объектом (УСО) поступает в логическую часть микропроцессорного контроллера. Необходимая доза приготовления корма задается через панель оператора (рис. 4.4).

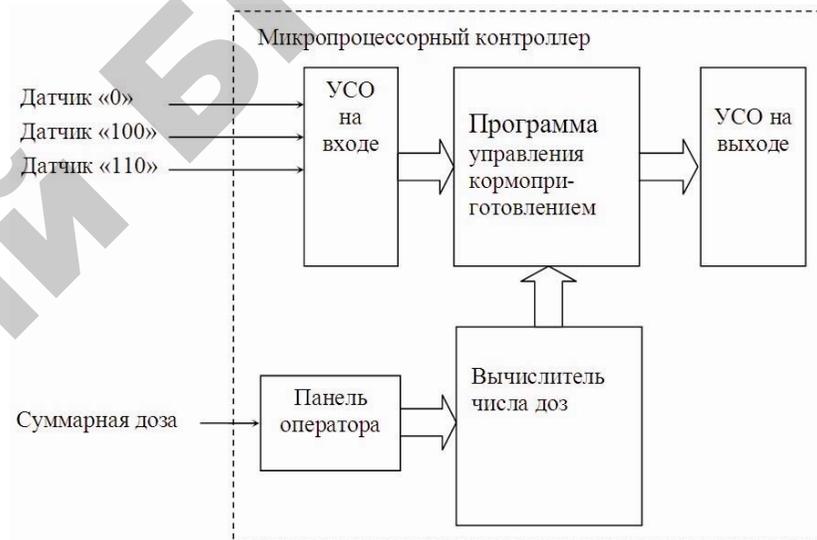


Рис. 4.4. Программно-техническая структура микропроцессорного контроллера

Вычислитель, реализованный программным путем, определяет необходимое число замесов в соответствии с алгоритмом определения необходимого количества меньших и больших единичных доз корма (рис. 4.4). Включение и выключение шнеков и других исполнительных механизмов через выходное УСО:  $S$  – суммарная заданная доза комбикорма,  $D_m$  – вес меньшей единичной дозы корма,  $N_{дм}$  – счетчик меньших доз корма,  $D_б$  – вес большей единичной дозы корма,  $N_{дб}$  – счетчик больших доз корма,  $n_m$  – необходимое количество меньших единичных доз корма,  $n_б$  – необходимое количество больших единичных доз корма.

Процесс дозирования комбикорма осуществляется следующим образом. Исходя из необходимой суммарной дозы комбикорма, вычислитель 8 рассчитывает необходимое количество меньших  $n_m$  и больших  $n_b$  единичных доз корма. Корм для взвешивания может поступать из любого бункера 1. Устройство управления включает один из шнеков-извлекателей, при наличии сигнала с датчика позиции ноля весов 4, при достижении меньшей единичной дозы датчик 5 подает сигнал устройству управления, которое при заданной меньшей единичной дозе отключает шнек-извлекатель и включает пневмоцилиндр управления затвором либо при заданной большей единичной дозе ждет сигнала от датчика 6 и после его поступления отключает шнек-извлекатель и включает пневмоцилиндр управления затвором. Затвор открывается, и взвешенная доза корма выгружается в кормораспределительный бункер 9, а затем в смеситель 10 (см. рис. 4.3).

От соответствующего заданного количества доз отнимается единица, и цикл повторяется с включения шнека-извлекателя до полной отгрузки заданного количества меньших и больших единичных доз (обращения значений в счетчиках заданных меньших  $n_m$  и больших  $n_b$  единичных доз корма в ноль).

Пусть задана суммарная доза комбикорма  $S = 2550$  кг. Датчик меньшей единичной дозы установлен на отметке  $D_m = 100$  кг, датчик большей единичной дозы установлен на отметке  $D_b = 110$  кг. Вычислитель работает по следующему алгоритму (рис. 4.5). Из суммарной дозы вычитается меньшая единичная доза и, если остаток положительный, то к счетчику меньших единичных доз добавляется 1. Процесс повторяется, пока остаток не примет отрицательное значение. В нашем случае счетчик меньших доз остановится на значении 25, а остаток примет значение  $-50$ . После принятия остатком отрицательного значения, к нему прибавляется меньшая единичная доза. В результате получается количество комбикорма, меньше единичной дозы, в нашем примере  $-50$  кг. От полученного числа отнимается разность между большей и меньшей единичными дозами 10 кг и добавляется к счетчику больших доз единица до принятия остатком отрицательного значения.

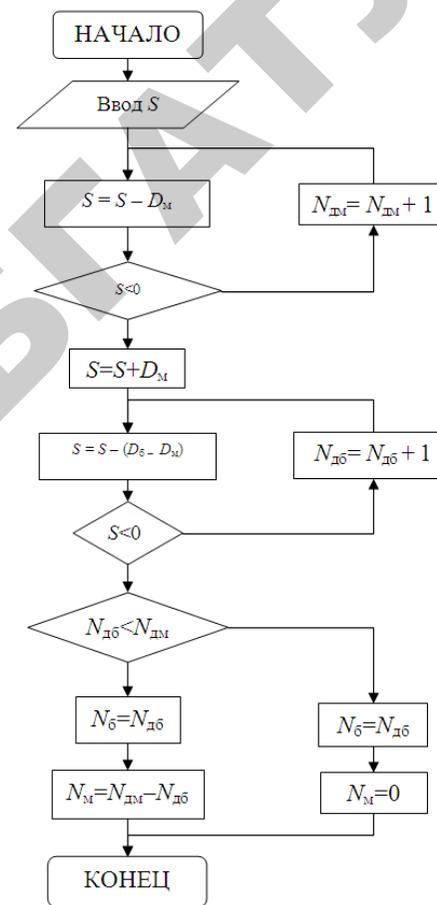


Рис. 4.5. Алгоритм дискретно-непрерывного дозирования кормов

В нашем случае счетчик больших доз остановится на значении 5. Необходимое количество больших доз принимается равным значению счетчика больших доз; отняв от значения счетчика меньших доз значение в счетчике больших доз, получим необходимое количество меньших доз  $-20$ . Таким образом, в счетчике заданных к выдаче меньших единичных доз корма  $n_m = 20$  и больших  $n_b = 5$ . При получении отрицательного числа меньших доз (в случае малой суммарной дозы) необходимое количество больших доз принимается

равным значению счетчика меньших доз, а необходимое количество меньших доз принимается равным нулю, что приводит к некоторой погрешности, дозы меньше 990 кг задавать не рекомендуется (на практике такие дозы задаются очень редко). Алгоритм несколько увеличен для избежания операции деления, которая усложняет конструкцию вычислителя. После получения информации о необходимом количестве меньших и больших единичных доз устройство управления отсчитывает их в порядке, приведенном выше.

Таким образом, достаточно простая модернизация существующего дискретного дозатора с использованием возможностей микропроцессорного управления позволяет обеспечить более точно требуемую для замеса массу комбикорма и тем самым повысить качество выполнения технологического процесса приготовления жидкого корма *x*.

#### **4.1.4. Модернизация технологического оборудования раздачи жидких кормов**

В типовом оборудовании для кормораздачи корм из смесителя подается насосами в объемный дозатор [28]. Из дозатора отмеренная доза насосом перемещается в трубопровод, откуда через открытый сливной кран по опуску попадает в кормушку. Сливные краны открываются и закрываются при движении специального исполнительного механизма – раздаточной тележки. В процессе кормораздачи тележка наезжает на кран, поворачивает его в положение «открыто» и останавливается. Корм сливается в кормушку до тех пор, пока уровень его в дозаторе не достигнет датчика нижнего уровня, по сигналу которого переключаются клапаны и корм из смесителя начинает перекачиваться в дозатор, а тележка продолжить движение, закроет кран, пройдет путь до следующего крана и остановится в позиции «ожидание», пока корм в дозаторе не достигнет датчика верхнего уровня. Далее процесс слива корма в кормушки и заполнения дозатора повторяется. Для получения сигналов о положении тележки в позициях «Ожидание», «Выгрузка» (соответствует положению крана «Открыто») служат установленные на тележке два конечных выключателя. При взаимодействии упоров конечных

выключателей с краном контакты конечных выключателей меняют свое состояние на противоположное. В процессе эксплуатации установлены такие недостатки типового технологического оборудования для раздачи жидких кормов, как большое время раздачи кормов, возможность пропуска крана и выход из строя двигателя раздаточной тележки. Среднее время раздачи корма в 6 секторах достигает 2–2,5 ч, что негативно сказывается на процессе откорма и оставляет слишком мало времени операторам для занятий другими процессами. Такие большие затраты времени обусловлены циклическим характером дозирования и последовательным алгоритмом раздачи жидких кормов в секторах.

Одним из резервов совершенствования технологического оборудования раздачи жидких кормов является повышение его производительности путем использования поточного дозирования и параллельной одновременной работы нескольких раздаточных тележек [2, 34, 35]. Поточное дозирование осуществляется путем замены дискретного дозатора периодического действия на электромагнитный расходомер, встроенный непосредственно в кормопровод (рис. 4.6).

Типовое здание цеха откорма промышленного свиного комплекса состоит из шести секторов по 24 групповых станка, на каждый станок 16 приходится до 25 гол. свиней, кормушка 15 и пробковый кран 4 для слива корма, подаваемого нагнетательным насосом 1, по общему для всего здания кормопроводу 2. Для открытия сливных кранов в каждом секторе имеется по одной раздаточной тележке 5. Раздаточные тележки движутся от крана к крану с остановкой при открытии сливного крана для выдачи запланированной дозы корма. Измерение расхода корма в потоке осуществляется установленным в кормопровод расходомером 8. Программное управление движением раздаточных тележек осуществляет блок управления 14, содержащий микропроцессорный контроллер 9, панель оператора 13 и устройства сопряжения с объектом.

Перед началом кормораздачи оператор через панель оператора 13 вводит необходимые для выдачи дозы корма по станкам в память микропроцессорного контроллера 9 и проводит другие подготовительные работы.

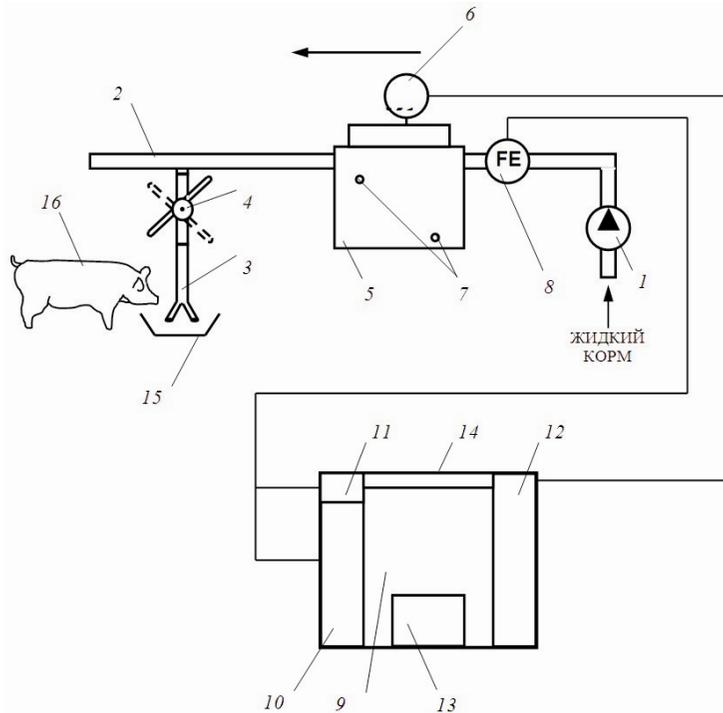


Рис. 4.6. Усовершенствованная технологическая схема раздачи жидких кормов:  
 1 – центробежный насос; 2 – кормопровод; 3 – опуск; 4 – пробковый кран;  
 5 – раздаточная тележка; 6 – электропривод раздаточной тележки;  
 7 – упоры для открытия и закрытия пробкового крана;  
 8 – электромагнитный расходомер; 9 – микропроцессорный контроллер;  
 10 – дискретный вход контроллера; 11 – аналоговый вход контроллера;  
 12 – дискретный выход контроллера; 13 – панель оператора;  
 14 – блок управления; 15 – групповая кормушка; 16 – станок

Процесс кормораздачи осуществляется следующим образом. Блок управления 14 подает сигнал на начало движения – вперед по направлению, указанному вектором (рис. 4.6), – раздаточной тележки 5, если она находится на позиции начала сектора, при заполненном кормом кормопроводе. Тележка 5 доезжает до первого крана 4 в секторе и верхним упором двигает верхнюю часть рычага крана 4, переводя кран в положение «Открыто» (рычаг в положении «Открыто» изображен пунктиром), при этом по изменению

сигнала расходомера 8 блок управления 14 идентифицирует нахождение тележки 5 в позиции «Выгрузка» и выдает сигнал тележке 5 остановиться для выдачи дозы корма. Блок управления по сигналу расходомера 8 отмеряет установленную для соответствующей кормушки дозу корма и при окончании выдачи дозы выдает сигнал тележке 5 двигаться вперед, при дальнейшем движении нижний упор тележки 5 переведет рычаг крана в исходное положение. В результате тележка 5 закрывает кран и движется, пока не откроет следующий кран. Далее приведенный цикл повторяется до достижения тележкой 5 позиции конца сектора. Использование поточного дозирования позволяет в 1,5–2 раза сократить время на раздачу жидкого корма [2, 4, 29–31].

Дальнейшего сокращения затрат времени на раздачу корма можно достичь при параллельной раздаче в нескольких секторах [34, 35]. При этом движение раздаточных тележек осуществляют в циклической последовательности одновременно в нескольких секторах, причем, если в одном из секторов раздаточная тележка находится в позиции «Выгрузка», то в других секторах раздаточные тележки находятся либо в положении «Ожидание», либо движутся между кранами. Такой способ позволяет исключить время ожидания при перемещении тележки от крана к крану, в течение которого насос перекачивает кормосмесь обратно в смеситель. В этом случае поточно-механизированная линия раздачи жидких кормов работает следующим образом (рис. 4.7). Блок управления подает сигнал на начало движения вперед кормораздаточных тележек в секторах 3 и 4, если они находятся на позиции начала секторов, при заполненном кормом кормопроводе. Тележки доезжают до первого сливного крана в секторе и выдают в блок управления сигнал позиции «Ожидание». Блок управления выдает сигнал тележке в секторе 4 остановиться, а тележке в секторе 3 двигаться вперед. Она открывает первый сливной кран и выдает сигнал позиции «Выгрузка». Блок управления останавливает тележку, по сигналу расходомера отмеряет установленную для соответствующей кормушки дозу корма и, при окончании выдачи дозы выдает сигнал тележкам в 3 и 4 секторе двигаться вперед. В результате тележка в секторе 3 закрывает кран и движется, пока не станет в позиции «Ожидание» перед следующим краном, а тележка в секторе 4 по сигналу перейдет в положение «Выгрузка».

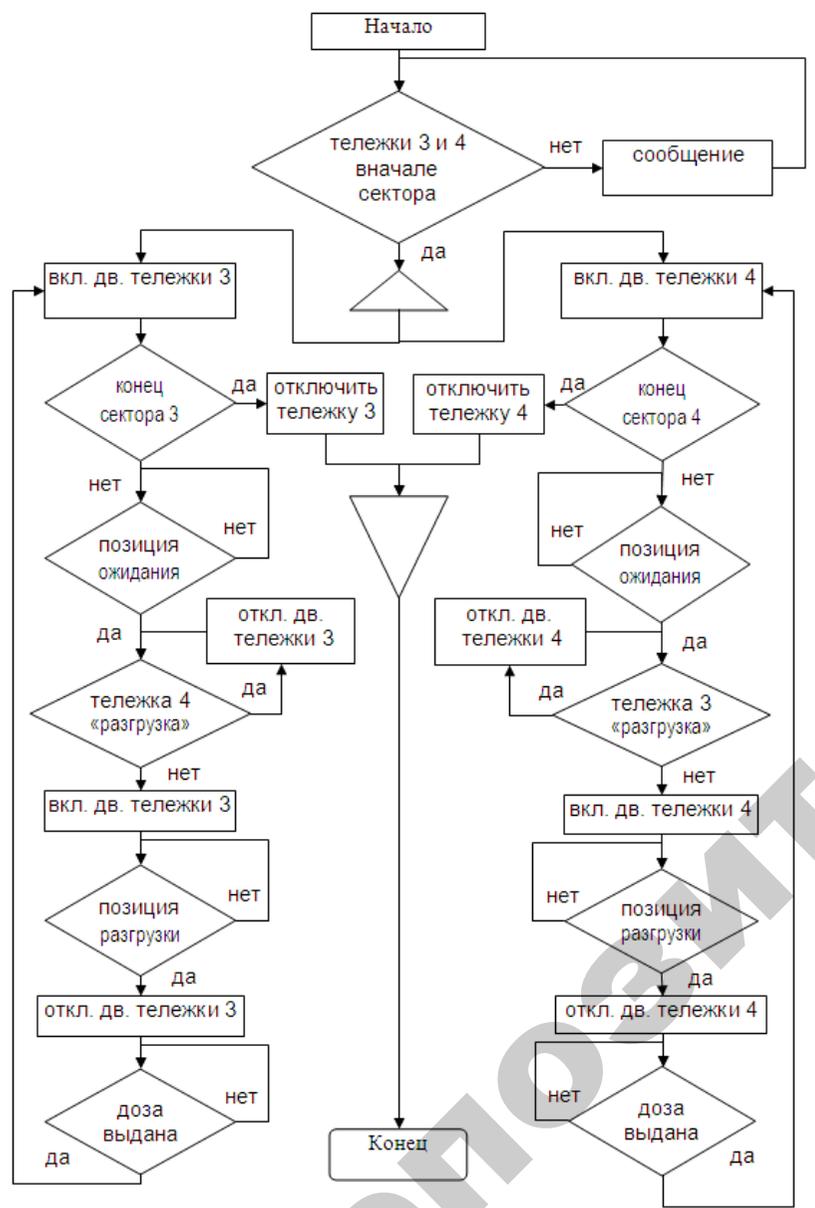


Рис. 4.7. Алгоритм одновременной раздачи жидкого корма в двух секторах

Далее приведенный цикл повторяется до достижения тележками позиций конца сектора. Временная диаграмма приведена на рис. 4.8.

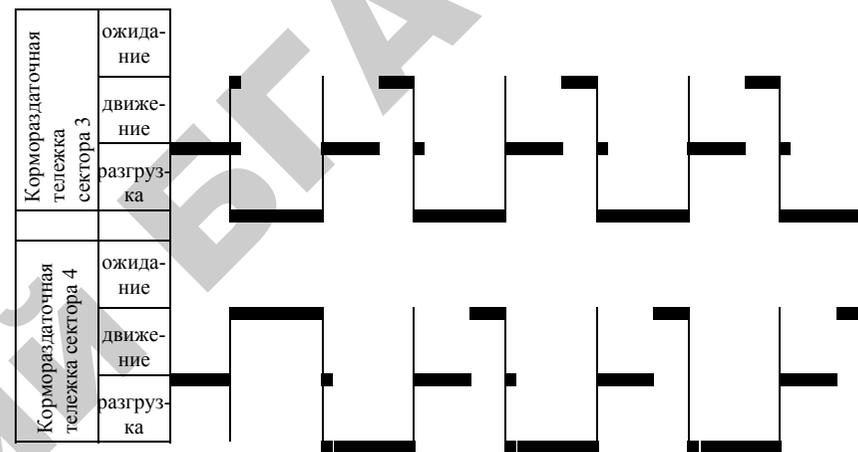


Рис. 4.8. Временная диаграмма работы тележек

Рассмотрим численный пример кормления свиней в здании промышленного свиного комплекса.

Время кормораздачи одной тележкой

$$t_{\text{корм}} = t_{\text{двт}} + t_{\text{выд д}} \quad (4.12)$$

где  $t_{\text{двт}}$  – время движения тележки, с;

$t_{\text{выд д}}$  – время выдачи дозы, с.

Время движения тележки

$$t_{\text{двт}} = (N - 1) t_1, \quad (4.13)$$

где  $N$  – количество станков, шт.;

$t_1$  – время движения кормораздаточной тележки между двумя соседними кранами.

Время выдачи дозы

$$t_{\text{выд д}} = (N D_1) / \Pi_n, \quad (4.14)$$

где  $D_1$  – доза в одну кормушку, л;

$\Pi_n$  – производительность насоса, л/с.

При дозе в одну кормушку, равной 80 л, производительности насоса 6 л/с, времени движения кормораздаточной тележки между двумя соседними кранами 10 с в одном секторе получим:

$$t_{дв\ т} = (24 - 1) \cdot 10 = 230 \text{ с};$$

$$t_{выд\ д} = (24 \cdot 80) / 6 = 320 \text{ с}.$$

Для здания:

$$t_{дв\ т} = 6 \cdot 230 = 1380 \text{ с} = 23 \text{ мин};$$

$$t_{выд\ д} = 6 \cdot 320 = 1920 \text{ с} = 32 \text{ мин}.$$

При раздаче предлагаемым способом двумя тележками, как видно из временной диаграммы на рис. 4.8, выдача корма в кормушки осуществляется постоянно. Таким образом, исключается пауза в выдаче корма в виде времени движения тележки и экономится в конкретном примере 23 мин от времени работы оборудования и с на это же время сокращается время кормораздачи. На типовом промышленном свиномкомплексе на 54 тыс. гол. такое сокращение времени раздачи кормов приводит к годовой экономии электроэнергии около 26 тыс. кВт·ч. Кроме того, сокращение времени кормления уменьшает стресс у животных, увеличивает возможный промежуток между кормлениями, что повышает продуктивность свиней.

Механические датчики положения, установленные на тележке, работая в агрессивной среде, часто дают сбой и быстро вырабатывают свой ресурс. Кроме того, необходимо минимум три проводника для соединения датчиков с приемником сигналов. Тележка мобильна, что осложняет присоединение проводников, требует специальных средств и снижает надежность работы.

В качестве датчика положения раздаточной тележки относительно сливных кранов применен выход поточного расходомера корма, соединенный через пороговый элемент с приводом тележки. Пороговый элемент может быть выполнен в виде программного модуля в памяти микропроцессорного контроллера [33].

Рассмотрим формирование сигнала достижения тележкой сливного крана пороговым элементом в следующих примерах.

В случае непрерывного движения кормосмеси по кольцу трубопроводов с одним расходомером, установленным в начале трубопровода: в процессе кормораздачи при закрытых сливных кранах сигнал расходомера, отградуированного в литрах, соответствует расходу около 4 л/с. При открытии крана расход увеличивается до 7 л/с. В момент времени данного перепада сигналов расходомера пороговый элемент сформирует сигнал достижения тележкой сливного крана.

В случае непрерывного движения кормосмеси по кольцу трубопроводов с двумя расходомерами: одним, установленным в начале трубопровода, и вторым, установленным в конце трубопровода. При закрытых сливных кранах показания расходомера в начале трубопровода и расходомера в конце трубопровода одинаковы и приблизительно равны 4 л/с. При открытии сливного крана показания первого расходомера возрастут до 7 л/с, а второго станут менее 1 л/с. В момент времени данного перепада сигналов расходомеров пороговый элемент сформирует сигнал достижения тележкой сливного крана.

В случае тупикового режима движения кормосмеси (перекрыт обратный трубопровод): с одним установленным в начале трубопровода расходомером. В процессе кормораздачи при закрытых сливных кранах сигнал расходомера, отградуированного в литрах, соответствует отсутствию расхода. При открытии крана расход увеличивается от нуля до 7 л/с. В момент времени данного перепада сигналов расходомера пороговый элемент сформирует сигнал достижения тележкой сливного крана.

При использовании данного изобретения положение «Выгрузка» определяется более надежно и с привлечением меньших материальных ресурсов.

#### **4.2. Модернизация микропроцессорной системы управления поточной линией приготовления жидких кормов**

Модернизация технологического оборудования с разработкой АСУ ТП приготовления жидких кормов проводилась применительно к существующим промышленным свиноводческим комплексам

на 54 и 108 тыс. гол. с учетом как отечественного, так и зарубежного опыта [2, 4].

Анализ типовых решений и опыт работы кормосмесительных на свиноводческих комплексах республики выявил следующие недостатки типовой системы приготовления жидких кормов:

- низкая надежность системы управления кормоприготовлением, обусловленная применением релейно-контактных технических средств, дающих большое число отказов из-за работы в агрессивных средах (наличие аммиака в воздухе, высокая влажность и запыленность);
- отсутствие согласования подачи сухого корма и воды, что приводит к высокой неравномерности смешивания;
- отсутствие дозирования и смешивания горячей и холодной воды;
- отсутствие учета потребленного и используемого комбикорма;
- отсутствие возможности точного приготовления необходимого количества жидкого корма, что приводит к его остаткам до 900 кг и последующему закисанию.

Процесс приготовления жидких кормов заключается в смешивании сухого комбикорма с водой в соотношении примерно 1:3 (рис. 4.9). Процесс приготовления начинается с извлечения комбикорма из одного из четырех бункеров 1, затем он подается на весовой дозатор 7, взвешивается 8, высыпается в одну из трех ванн 10, разбавляется необходимым количеством воды 9 и смешивается.

Сухой комбикорм из бункеров посредством шнеков-извлекателей подается в контейнер весов-дозатора. Погрешность в дозировании комбикорма складывается из погрешности весов и погрешности, вносимой шнеком-извлекателем после его остановки, приводящей к смещению математического ожидания отмеренной дозы относительно заданной. При тарировке весов-дозатора погрешность от работы шнека-извлекателя погасалась корректировкой установки датчика конечного положения, сигнализирующего о достижении заданной массы комбикорма. Для удобства работы оборудования принята установка дозы комбикорма 250 кг, которая соответствует минимальному количеству жидкого корма,готавливаемого для заполнения кормопровода перед раздачей. Доза 250 кг отмеривается заданное число раз для приготовления определенного количества корма.

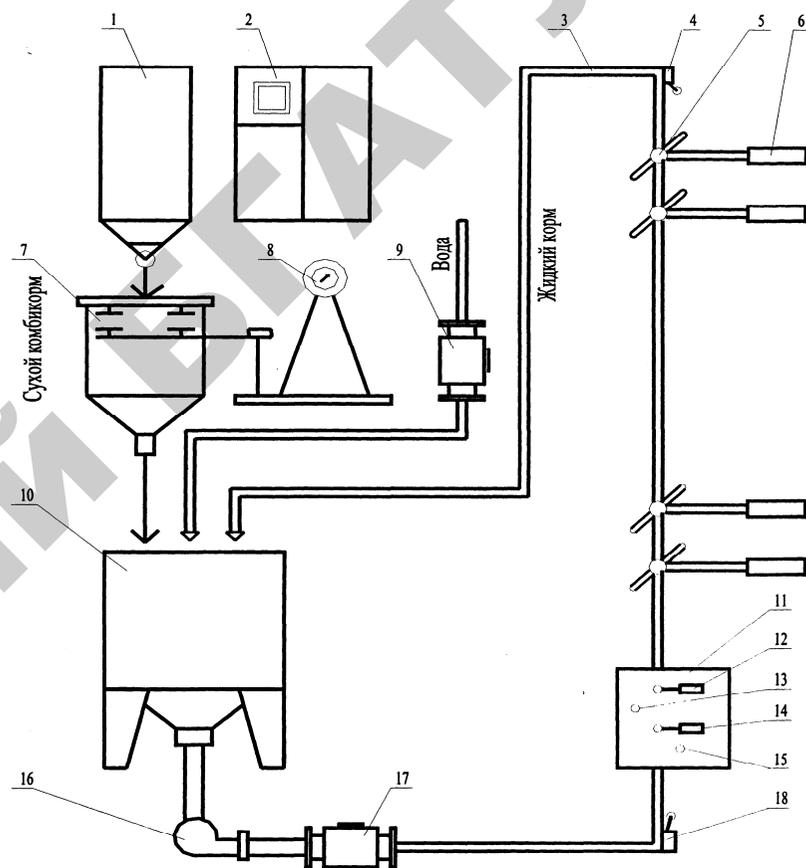


Рис. 4.9. Технологическая схема приготовления и раздачи жидких кормов на свиноводческом комплексе:

- 1 – бункер комбикорма (4 шт.); 2 – микропроцессорная система;
- 3 – кормопровод; 4 – датчик «Конец сектора»; 5 – кран кормораздачи;
- 6 – кормушка; 7 – весовой дозатор; 8 – весы с датчиками;
- 9 – расходомер воды; 10 – ванна (3 шт.); 11 – раздаточная тележка;
- 12 – датчик «Ожидание»; 13 – упор открытия крана; 14 – датчик «Разгрузка»;
- 15 – упор закрытия крана; 16 – насос кормораздачи;
- 17 – расходомер корма; 18 – датчик «Начало сектора»

Для определения соответствия выданной дозы комбикорма (250 кг) были проведены испытания весов дозатора (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Результаты испытаний весов-дозатора

Установленная доза, кг	Выдаваемая доза, кг					
	250	252,0	251,5	250,0	251,0	251,0
248,0		250,0	251,0	250,0	250,5	250,5
249,5		250,0	250,5	250,5	250,0	250,0
249,0		249,0	250,0	250,5	250,0	250,0
250,0		249,5	250,0	249,0	249,5	251,5
250,5		251,0	250,0	249,5	250,0	250,5
Среднее арифметическое	250,2					
Среднеквадратичное отклонение	0,8					

Средняя величина выдаваемой на смешивание дозы комбикорма равна 250,2 кг, среднеквадратичное отклонение – 0,8 кг.

Влажность приготавливаемого жидкого корма определялась в соответствии с ГОСТ 13496.3–80. Пробы для определения влажности брались из опуска при выдаче дозы в кормушки. Результаты определения влажности приведены в табл. 4.6. Средняя влажность приготавливаемого жидкого корма равна 79,5 %.

Таблица 4.6

Результаты определения влажности жидкого корма

Установленная влажность, %	Результаты измерений			
	78,6	81,5	79,7	78,2
80,1		79,3	79,9	77,4
Среднее арифметическое	79,53			
Среднеквадратичное отклонение	1,59			

Для выполнения алгоритма приготовления жидкого корма необходим микропроцессорный контроллер со специальным программным обеспечением, а также средства сопряжения контроллера с технологическим оборудованием объекта автоматизации.

Входные и выходные потоки информации в системе управления для одной линии приготовления жидких кормов представлены на рис. 4.10.

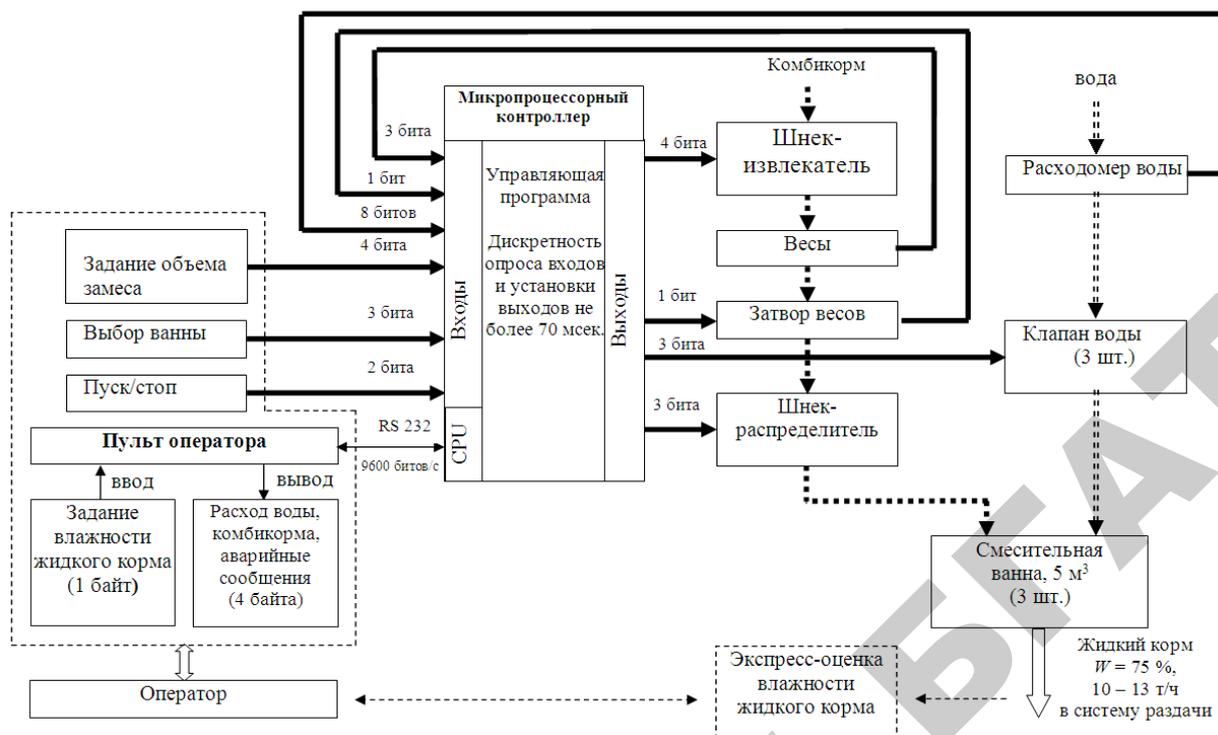


Рис. 4.10. Функционально-информационная схема ПМЛ приготовления жидких кормов (одна линия)

Входными данными процесса приготовления жидких кормов являются:

- 1) потребность кормосмеси на разовое кормоприготовление ;
  - 2) положение переключателя доз (1 т, 2 т, 3 т, 4 т);
  - 3) положение переключателя выбора ванны; сигнал с индукционного расходомера 0–5 мА, преобразованный функционально-счетной приставкой в импульсный (один импульс соответствует 10 л расхода воды);
  - 4) сигнал с весового дозатора об отмеренной дозе в 250 кг (или перегрузке весового дозатора);
  - 5) сигнал о положении затвора весового дозатора;
  - 6) сигнал об установке весов дозатора на 0;
  - 7) сигнал о положении шнека-распределителя по ваннам;
- Корректировка влажности жидкого корма (при необходимости) осуществляется оператором с пульта оператора.

Выходными данными программы по процессу кормоприготовления являются:

- 1) сигнал о повороте шнека-распределителя вправо или влево для выбора заданной оператором ванны;
- 2) сигнал управления клапаном подачи воды;
- 3) сигнал управления шнеком-извлекателем;
- 4) сигнал управления затвором весов;
- 5) сигнал управления шнеком-кормораспределителем;
- 6) сигнал окончания цикла кормоприготовления;
- 7) сигнал «Авария», свидетельствующий о нарушении порядка работы технологического оборудования;
- 8) количество приготовленного корма;
- 9) расход воды;
- 10) код аварии.

В процессе выполнения программы в ячейки памяти контроллера заносятся данные о состоянии технологического оборудования:

- номер аварии;
- количество налитой воды;
- количество используемого комбикорма.

Алгоритм процесса приготовления жидких кормов представлен на рис. 4.11. В кратком изложении алгоритм работы заключается в следующем. После нажатия на кнопку «Пуск» производится диагностика положения затвора весов, состояния весов, наличия комбикорма в выбранном бункере и некоторых других.

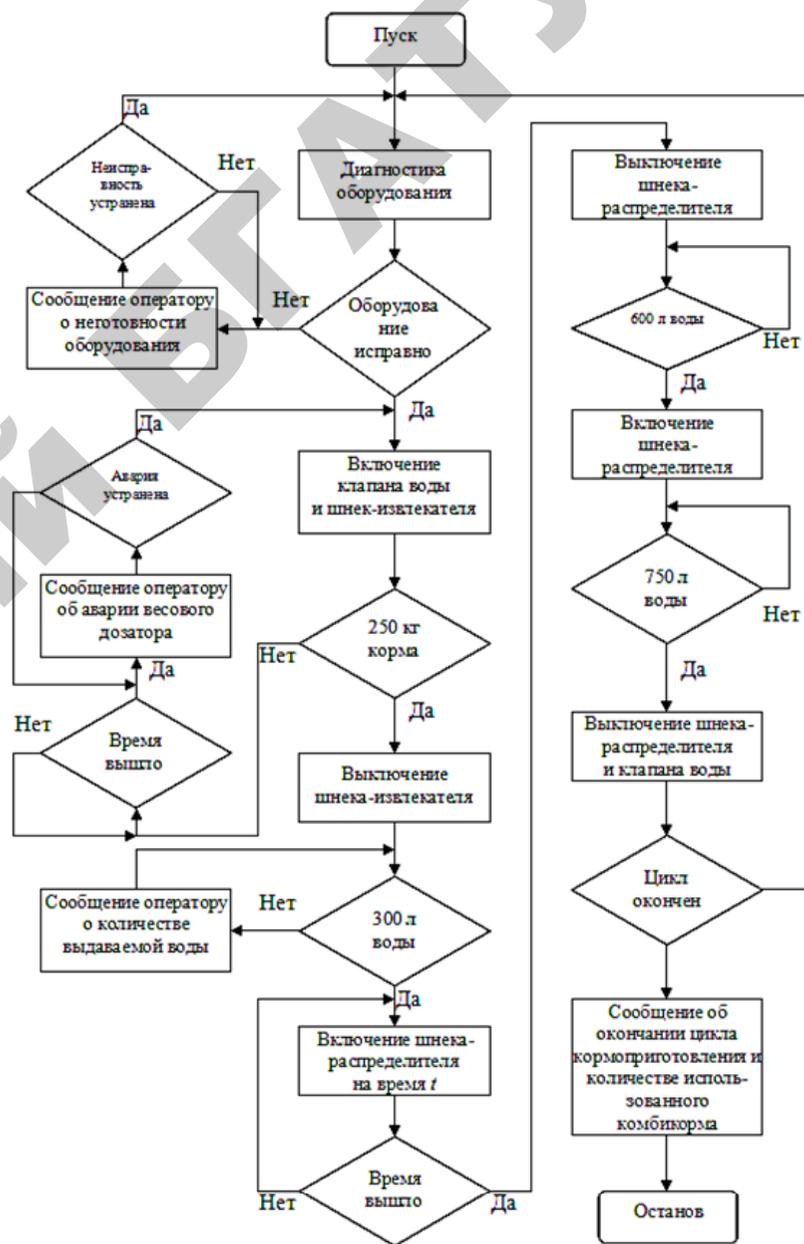


Рис. 4.11. Алгоритм приготовления жидких кормов

Проверка наличия начальных условий осуществляется программно-аппаратными средствами. При отсутствии какого-либо из условий, режим кормоприготовления не начинается, а оператору выводится сообщение с указанием неисправности. При положительном исходе диагностики контроллер работает по двум взаимосвязанным веткам алгоритма. По одной ветке включается подача воды в ванну и расходомером типа ИР-61 отмеривается необходимая доза воды. По другой ветке ведется подача и дозирование сухого комбикорма.

Для этого устанавливается шнек-распределитель на соответствующую ванну, выбирается необходимая доза и включается шнек-извлекатель. При достижении весовым дозатором необходимого показания, шнек-извлекатель отключается и открывается затвор дозатора. Шнек-распределитель выгружает корм в выбранную ванну. Для лучшего смешивания корм в ванну подается за несколько приемов в зависимости от подачи воды. После опорожнения дозатора затвор весов закрывается. По окончании дозирования воды и комбикорма процесс работы контроллера завершается.

Количество приготавливаемого корма зависит от количества циклов. За один цикл приготавливается 1 т жидкого корма. Для приготовления полной ванны необходимо четыре цикла. Количество циклов кормоприготовления задается оператором. Во время выполнения программы информация о ходе технологического процесса передается на пульт оператора и предназначается для контроля технологического процесса оператором. При возникновении аварийных ситуаций на пульт оператора выводится сообщение с указанием неисправности с приостановкой процесса. После устранения аварии технологический процесс продолжается.

После завершения приготовления заданного объема жидкого корма на панели шкафа загорается индикация «Корм готов» и работа программы прекращается. После завершения работы программы на панели шкафа управления кормоприготовлением загорается индикация «Корм готов».

В контроллере сохраняется информация о количестве используемого комбикорма и суммарной дозе выданного жидкого корма. На основании этих данных можно произвести расчет влажности жидкого корма. Данная информация выводится на дисплей пульта оператора.

Разработка программ в любой автоматизированной системе, в том числе для микропроцессорных систем управления технологическими процессами, является базисом, определяющим эффективность и трудоемкость всей разработки. Статистика отечественных и зарубежных разработок показывает, что стоимость разработки программ составляет 40–60 % всей разработки, включая стоимость технических средств. Эффективность функционирования ПМЛ зависит от качества программного обеспечения на 70–80 %.

Управляющая технологическая программа является статической и динамической математической моделью объекта управления, обеспечивающей управление в реальном масштабе времени. Ни один алгоритм не может дать необходимой степени формализации и детализации функционирования сложных производств. В конечном итоге, именно прикладная программа является коммерческим продуктом даже с учетом того факта, что при непосредственном управлении технологическим оборудованием она, несомненно, является аппаратно ориентированной.

При этом существенным является выбор языков программирования. Графические языки типа языка релейно-контактной символики (LD) или язык функциональных блоков (FBK) обладают наглядностью схем и соответствуют опыту аппаратного построения алгоритмов управления. Каждая строчка программы, написанной на языке релейно-контактной символики, представляет собой решение логического уравнения с включением при необходимости счетных и временных функций. И эти языки вполне успешно применяются при автоматизации технологических процессов. Но применение текстовых алгоритмических языков типа Automation Basic имеет очевидные преимущества за счет математического описания алгоритма управления, близкого к естественному языку, и упрощения обмена информации с системами верхнего уровня, использующими подобные алгоритмические языки.

Программа кормоприготовления написана на языке расширенной релейно-контактной символики (РРКС), которая представляет собой последовательность инструкций, воспроизводящих ступенчатую электрическую схему управляемого технологического оборудования. Ступенчатая электрическая схема строится в виде релейно-контактной схемы. Программа располагается в оперативном запоминающем устройстве микропроцессорного контроллера.

Для улучшения смешивания комбикорма и воды аппаратно программными средствами осуществляется регулирование подачи комбикорма в зависимости от количества воды. При этом взвешенная доза комбикорма подается в ванну-смеситель за несколько приемов. Благодаря этому осуществляется равномерная подача корма и воды и их качественное смешивание.

#### **4.3. Разработка микропроцессорной системы управления поточно-механизированной линией раздачи жидких кормов**

Модернизация технологического оборудования ПМЛ раздачи жидких кормов проводилась применительно к существующим промышленным свиноводческим комплексам на 54 и 108 тыс. голов с учетом как отечественного, так и зарубежного опыта [1, 2, 28].

Анализ типовых решений и опыт работы кормосмесительных на свинокомплексах республики выявил следующие недостатки типовой системы раздачи жидких кормов:

- низкая надежность системы управления кормораздачей, обусловленная применением релейно-контактных технических средств, дающих большое число отказов из-за работы в агрессивных средах (наличие аммиака в воздухе, высокая влажность и запыленность);
- дозирование жидкого корма осуществляется дозатором, имеющим датчики верхнего и нижнего уровней. Доза выбирается с помощью ручной перестановки датчиков, что не позволяет выдавать различные дозы в станки в автоматическом режиме;
- из-за низкой технической надежности объемного дозатора раздача жидкого корма ведется по временной схеме в обход дозатора, чем исключается нормированное дозирование по станкам;
- отсутствует учет используемого жидкого корма, что затрудняет приготовление необходимого количества жидкого корма.

Разработанная система управления позволяет отказаться от объемного дозатора, заменив его расходомером жидких сред ИР-61 или аналогичным. Отказ от объемного дозатора позволяет существенно поднять давление и расход в магистрали, что значительно сокращает время кормления. При этом упрощается технологическая схема, которая исключает объемный дозатор. Кроме того, становится

возможным вести строго дозированное, с учетом всех необходимых факторов, кормление. Это позволяет экономить от 10 до 30 % кормов (по сравнению с типовым решением).

Раздача жидких кормов может осуществляться в ручном или автоматическом режимах.

При функционировании линии раздачи в автоматическом режиме управление технологическим оборудованием осуществляется микропроцессорным программируемым контроллером. Отсчет доз производится по показаниям расходомера, который устанавливается в начале кормопровода (см. рис. 4.9).

Раздача корма в автоматическом режиме начинается после получения сигнала «Пуск». Контроллер анализирует положение тележки в начале сектора, выбор сектора, исправность датчиков. При положительном исходе диагностики контроллер дает команду на движение тележки вперед. При подходе к сливному крану тележка своими упорами воздействует на его рычаги, открывает кран и по сигналу датчика положения останавливается. Расходомер начинает отсчет дозы корма, сливающегося в кормушку. Показания расходомера анализируются микропроцессорным контроллером в автоматическом режиме работы. Параллельно с этим показания расходомеров можно контролировать визуально по показаниям электромеханического счетчика функционально-счетного преобразователя ФС 31М-04, мерцанию светодиодов платы входов контроллера, отклонению стрелки миллиамперметра вторичного преобразователя расходомера.

При совпадении показаний расхода со значением уставки (заданной дозы) контроллер дает сигнал тележке на возобновление движения. При начале движения тележка закрывает кран и движется далее к следующему крану, и цикл повторяется. При отсутствии животных в станке тележка пропускает его, и выдача жидкого корма в данную кормушку не производится. Процесс раздачи жидкого корма в кормушки заканчивается по сигналу от датчика «Конец сектора», после чего тележка возвращается в начало сектора.

Для выполнения алгоритма выдачи жидкого корма необходим микропроцессорный контроллер со специальным программным обеспечением, а также средства сопряжения контроллера с технологическим оборудованием объекта автоматизации.

Входные и выходные потоки информации для одной линии раздачи жидких кормов представлены на рис. 4.12.

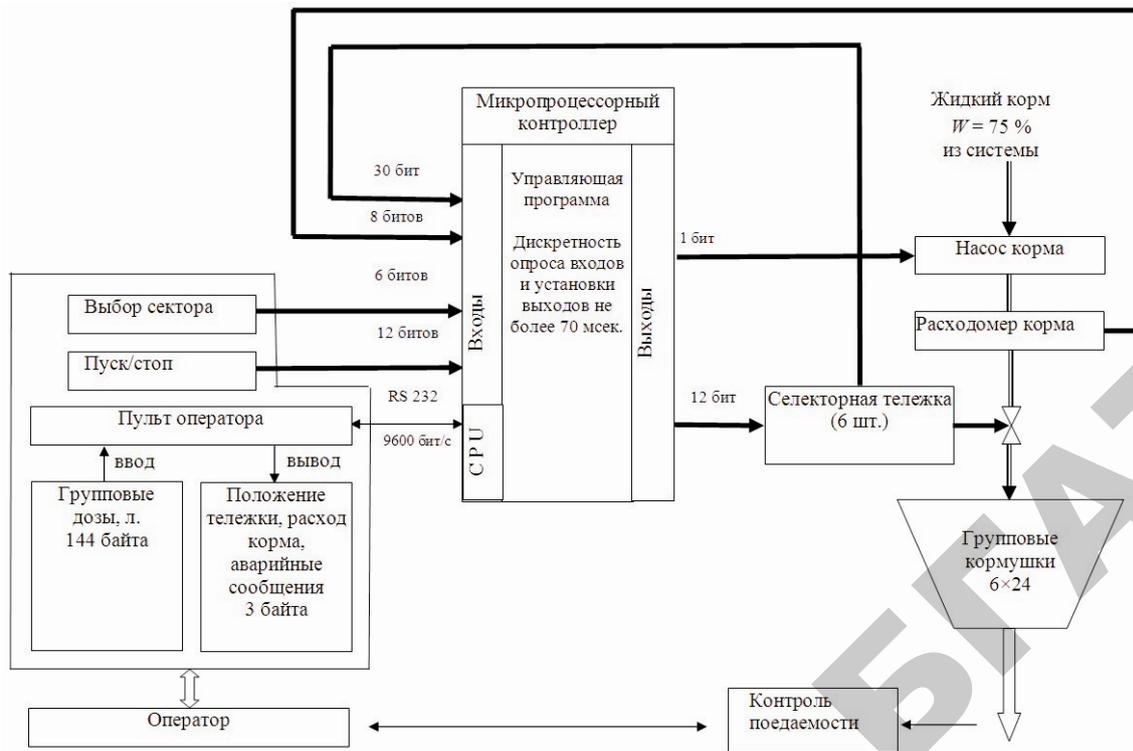


Рис. 4.12. Функционально-информационная схема ПМЛ (одна линия) раздачи жидких кормов с микропроцессорным управлением

В процессе управления кормораздачей входной информацией являются:

1) групповые дозы выдачи корма по каждому станку всех секторов;

2) номер выбранного сектора для кормораздачи – выбирается переключателем, расположенным на передней панели шкафа кормораздачи;

3) сигналы о местонахождении раздаточной тележки – «Начало сектора», «Разгрузка», «Конец сектора». Отображаются включением соответствующей сигнальной арматуры;

4) сигналы с индукционных расходомеров о расходе кормосмеси.

Входными данными подсистемы для процесса кормораздачи являются:

1) положение переключателя «Выбор сектора»;

2) сигнал с датчиков «Начало сектора»;

3) сигналы с индукционного расходомера в виде импульсов постоянного тока (один импульс соответствует 4 л выданного корма);

4) сигналы с датчиков «Разгрузка».

Выходными данными подсистемы по процессу кормораздачи являются:

1) сигнал включения движения тележки:

– при начальных условиях;

– после выдачи данной дозы в станок;

2) сигнал окончания цикла кормоприготовления;

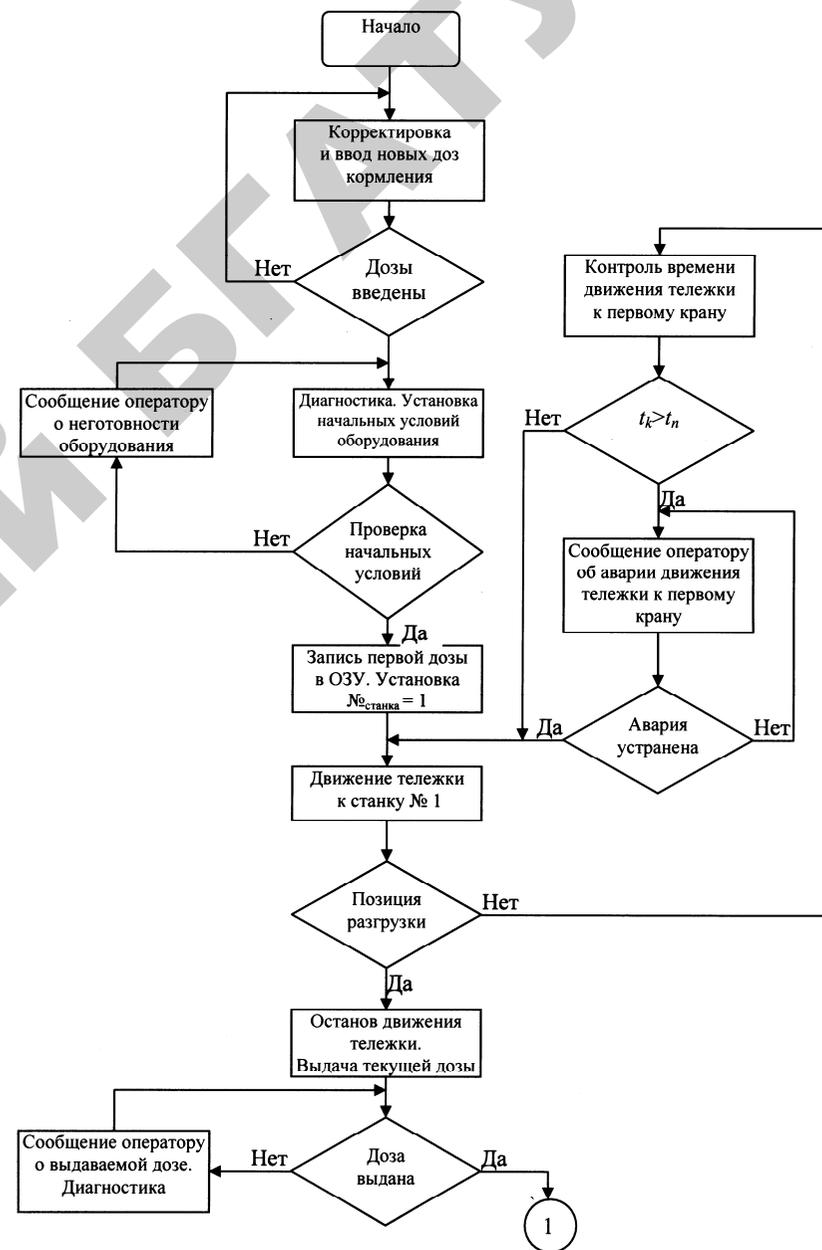
3) сигнал «Авария», свидетельствующий о нарушении порядка работы технологического оборудования.

В процессе выполнения процесса кормораздачи реализуются следующие операции:

1) управление раздаточной тележкой выбранного сектора при раздаче корма и возвращение назад – сигналы отображаются сигнальной арматурой, расположенной на передней панели шкафа кормораздачи или соответствующими светодиодами платы ввода/вывода контроллера;

2) по запросу оператора на табло пульта контроллера выдается информация о положении раздаточной тележки на трассе (номер станка) и объем выдаваемой в станок дозы.

Алгоритм процесса раздачи жидких кормов представлен на рис. 4.13.



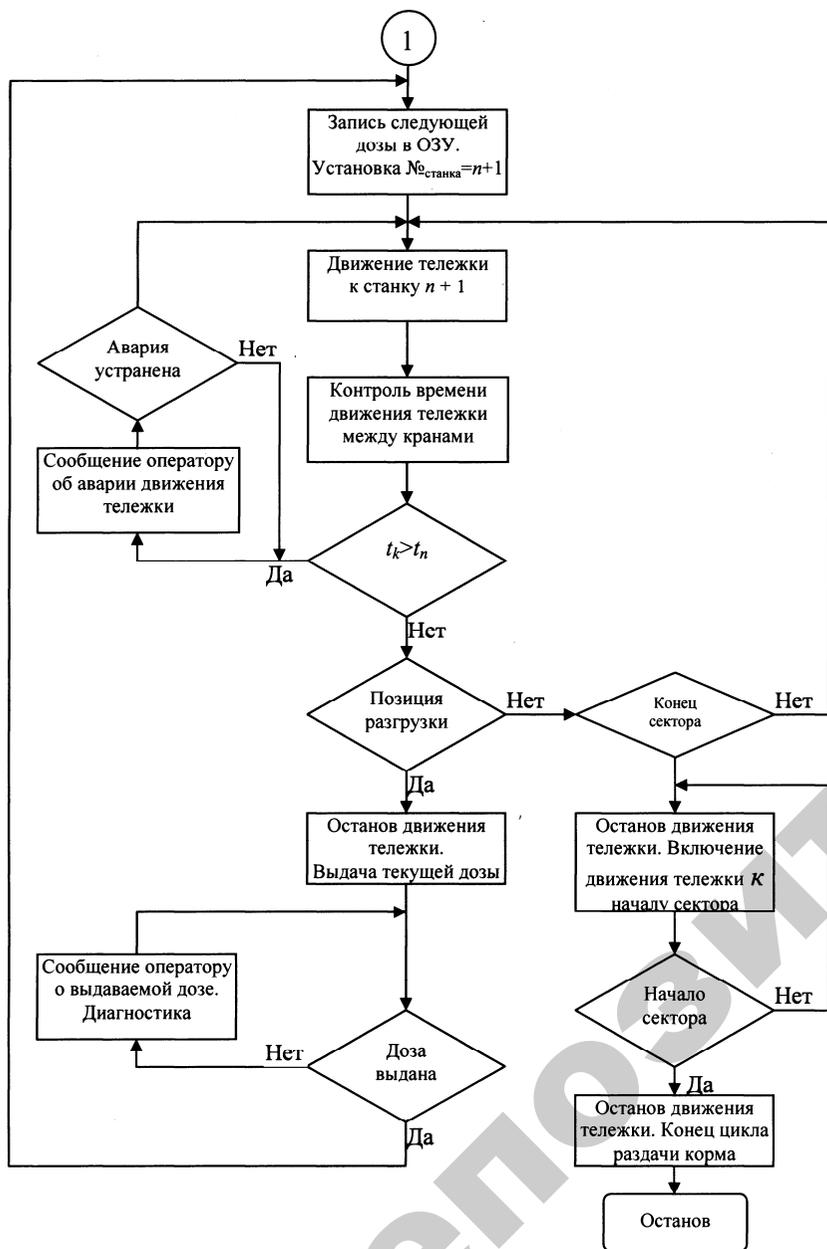


Рис. 4.13. Алгоритм раздачи жидких кормов

После нажатия на кнопку «Пуск» производится проверка начальных условий: пуск раздачи; автоматический режим кормораздачи; выбор сектора; положение кормораздаточной тележки в начале сектора. Проверка наличия сигналов осуществляется программно-аппаратными средствами. При отсутствии какого-либо из условий режим кормораздачи не начинается, а оператору выводится сообщение о неисправности.

Подготовка к раздаче жидкого корма начинается с занесения (при помощи пульта оператора) индивидуальных доз выдачи корма в станки. После нажатия на кнопку «Пуск» производится тестирование программы работы и правильность записи доз. После определения режима раздачи и положения кормораздаточной тележки в начале сектора включается движение тележки вперед. При наезде на позицию разгрузки тележка останавливается, выбирается соответствующая доза и при помощи расходомеров выдается в станок. После выдачи заданной дозы в счетчик станков добавляется 1 и вновь включается движение тележки вперед. При достижении позиции «Конец сектора» она останавливается, и цикл кормораздачи выбранного сектора завершается.

При выполнении программы кормораздачи на пульт оператора выводится следующая информация: при движении тележки – номер текущей клетки, при выдаче дозы – текущая доза, при возникновении аварийной ситуации – код аварии. При возникновении аварии процесс приготовления или раздачи корма приостанавливается. После устранения причин аварии в режиме кормораздачи процесс продолжается автоматически.

Программа предназначена для осуществления в автоматизированном режиме раздачи жидких кормов с применением типового технологического оборудования кормосмесительной.

Программа позволяет осуществлять дозирование жидкого корма по групповым станкам, а также вести учет выданного жидкого корма. Для реализации программы необходим микропроцессорный контроллер и средства сопряжения контроллера с технологическим оборудованием свиноводческого комплекса.

Модернизированные системы приготовления и раздачи жидких кормов успешно прошли Государственные испытания на Белорусской МИС (протокол № 36-92) и внедрены на действующих свиноводческих комплексах. Имеется технорабочий проект на базе

современной микропроцессорной техники общепромышленного применения.

#### 4.4. Программно-информационное обеспечение диагностики технологического оборудования ПМЛ

Техническое обслуживание, которое в течение длительного времени не рассматривалось в качестве элемента экономической эффективности, сегодня является важнейшей областью, позволяющей эффективно использовать ресурсы свиноводческих комплексов. Хорошо организованная сервисная служба, которая поддерживает высокую степень надежности технологического оборудования и средств автоматизации, может оказаться тем ключевым элементом, наличие или отсутствие которого означает успех или неудачу. И уникальные возможности микропроцессорной техники позволяют использовать накопленные знания о возможных отказах технологического оборудования и путем функциональной диагностики существенно повышать надежность выполнения технологического процесса.

Нами накоплен определенный опыт использования избыточных программно-технических возможностей управляющего микропроцессорного контроллера для оперативной диагностики оборудования при автоматизации приготовления и раздачи жидких кормов на промышленном свиноводческом комплексе.

При разработке системы управления важно учитывать реально возможный отказ технологического оборудования. Поэтому в алгоритм управления необходимо заложить корректный выход из такого состояния без нарушения технологического процесса (рис. 4.14) [16].

**Основные функции микропроцессорной системы подразделяются на управляющие, информационные и вспомогательные.**

К управляющим функциям относятся:

- регулирование (стабилизация) отдельных технологических переменных;
- одноконтурное логическое управление операциями или устройствами;
- программное логическое управление группой оборудования;
- оптимальное управление установившимися либо переходными режимами или отдельными стадиями технологического процесса;
- адаптивное управление объектом в целом.

К информационным функциям относятся:

- централизованный контроль и измерение технологических параметров;
- косвенное измерение;
- вычисление технико-экономических параметров процесса и его внутренних переменных;
- формирование и выдача данных оперативному персоналу;
- подготовка и передача информации на более высокий уровень управления (при необходимости);
- обобщенная оценка и проверка состояния технологического комплекса и его оборудования.

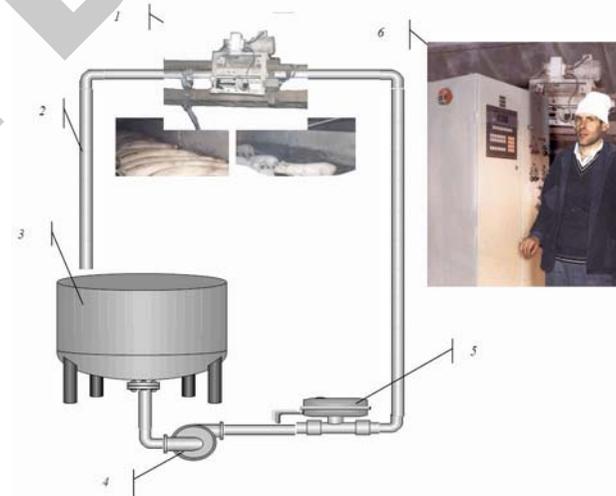


Рис. 4.14. Элементы технологического оборудования для раздачи жидкого корма: 1 – раздаточная тележка; 2 – кормопровод; 3 – ванна; 4 – насос кормораздачи; 5 – расходомер корма; 6 – шкаф управления

Вспомогательные функции микропроцессорного управления состоят в обеспечении контроля функционального состояния технических и программных средств автоматизированной системы.

Используя информацию от датчиков и оперативную диагностику в режиме реального времени, оператор кормосмесительной может предсказать возникновение неисправностей, выхода оборудования из строя и нарушение технологического процесса, что снижает время простоев технологического оборудования и возникновение аварийных ситуаций (табл. 4.7).

Таблица 4.7

## Диагностика отказов технологического оборудования

Вид отказа	Алгоритм диагностики	Используемые ресурсы микропроцессорного контроллера			Вид сообщения
		программные	аппаратные	информационные бит/с.	
Незакрытие крана/отказ расхода	Контроль времени выдачи корма/сравнение расхода при открытом и закрытом кране	Таймер, счетчик, сравнение	Датчик конечного положения (ДКП), расходомер корма	300	Код/текст аварии на пульте оператора, отключение насоса
Пропуск крана	Контроль времени движения раздаточной тележки между кранами/счет станков	Таймер, счетчик	Датчик конечного положения	240	Код/текст аварии на пульте оператора, останов тележки
Заклинивание двигателя тележки/насоса	Трехкратное увеличение тока нагрузки в течение 2 с	Компаратор, таймер, логика	Датчик тока, аналого-цифровой преобразователь	300	Код/текст аварии на пульте оператора, отключение нагрузки
Отсутствие раздаточной тележки в начале сектора	Срабатывание ДКП «Начало сектора» в начале цикла кормоприготовления	Логика	ДКП, дискретный вход	20	Код/текст аварии на пульте оператора, отключение насоса
Отсутствие 0 весов	Срабатывание ДКП в начале цикла кормоприготовления	Логика	ДКП, дискретный вход	20	Код/текст аварии на пульте оператора

Распределенность технологического оборудования на крупных свинокомплексах, отсутствие или невозможность визуального контроля его состояния негативно сказываются на успешном выполнении важнейших технологических процессов. В то же время применение микропроцессорной техники для построения систем управления создает определенные предпосылки для обеспечения оперативной диагностики и контроля технологического оборудования в процессе эксплуатации

Одним из наиболее часто вызывающих нарекания оборудованием раздачи жидких кормов на промышленном свиноводческом комплексе является раздаточная тележка,двигающаяся по реечному пути с последовательным открытием и закрытием сливных кранов. Основными отказами для нее являются: буксование при съезде с крана и пропуск крана. Наряду с техническим направлением решения этой проблемы используется программная оперативная диагностика. Анализ работы автоматизированной системы раздачи жидких кормов показывает, что наиболее неприятными отказами оборудования являются превышение времени открытия крана при сливе дозы корма в групповой станок и сбой последовательности счёта групповых станков с животными.

Первая авария может вызываться различными причинами, но ее последствия могут привести к большим потерям жидкого корма. Поэтому при выдаче дозы жидкого корма осуществляется контроль промежутка времени, за который должна быть выдана заданная доза корма. При превышении времени выдачи заданной дозы корма на пульт оператора выводится сообщение об аварии, которое дублируется звуковой или световой сигнализацией.

Вторая авария, вызываемая ошибкой подсчета последовательности станков с животными, может привести к нарушению процесса кормления.

Данные аварии возникают из-за нарушения работы раздаточной тележки. Несвоевременное обнаружение аварии приводит к выходу из строя двигателя или к механическому повреждению реечного пути. Для своевременного обнаружения аварийных ситуаций при раздаче жидкого корма производится программный контроль хода выполнения технологического процесса. В силу технологических причин кормораздаточные краны располагаются на разном расстоянии, поэтому и время прохождения раздаточной тележкой

последовательности кранов будет разным. Современная микропроцессорная техника предоставляет уникальные возможности в своевременной диагностике этих видов отказов.

Момент наезда тележки на кран определяется благодаря взаимодействию датчика конечного положения, расположенного на раздаточной тележке, с упором, расположенным рядом с краном. Порядковый номер кормушки и, следовательно, требуемая доза корма определяются по числу срабатываний датчика конечного положения раздаточной тележки. Однако возможна такая ситуация, когда по разным причинам – повреждение или разрегулировка упора – происходит пропуск крана, что приводит к ошибочному порядку кормления и нарушению технологического процесса. При возникновении такой ситуации микропроцессорный контроллер, по сигналу от датчика в конце сектора, выводит на дисплей информацию о количестве зарегистрированных кранов. Для определения порядкового номера пропущенного крана в перерыве между кормлениями запускают раздаточную тележку в специальном отладочном режиме. При этом тележка при наезде на кран останавливается на время порядка 2 с, и продолжает движение вперед до конца сектора. За движением тележки наблюдает оператор, и в случае, если тележка пропускает кран, оператор определяет порядковый номер пропущенного крана и принимает меры к устранению неисправности. Таким образом, определение порядкового номера неисправного крана требует проведения специальных работ и является достаточно длительным и трудоемким процессом.

В силу технологических причин краны располагаются на разном расстоянии, поэтому время прохождения раздаточной тележки последовательности кранов является разным и определяется соотношением

$$t_i = \frac{l_i}{v},$$

где  $t_i$  – интервал времени движения тележки от  $i-1$  до  $i$ -го крана, с;

$l_i$  – расстояние между  $i-1$  и  $i$ -м кранами, м;

$v$  – скорость движения тележки, м/с.

Пусть при нормальной эксплуатации тележки в одном из секторов получены эталонные интервалы времени движения тележки между последовательными кранами (табл. 4.8, 1 стр.). И пусть

в процессе кормления пропущен один кран, т. е. в конце сектора получено число зарегистрированных кранов 23 и набор интервалов времени (табл. 4.8, стр. 2).

Таблица 4.8

Пример значений интервалов времени при движении раздаточной тележки

Режим эксплуатации	Интервал времени, с												
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	...	22-23	23-24
Эталон	5	6	8	10	10	10	10	10	10	10	...	10	10
Рабочий	5	6	20	11	10	9	10	10	10	10	...	10	10

Анализ данных табл. 4.8 показывает, что пропущен кран с порядковым номером 5.

Для анализа интервалов времени в память микропроцессорного контроллера записаны эталонные значения временных интервалов движения тележки между последовательными сливными кранами и число этих кранов. Если при движении тележек не сработает датчик положения тележки на кране и тележка пропустит кран, то микропроцессорный контроллер или ЭВМ, анализируя промежутки времени и число зарегистрированных кранов, выдает на табло пульта оператора соответствующую информацию о порядковом номере пропущенного крана. Применение указанного способа контроля раздачи кормов позволяет своевременно определять пропуски кранов и строго выдерживать программу кормления, дает объективную информацию обслуживающему персоналу о состоянии технологического оборудования.

При движении тележки между кранами возможны две неисправности, когда тележка не движется из-за отсутствия сцепления между тележкой и реечным путем или из-за заклинивания. Для обнаружения первой неисправности производится контроль времени движения тележки между кранами. При превышении максимального времени движения тележки между кранами оператору выводится соответствующее сообщение. В случае заклинивания тележки производится контроль силы тока питания тележки. Если величина силы тока питания двигателя раздаточной тележки вышла за пределы заданной, происходит отключение двигателя тележки и отсылается соответствующее сообщение оператору.

Таблица 4.9

Учет расхода сухого и жидкого корма, воды и времени работы оборудования

Учетная функция	Используемые ресурсы микроконтроллера			Предоставление информации
	программные	аппаратные	информационные, бит/с	
Сухой корм	Логика, счетчик	ДКП стрелки весов	100	Ячейки памяти, панель оператора, ПЭВМ верхнего уровня
Жидкий корм	Счетчик, логика	ДКП тележки, расходомер корма	800	
Вода	Счетчик, логика	Расходомер воды	800	
Время работы оборудования	Часы реального времени, логика	Кнопки управления, часы реального времени	100	

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, были введены дополнительные аппаратные и программные средства. Режимы приготовления и раздачи жидкого корма не начинаются, если не выполняются определенные начальные условия. Резервирование действий состоит во введении дополнительных действий перед основным, которые исключают возможные ошибочные действия операторов. Приготовление или раздача жидкого корма не начнется, если переключателями не выбраны соответствующие режимы работы и не проведен диагностический контроль состояния технологического оборудования.

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.

Дополнительные возможности микропроцессорного управления использованы при учете расхода дорогостоящих ресурсов (табл. 4.9).

В процессе внедрения новых линий приготовления и раздачи жидких кормов производилось усовершенствование программ. В результате были полностью исключены ошибки программ, которые могли вызвать нарушение технологического процесса. Существенным и обязательным является использование избыточных программно-технических возможностей микропроцессорной техники для диагностики технологического оборудования. Это позволяет предотвратить или уменьшить ущерб от неизбежных отказов технологического оборудования.

Многолетний опыт эксплуатации микропроцессорных систем управления на свиноплеменных комплексах «Белая Русь» и «Борисовский» показывает, что они легко и быстро осваиваются персоналом, обладают высокой надежностью и эффективностью [3, 4, 5, 13].

#### 4.5. Оценка энергозатрат на раздачу жидких кормов различной влажности

Жидкое кормление обеспечивает высокую эффективность откорма свиней [8]. При этом система управления оборудованием для приготовления и раздачи жидких кормов должна обеспечивать выдачу запланированных доз корма при минимальных затратах энергии за ограниченный промежуток времени в соответствии с принятой технологией [20].

Система взаимосвязанных уравнений, описывающих выполнение данных условий, может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta D_i = \int_0^{t_i} Q_i(t) dt - D_i^3; \quad (4.15)$$

$$|\Delta D_i| \leq A_{\text{зад}};$$

$$\Theta = \sum_{i=1}^n \Theta_i(D_i, Q_i, W) \rightarrow \min, \quad (4.16)$$

$$T = \sum_{i=1}^n t_i \leq T_{\text{зад}}, \quad (4.17)$$

где  $\Delta D_i$  – отклонение фактической дозы корма в  $i$ -й станок от запланированной;

$D_i^3$  – запланированная доза корма в  $i$ -й станок;

$A_{\text{зад}}$  – допустимая погрешность выдачи дозы;

$Q_i(t)$  – производительность линии раздачи корма,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$t_i$  – время выдачи корма в  $i$ -й станок, с;

$W$  – влажность жидкого корма, %;

$\Theta_i$  – суммарные энергозатраты на выдачу дозы корма в  $i$ -й станок за время  $t_i$ ;

$\Theta$  – суммарные энергозатраты на выдачу корма во все станки за время  $t$ .

Выполнение условий (4.15) и (4.17) должно обеспечиваться алгоритмом управления в соответствии с зоотехническими и технологическими требованиями. Снижение энергозатрат (4.16) на раздачу жидкого корма позволит снизить себестоимость производства свинины и повысить конкурентоспособность свиноводческих комплексов республики.

Рассмотрим влияние влажности жидкого корма и производительности оборудования на суммарные энергозатраты на выдачу корма животным.

Мощность на транспортировку жидкого корма определяется по известной формуле [25]:

$$N = \frac{Q \rho g H}{\eta}, \quad (4.18)$$

где  $Q$  – текущий расход жидкого кома,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\rho$  – плотность жидкого корма,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$H$  – развиваемый напор, м;

$\eta$  – КПД электродвигателя насоса.

При этом напор, затрачиваемый на преодоление сопротивления кормопровода, равен:

$$H = H_{\text{жк}} + H_{\text{м}} + H_{\text{h}}, \quad (4.19)$$

где  $H_{\text{жк}}$  – потери напора на перемещение жидкого корма;

$H_{\text{м}}$  – потери напора на местные сопротивления;

$H_{\text{h}}$  – потери напора на подъем кормосмеси.

Основной составляющей в (4.18) являются потери напора на перемещение жидкого корма. Поэтому в рамках данных исследований ограничимся рассмотрением только этой составляющей.

Хотя жидкие кормовые смеси и относятся к неньютоновским жидкостям, для практически значимого диапазона влажности жидкого корма, для оценки потерь напора в кормопроводе можно использовать формулу Дарси-Вейсбаха [21]:

$$H = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (4.20)$$

где  $\lambda$  – безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления;

$l$  – длина кормопровода, м;

$d$  – диаметр кормопровода, м;

$v$  – скорость транспортировки кормосмеси,  $\text{м}/\text{с}$ ;

Тогда рассчитаем, после подстановки (4.20) в (4.18), мощность на привод центробежного насоса, необходимая для перекачки, которая зависит от влажности жидкого корма, скорости его движения и параметров кормопровода:

$$N = \frac{1}{\eta} \frac{l \rho}{d} \frac{Q v^2}{2} \lambda. \quad (4.21)$$

Анализ формулы (4.21) показывает, что для постоянных параметров кормопровода необходимая мощность на привод кормового насоса определяется скоростью движения кормовой смеси и коэффициентом гидравлического сопротивления.

Суммарные энергозатраты на выдачу запланированной в  $i$ -ю кормушку дозы  $D_i$  равны:

$$\Theta_i = \int_0^{t_i} N_i(t) dt, \quad (4.22)$$

где  $t_i$  – время на выдачу дозы.

В свою очередь, время на выдачу корма в  $i$ -ю кормушку зависит от плановой массы сухого вещества, влажности жидкого корма и при постоянной производительности оборудования определяется следующим образом:

$$t_i = \frac{m_{\text{сух}}}{\rho Q_i \left(1 - \frac{W}{100}\right)}, \quad (4.23)$$

где  $m_{\text{сух}}$  – масса сухого вещества выдаваемого корма.

Таким образом, энергозатраты на перекачку необходимой дозы корма в кормушку представляют собой сложный функционал. С одной стороны, при увеличении скорости движения жидкости (производительности оборудования) ощутимо возрастает мощность на привод насоса, но уменьшается необходимое для перекачки кормосмеси время. Таким же двояким способом действует и влажность кормосмеси. Увеличение влажности кормосмеси, с одной стороны, снижает коэффициент гидравлического сопротивления и необходимую для привода кормового насоса мощность, а с другой – увеличивает объем жидкого корма, необходимый для выдачи запланированного количества сухого вещества.

Проанализируем влияние влажности жидкого корма и скорости его движения по кормопроводу различных диаметров на энергозатраты на кормление животных.

Для проведения численных расчетов по зависимости (4.22), с учетом (4.21) и (4.23), необходимо идентифицировать связь коэффициента гидравлического сопротивления с влажностью кормосмеси и параметрами кормопровода. Для этого воспользуемся результатами экспериментальных исследований движения с разной скоростью кормосмеси различной влажности по кормопроводу различных диаметров [21] с аппроксимацией в сторону более высоких значений влажности жидкого корма.

Определенный методом множественной регрессии коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$  зависит от многих факторов, и следующее выражение удовлетворительно описывает эту зависимость в практически значимом диапазоне влажностей и скорости движения жидкого корма:

$$\lambda = 0,03 + \frac{0,086}{vd} e^{-0,45(W-81)}. \quad (4.24)$$

После подстановки выражений (4.22), (4.23), (4.24) в (8) получим, что суммарные энергозатраты на выдачу дозы жидкого корма при постоянной производительности оборудования равны

$$\Theta_i = \frac{m_i^{\text{сух}} l_i}{\eta d} \left( 0,03 + \frac{0,086}{vd} e^{-0,45(W-81)} \right) \frac{v^2}{\left(1 - \frac{W}{100}\right)}, \quad (4.25)$$

где  $l_i$  – расстояние до  $i$ -й кормушки;

$m_i^{\text{сух}}$  – масса сухого вещества дозы корма, выдаваемого в  $i$ -ю кормушку.

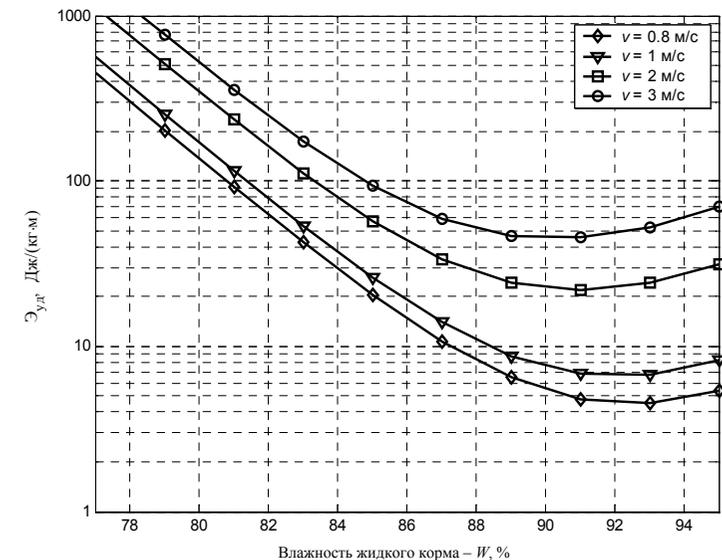


Рис. 4.15. Зависимость удельных энергозатрат на транспортировку от влажности жидкого корма при различных режимах работы насоса (диаметр трубопровода  $d = 0,05$  м)

Результаты моделирования выражения (4.25) в среде MatLab (рис. 4.15) показывают, что минимум энергозатрат на транспортировку жидкого корма достигается при его влажности около 90 % и сдвигается в сторону более низких значений влажности жидкого корма при увеличении скорости движения по кормопроводу.

Увеличение влажности жидкого корма позволяет существенно снизить энергоемкость раздачи жидких кормов свиньям, а также уменьшить мощность кормовых насосов и диаметр кормопровода. Но при практическом выборе влажности жидкого корма необходимо учитывать и физиологию животных. Поэтому рациональное значение влажности жидкого корма находится в диапазоне 80–81 %, что подтверждается и практикой работы оборудования для раздачи жидких кормов, включая импортное [23].

#### 4.6. Роботизированное оборудование для откорма свиней с возможностью дистанционного контроля и управления с использованием глобальной сети Интернет

Современные объекты автоматизации становятся все более сложными и дорогостоящими, что, в свою очередь, требует качественного и своевременного контроля их состояния. Наличие большого количества обслуживаемых систем, их удаленность друг от друга не всегда позволяют в полной мере оценить реальную ситуацию на объектах. Особенно это характерно для сельскохозяйственного производства, характеризующегося значительной удаленностью объектов и значительной ценой отказа оборудования. Кроме того, необходимо наличие биологической составляющей непрерывного круглосуточного контроля и управления с минимальным привлечением обслуживающего персонала. Развитие технологий и микропроцессорной техники позволило решить большую часть проблем, связанных с производительностью, точностью, надежностью и эффективностью работы оборудования.

Система жидкого кормления является передовой технологией в области свиноводства. Жидкое кормление имеет ряд преимуществ по сравнению с системой сухого кормления. Компьютеризация управления позволила реализовать инновационную технологию круглосуточного кормления свиней с учетом их текущей потребности.

Кормление «вволю» в наши дни является одной из важнейших систем кормления. В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан отечественный комплект оборудования, обеспечивающий высококачественную систему жидкого кормления, которая может работать по принципу нормированного кормления или кормления вволю [19, 32, 36]. Использование многоразовой раздачи кормов позволяет многократно уменьшить металлоемкость технологического оборудования и снизить энергозатраты на раздачу корма.

Автоматизированная система для откорма свиней изображена на рис. 4.16.

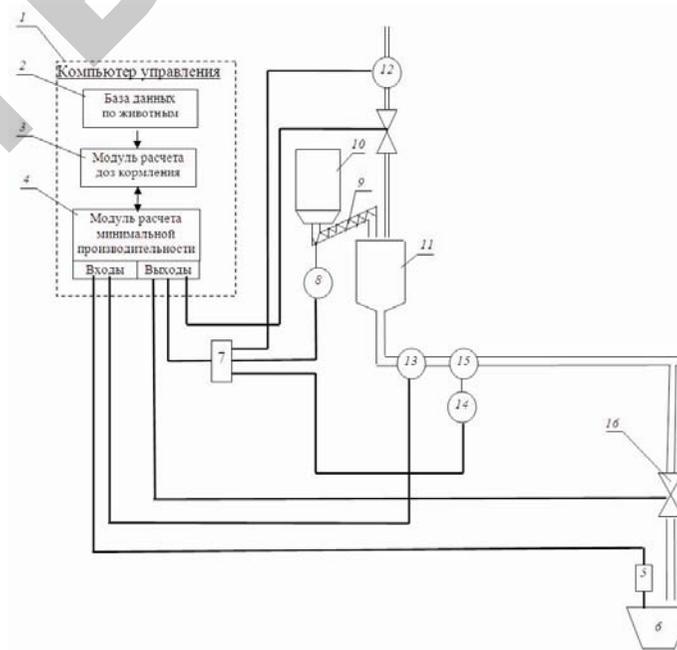


Рис. 4.16. Автоматизированная система кормления свиней:

- 1 – компьютер управления; 2 – база данных по животным;
- 3 – программный модуль расчета доз кормления; 4 – дополнительный модуль расчета минимальной производительности линий приготовления и раздачи кормов;
- 5 – датчик наличия жидкого корма в кормушке; 6 – кормушка;
- 7 – частотно-регулируемый электропривод двигателей линий приготовления и раздачи;
- 8 – электродвигатель шнека-извлекателя; 9 – шнек-извлекатель;
- 10 – бункер корма; 11 – смесительная ванна; 12 – двигатель привода насоса;
- 13 – расходомер контроля выдаваемой дозы; 14 – электродвигатель привода насоса;
- 15 – насос; 16 – электропневмоклапаны

Система состоит из компьютера управления 1, включающего базу данных по животным 2, программный модуль 3 расчета доз кормления и дополнительный модуль 4 расчета минимальной производительности линий приготовления и раздачи кормов, причем входы модуля 4 соединены с датчиками 5 наличия жидкого корма в кормушках 6 и с выходом программного модуля 3 расчета доз кормления, а выход дополнительного модуля 4 соединен с частотно-регулируемым электроприводом 7 двигателей линий приготовления и раздачи кормов. Линия приготовления жидкого корма включает двигатель 8 шнека-извлекателя 9 подачи комбикорма из бункера 10 в смесительную ванну 11, а также двигатель привода насоса 12 подачи воды в смесительную ванну 11. Технологическое оборудование раздачи жидкого корма включает смесительную ванну 11, расходомер 13 контроля выдаваемой дозы, электродвигатель 14 привода насоса 15 подачи жидкого корма, электропневмоклапаны 16 подачи жидкого корма в кормушки 6. В каждой кормушке 6 установлен датчик 5 наличия корма, соединенный с входами дополнительного модуля 4. При наличии корма в кормушке при текущем кормлении доза для данной кормушки не замешивается и не выдается.

В начале откорма масса свиней определяется взвешиванием и заносится в базу данных 2 компьютера управления. На основании массы свиней в модуле расчета 3 параметров определяется доза корма и в модуле рассчитывается минимальная производительность работы технологического оборудования приготовления и раздачи жидких кормов. С учетом наличия корма в каждой кормушке 6 для жидкого корма установлен датчик наличия корма 5, что позволяет контролировать поедаемость корма. При отсутствии корма сигнал от датчика 5 передается в компьютер управления, где рассчитывается необходимая доза приготовления корма только для кормушек, где жидкий корм отсутствует. На основании рассчитанной суммарной дозы корма для всех кормушек, требующих кормления, производится расчет минимальной производительности технологического оборудования за счет изменения частоты вращения двигателей исполнительных механизмов.

При этом разовая доза корма, необходимая для обеспечения животных, может меняться в широких пределах с изменением численности животных, их массы и аппетита. В то же время

производительность оборудования рассчитывается на максимально возможное число животных и их максимальную массу с необходимостью раздачи кормов за определенное время.

Так, согласно экспериментальным исследованиям, в цехе откорма СПК «Восходящая заря» получены следующие данные по объемам раздаваемого жидкого корма и затрачиваемого на это времени работы оборудования с постоянной производительностью (табл. 4.10).

Таблица 4.10

Экспериментальные данные по необходимым объемам замеса корма и времени работы оборудования для приготовления и раздачи жидкого корма в цехе откорма свиного комплекса за 1 день кормления

Объем корма, кг	1177	1441	2090	1650	979	1793	913	1851	1958
Время кормления, с	950	1010	1477	1220	840	1267	806	1344	1404

В то же время на одно кормление по принятой технологии допускается время до 1800 с. Таким образом, имеется возможность снижения производительности оборудования и соответствующего снижения затрат электроэнергии в силу значительных колебаний в объемах потребляемого корма.

Снижение затрат электроэнергии на привод оборудования для приготовления и раздачи кормов осуществляется благодаря уменьшению частоты вращения электроприводов и, соответственно, снижению производительности оборудования при сохранении постоянным суммарного времени приготовления и раздачи жидких кормов свиньям.

Производительность  $Q$  кормового насоса для подачи жидкого корма в кормопровод определяется по следующей зависимости:

$$Q = Q_0 (n / n_0), \quad (4.26)$$

где  $n$ ,  $n_0$  – частота вращения вала привода насоса.

Мощность  $N$ , затраченная на привод насоса, определяется по следующей зависимости:

$$N = N_0 (n / n_0)^3. \quad (4.27)$$

## Выводы по главе 4

Суммарные затраты электроэнергии, необходимые для обеспечения раздачи заданного объема  $V$ , равны

$$E = (V / Q) N. \quad (4.28)$$

Расчеты, проведенные по формулам (4.26), (4.27), (4.28) применительно к данным табл. 4.10, показывают, что выбор минимальной производительности оборудования для раздачи корма, обеспечивающего технологически обоснованное время кормления, позволяет экономить не менее 20–40 % затрат электроэнергии.

Приготовление и раздача корма осуществляется круглосуточно, до 20 циклов за сутки в автоматическом режиме, без необходимости присутствия оператора. Этот процесс продолжается циклически в течение 100–130 дней до достижения свиньями требуемой массы.

В качестве устройства управления использован контроллер PP-45 общепромышленного применения с цветной сенсорной панелью. Прикладная управляющая программа написана на алгоритмическом языке Automation Basic в среде программирования Automation Studia. Предусмотренная прикладной программой диагностика технологического оборудования и использование удаленного контроля и управления с использованием глобальной сети Интернет позволяет оперативно реагировать и устранять возможные отказы оборудования (рис. 4.17).

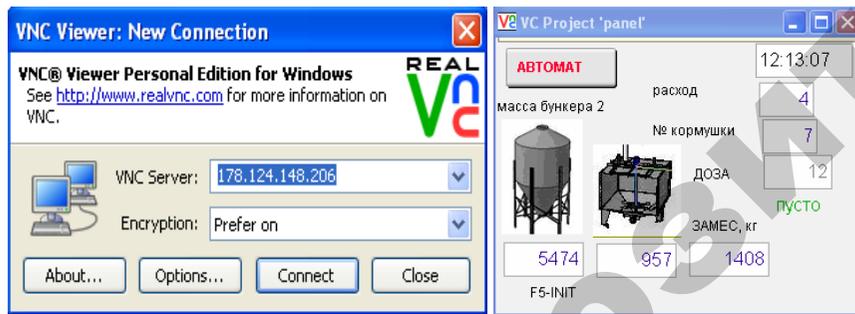


Рис. 4.17. Сервисное окно доступа к системе управления через сеть Интернет и окно визуализации технологического процесса кормления свиней

Многолетняя промышленная эксплуатация роботизированного оборудования в условиях свиноводческого комплекса показала его высокую эффективность и надежность.

1. Модернизация технологического оборудования приготовления и раздачи жидких кормов на свиноводческих комплексах с использованием возможностей микропроцессорной техники позволяет повысить наблюдаемость и управляемость процесса кормления. Разработан ряд способов и устройств контроля влажности, приготовления и раздачи жидких кормов, обеспечивающих упорядочивание этих важнейших технологических процессов откорма свиней, повышающих качество управления высокопроизводительными поточно-механизированными линиями и улучшающих условия работы операторов комплексов.

2. Разработаны, проведены Государственные испытания и внедрены модернизированные системы управления технологическими процессами приготовления и раздачи жидких кормов, максимально адаптированные к существующим структурам управления и оборудованию. Внедрение новых систем осуществлено без остановки производства, т. е. реализован принцип «Сегодня – старая технология, завтра – усовершенствованная».

3. Использование микропроцессорной техники общепромышленного применения позволяет в кратчайшие сроки и с минимальными затратами улучшать качество выполнения технологических процессов в условиях действующего производства. Переход на микропроцессорную технику сопровождается определяющим значением программного обеспечения. При использовании алгоритмических языков высокого уровня для программирования микропроцессорных контроллеров значительно облегчается математическое описание дискретно-непрерывных систем управления, сокращаются сроки разработки и внедрения в производство поточно-механизированных линий с микропроцессорным управлением.

4. Диагностика выполнения технологических процессов и контроль технологического оборудования с помощью микропроцессорных программно-аппаратных средств позволяет избежать нарушения выполнения технологических процессов и возникновения аварийных ситуаций. Кроме предотвращения простоев оборудования и потерь дорогостоящих ресурсов, подобная возможность снижает стрессовую нагрузку на операторов комплексов.

5. Информационная часть микропроцессорных линий приготовления и раздачи кормов, включающая датчики расхода сухих и влажных кормов, память и программу, позволяет осуществлять широкомасштабные производственные опыты.

6. Внедрение оборудования многоразовой раздачи жидких кормов позволяет значительно снизить металлоемкость и энергоемкость процесса раздачи, а компьютеризация управления создает возможность его роботизации.

#### Список литературы к главе 4

1. Автоматизированные системы нормированного кормления свиней при групповом содержании (зарубежный опыт) // Аналитическая записка. – Минск : Белнаучцентринформмаркетинг АПК, 1997. – 10 с.

2. Гируцкий, И.И. Микропроцессорная техника в системе кормоприготовления / И.И. Гируцкий, В.С. Досин, А.А. Жур // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. – № 7. – С. 12–13.

3. Гируцкий, И.И. Модернизация системы раздачи кормов на свиномкомплексе «Белая Русь» / И.И. Гируцкий, А.Н. Кунцевич. – Агропанорама. – 1998. – № 4. – С. 23.

4. Гируцкий, И.И. Практика модернизации систем управления технологическими процессами кормления свиней / И.И. Гируцкий // Известия НАН Республики Беларусь. – Сер.: Агропромышленное производство. – 2004. – № 3. – С. 102–105.

5. Гируцкий, И.И. Информационное обеспечение технологических процессов промышленного производства свинины / И.И. Гируцкий, Н.В. Гущо, В.А. Павловский // Агропанорама. – 2002. – № 2. – С. 29–32.

6. Гируцкий, И.И. Адаптивное управление откормом свиней / И.И. Гируцкий // Тракторы и сельхозмашины. – 2005. – № 12. – С. 39–42.

7. Герасимович, Л.С. Возможности компьютеризированных контроллеров В&R-2000 в автоматизации экспериментальных исследований параметров технологических процессов / Л.С. Герасимович, И.И. Гируцкий, Ю.В. Гагаков // Агропанорама. – 2003. – № 5. – С. 18–21.

8. Гируцкий, И.И. Контроль параметров жидкого корма на свиноводческих комплексах / И.И. Гируцкий, А.А. Жур // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина. – 2007. – № 3 (ч. 2). – С. 49–52.

9. Гируцкий, И.И. Первичное информационное обеспечение животноводства при автоматизации ферм / И.И. Гируцкий, Г.Г. Палкин // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 1997. – № 4. – С. 45–48.

10. Гируцкий, И.И. Из опыта производства свинины в Германии / И.И. Гируцкий, В.А. Павловский // Агропанорама. – 1998. – № 3. – С. 24–26.

11. Гируцкий, И.И. Компьютеризация сельхозпроизводства – путь к успеху / И.И. Гируцкий // Агропанорама. – 2001. – № 2. – С. 10–12.

12. Гируцкий, И.И. Пути повышения эксплуатационной надежности микропроцессорных систем управления / И.И. Гируцкий, А.А. Жур // Агропанорама. – 2001. – № 3. – С. 16–20.

13. Гируцкий, И.И. Переоснащение системы кормораздачи на свиномкомплексах Беларуси / И.И. Гируцкий [и др.] // Сельскохозяйственный вестник. – 2001. – № 12. – С. 18–19.

14. Гируцкий, И.И. Информационное обеспечение технологических процессов промышленного производства свинины / И.И. Гируцкий, Н.В. Гущо, В.А. Павловский // Агропанорама. – 2002. – № 2. – С. 29–32.

15. Гируцкий, И.И. Компьютерные технологии в кормлении свиней / И.И. Гируцкий // Проблемы разработки автоматизированных технологий и систем автоматического управления сельскохозяйственного производства : сб. докл. Междунар. науч.-техн. семинара, Углич, 14–15 мая 2002 г. – Углич, 2002. – С. 196–200.

16. Гируцкий, И.И. Программно-информационное обеспечение диагностики технологического процесса кормления свиней / И.И. Гируцкий, А.А. Жур // Агропанорама. – 2003. – № 1. – С. 6–10.

17. Гируцкий, И.И. Точное управление откормом свиней / И.И. Гируцкий // Тр. 6-й Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления», ИПУ РАН, Москва, 23–25 июня 2007. – М., 2007. – С. 508–525.

18. Гируцкий, И.И. Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для откорма свиней : автореф. дис.

... д-ра техн. наук: 05.20.01 / И.И. Гируцкий; ФГОУ ВПО МГАУ. – М., ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 36 с.

19. Гируцкий, И.И. Роботизированное оборудование для откорма свиней с возможностью дистанционного контроля и управления с использованием глобальной сети Интернет / И.И. Гируцкий [и др.] // Вестник ВНИИМЖ. – Сер.: Механизация, автоматизация и машинные технологии в животноводстве. – 2012. – № 3 (7). – С. 62–67.

20. Гируцкий, И.И. Оценка энергозатрат на раздачу жидких кормов различной влажности свиньям / И.И. Гируцкий, А.А. Жур. А.Г. Сеньков // Агропанорама. – 2014. – № 4. – С. 26–28.

21. Грек, Ф.З. Расчет сопротивления движению гидросмесей по трубопроводу / Ф.З. Грек, В.С. Захаревич // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 2. – С. 43–44.

22. Палкин, Г.Г. Идентификация животных на автоматизированных фермах / Г.Г. Палкин, И.И. Гируцкий // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – № 11. – С. 21–23.

23. Руководство по эксплуатации оборудования для жидкого кормления свиней MC99NT 11 P60X / Big Dutchman, издание : 11/2005, M1612RUS.

24. Основы кормления свиней по интенсивной технологии // Вестник. Российская сельская информационная сеть. – М., 2000. – № 1. – С. 11–13.

25. Остренко, С.А. Гидравлика, гидропривод, гидравлические и пневматические системы / URL: [http://abc.vvsu.ru/Books/l\\_gidrosys/page0001.asp](http://abc.vvsu.ru/Books/l_gidrosys/page0001.asp). – Дата обращения: 03.04.2014.

26. Справочник проектировщика АСУ ТП / Г.Л. Смилянский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1983. – 527 с.

27. Тютинник, М. Концепция Transport Factory: Web – технология в автоматизации производства / М. Тютинник // МКА. – 2001. – № 1. – С. 23–28.

28. Черник, Г.В. Механизация свиноводческих ферм и комплексов / Г.В. Черник, Л.Г. Хоцко. – Л. : Колос; Ленингр. отд-е, 1981. – 167 с.

29. Устройство для раздачи жидких кормов: а. с. 1806572 СССР, А01 К 5/02 / И.И. Гируцкий, В.С. Досин; заявитель БелНИПИ АСУ; заявл. 12.02.91; опубл. 07.04.93. Бюл. № 13. – С. 11.

30. Способ приготовления и раздачи жидкого корма в животноводческих помещениях: а. с. 1822686 СССР, А01 К 5/02 /

И.И. Гируцкий, В.С. Досин; заявитель БелНИПИ АСУ; заявл. 21.03.91; опубл. 23.06.93. Бюл. № 23. – С. 11.

31. Способ раздачи жидких кормов: а. с. 1825606 СССР, А01 К 5/02 / И.И. Гируцкий, В.С. Досин, Л.Л. Брутман, А.А. Жур; заявитель БелНИПИ АСУ; заявл. 20.06.91; опубл. 07.07.93. Бюл. № 22. – С. 14.

32. Автоматизированная система для откорма свиней: пат. № 7909 Респ. Беларусь, МПК А01 К 1/02 / И.И. Гируцкий, А.А. Жур, С.В. Крылов, В.Ф. Марышев; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u20110478; заявл. 15.06.2011; опубл. 28.02.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 17.

33. Автоматизированный дискретный дозатор: пат. № 787 Респ. Беларусь, МПК А01 К 5/02 / И.И. Гируцкий, В.А. Павловский; заявитель БГАТУ. – № u20020200; заявл. 12.07.2002; опубл. 30.03.2003 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 3. – С. 11.

34. Способ раздачи жидких кормов: пат. № 4260 Респ. Беларусь, МПК А01 К 5/02 / И.И. Гируцкий, В.А. Павловский, А.В. Семижон; заявитель БГАТУ. – № а 19991133; заявл. 20.12.99; опубл. 30.12.01 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2001. – № 12. – С. 10.

35. Автоматическая кормораздаточная установка для жидких кормов: пат. № 522 Респ. Беларусь, МПК А01 К 5/02 / И.И. Гируцкий, В.А. Павловский; заявитель БГАТУ. – № u 20010178; заявл. 13.07.01; опубл. 28.10.01 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2002. – № 3. – С. 9.

36. Программа управления технологическим процессом приготовления и раздачи жидких кормов свиньям: свидетельство о регистрации компьютерной программы №255. 17.11. 2010 г. / И.И. Гируцкий, А.А. Жур, Ю.А. Кислый, М.В. Навныко; заявитель БГАТУ, № С20100125, зарегистрир. 17.11.2010 // Реестр зарегистрир. комп. программ ; дата внесения записи: 17.11.2010.

## ГЛАВА 5. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ

Качественное кормление молочных коров является важным условием их высокой продуктивности [8, 9]. Поэтому составление сбалансированного по питательности и стоимости рациона – это практическая задача, с которой постоянно приходится иметь дело специалисту-зоотехнику. В настоящее время в сельское хозяйство активно и достаточно успешно внедряются компьютерные программы и методы расчета рационов кормления [1]. В основе работы таких программ лежат технологии поддержки принятия решений, использование которых позволяет:

- сформировать множество альтернативных вариантов решения задачи расчета рациона;
- получить результаты сравнения альтернатив;
- выбрать лучшую альтернативу, которая и выдается программой в качестве рекомендации для специалиста-пользователя;
- значительно сократить время, затрачиваемое специалистом-зоотехником на решение задачи расчета сбалансированного рациона.

### 5.1. Математическая модель сбалансированного кормления КРС

Исходными данными для расчета рациона молочной коровы, в соответствии с методиками, принятыми в Республике Беларусь, являются масса животного, стадия лактации и удой: суточный удой – для лактирующих коров либо прогнозируемый удой за лактацию – для сухостойных коров. Считается, что значениями этих величин определяются научно обоснованные нормы суточного потребления коровой основных питательных компонентов (сухое вещество, обменная энергия, протеин, жир, клетчатка и т. д.) [2, 10]. Зависимости норм суточного потребления сухого вещества и обменной энергии от удоя и массы коровы, полученные на основе справочных данных для лактирующих коров черно-пестрой породы [2], представлены на рис. 1, 2.

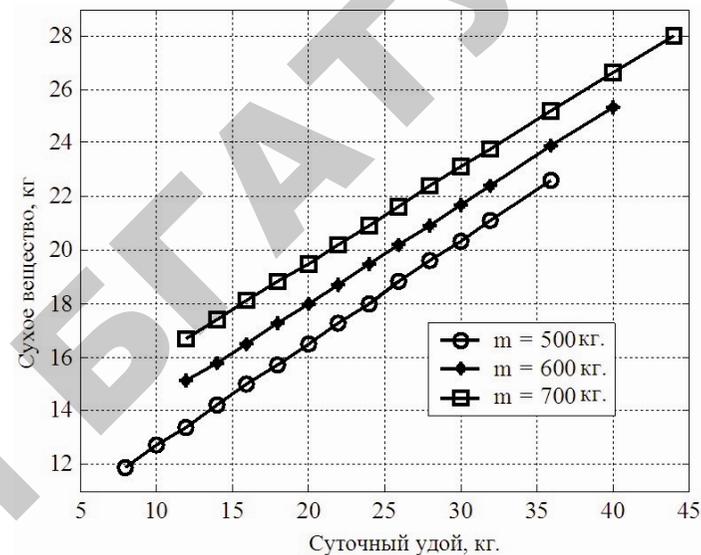


Рис. 5.1. Зависимость нормы суточного потребления сухого вещества от удоя для лактирующих коров с массой 500–700 кг [1]

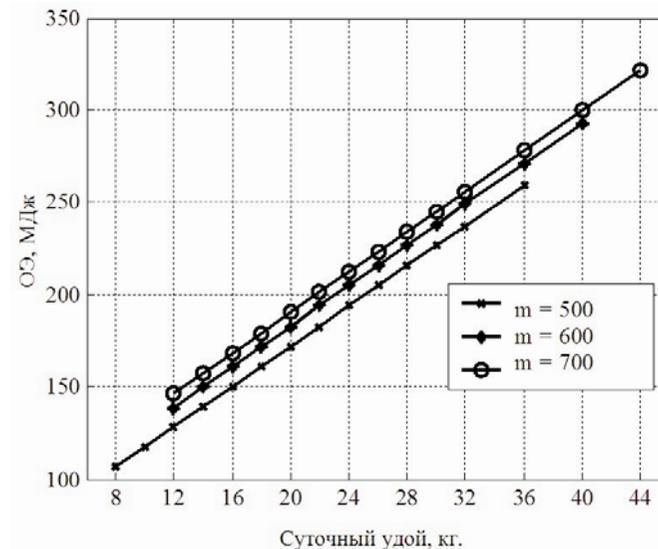


Рис. 5.2. Зависимость нормы суточной обменной энергии от удоя для лактирующих коров с массой 500–700 кг [1]

Как видно из графиков, данные зависимости весьма близки к линейным, поэтому для расчета норм суточного потребления питательных компонентов по заданным значениям массы коровы и удою можно использовать метод кусочно-линейной интерполяции справочных табличных данных.

Обозначим как вектор  $\bar{D} = (D_1, \dots, D_M) = \{D_j\}_{j=1, \dots, M}$  требуемую норму суточного потребления коровой  $j$ -го питательного компонента, где  $M$  – количество учитываемых при оптимизации рациона питательных компонентов.

Пусть специалистом-зоотехником выбрано для составления рациона  $N$  из имеющихся в хозяйстве кормов. Из выбранных  $N$  кормов необходимо составить такой рацион кормления, который должен:

- иметь наименьшую стоимость;
- удовлетворить потребности животного в  $M$  питательных компонентах в соответствии с требуемыми нормами.

Для математической формализации описанных требований для каждого из включенных в рацион кормов введем следующие обозначения:

$a_{ij}$  – содержание  $j$ -го питательного компонента в 1 кг  $i$ -го корма ( $i = 1, \dots, N$ );

$c_i$  – стоимость 1 кг  $i$ -го корма;

$x_i$  – искомое суточное потребление  $i$ -го корма.

Вектор  $\bar{R} = (\bar{R}_1, \dots, \bar{R}_M) = \{R_j\}_{j=1, \dots, M}$  – вектор содержания в рассматриваемом рационе каждого из  $M$  питательных компонентов, причем  $j$ -й элемент  $R_j$  вектора определяется следующим выражением:

$$R_j = \sum_{i=1}^N a_{ij} x_i. \quad (5.1)$$

Тогда относительное отклонение содержания в рационе  $j$ -го питательного компонента от суточной нормы его потребления есть разность, деленная на значение суточной нормы, и в векторной форме может быть выражена следующим образом:

$$\bar{\delta} = \left\{ \frac{D_j - R_j}{D_j} \right\}_{j=1, \dots, M}. \quad (5.2)$$

Таким образом, вектор  $\bar{\delta}$  есть вектор отклонений питательности рациона от нормы по отдельным питательным компонентам. Чем

точнее питательность рациона будет соответствовать требуемым нормам, тем меньше должно быть значение нормы вектора  $\bar{\delta}$ . Поэтому в качестве первой целевой функции предлагается использовать норму вектора  $\bar{\delta}$ , определяемую как взвешенная сумма модулей его элементов:

$$Z_1(\bar{x}) = \|\bar{B} \bar{\delta}^T\| = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M B_j \left| \frac{\sum_{i=1}^N a_{ij} x_i - D_j}{D_j} \right|, \quad (5.3)$$

где  $\bar{B} = \{B_j\}_{j=1, \dots, M}$ ,  $B_j \geq 0$ ,  $\sum_{j=1}^M B_j = 1$  – вектор нормировочных коэффициентов, значения элементов которого пропорциональны степени важности отклонений рациона от нормы по тому или иному питательному компоненту. Значения коэффициентов  $B_j$  определяются методом экспертного оценивания. Нормирование значений функции  $Z_1$  путем деления на  $M$  приводит к тому, что  $Z_1(0) = 1$ .

В качестве второй целевой функции, очевидно, следует выбрать стоимость рациона:

$$Z_2(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N c_i x_i. \quad (5.4)$$

Кроме того, следует предусмотреть возможность планирования (при необходимости) специалистом-пользователем структуры рациона, т. е. задания дополнительных ограничений на массу или процентное содержание в рационе того или иного из выбранных кормов.

Таким образом, математическая формулировка задачи оптимизации рациона имеет следующий вид:

$$\begin{cases} X_{\min i} \leq x_i \leq X_{\max i}, \\ \langle p_{iCB} = P_{iCB} \rangle, \langle p_{iOЭ} = P_{iOЭ} \rangle, \\ \sum_{i=1}^N a_{iCB} x_i \geq D_{CB}, \\ \sum_{i=1}^N a_{iOЭ} x_i \geq D_{OЭ}, \\ \min \{Z_1(\bar{x}), Z_2(\bar{x})\}, \end{cases} \quad (5.5)$$

где  $X_{\min i}, X_{\max i}$  – начальные ограничения на минимальное и максимальное значение массы  $i$ -го корма в суточном рационе, задаваемые при необходимости пользователем,  $i = 1, \dots, N$ ;

$$p_{iCB} = \frac{a_{iCB} x_i}{\sum_{i=1}^N a_{iCB} x_i}, \quad p_{iOЭ} = \frac{a_{iOЭ} x_i}{\sum_{i=1}^N a_{iOЭ} x_i} - \text{процент, соответственно, от}$$

сухого вещества и обменной энергии всего рациона, обеспечиваемый  $i$ -м кормом (структура рациона);

$P_{iCB}, P_{iOЭ}$  – задаваемые при необходимости пользователем начальные ограничения на допустимые значения  $p_{iCB}, p_{iOЭ}$ , определяющие желаемую процентную структуру рациона по сухому веществу и по обменной энергии, фигурные скобки  $\langle \rangle$  означают, что данное ограничение не обязательно присутствует в системе;

индексы «CB», «OЭ» – обозначают «сухое вещество» и «обменная энергия» соответственно.

Задача (5.5) является задачей двухкритериальной оптимизации.

## 5.2. Алгоритм расчета рационов

Для решения двухкритериальной оптимизационной задачи (5.5) предлагается использовать метод взвешенной суммы [7], при котором в качестве единственной минимизируемой целевой функции выбирается взвешенная сумма обеих первоначальных целевых функций:

$$Z(\bar{x}) = w_1 Z_1(\bar{x}) + w_2 Z_2(\bar{x}), \quad (5.6)$$

где  $w_1, w_2$  – некоторые весовые коэффициенты, причем  $w_1 > 0, w_2 > 0, w_1 + w_2 = 1$ .

При таком подходе затруднение представляет тот факт, что целевые функции  $Z_1(\bar{x}), Z_2(\bar{x})$  имеют разные размерности: значения  $Z_1(\bar{x})$  измеряются в безразмерных относительных единицах, а значения  $Z_2(\bar{x})$  – в денежных единицах. Поэтому решение задач (5.3), (5.4) предлагается проводить в два этапа.

На первом этапе необходимо найти решение однокритериальной задачи, где в качестве целевой функции используется только функция  $Z_1(\bar{x})$ :

$$\begin{cases} X_{\min i} \leq x_i \leq X_{\max i}, \\ \langle p_{iCB} = P_{iCB} \rangle, \langle p_{iOЭ} = P_{iOЭ} \rangle, \\ \sum_{i=1}^N a_{iCB} x_i \geq D_{CB}, \\ \sum_{i=1}^N a_{iOЭ} x_i \geq D_{OЭ}, \\ Z_1(\bar{x}) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (5.7)$$

Результатом решения задачи (5.5) будет рацион  $\bar{x}_1$ , оптимизированный по питательности, для которого сумма отклонений от требуемых норм питательности по основным учитываемым питательным компонентам будет минимальна, т.е. рацион  $\bar{x}_1$  будет максимально приближен по содержанию основных питательных компонентов к требуемым нормам. Задача (5.7) представляет собой задачу линейного программирования и может быть решена симплекс-методом с искусственным базисом [3, 4].

После решения задачи (5.5) необходимо по формуле (5.4) вычислить стоимость рациона  $\bar{x}_1$ :

$$C_1 = \sum_{i=1}^N c_i x_{1i}.$$

На втором этапе для устранения несоответствия размерностей целевых функций  $Z_1(\bar{x}), Z_2(\bar{x})$  из (5.5) необходимо вместо  $Z_2(\bar{x})$ , использовать целевую функцию, определяемую следующим образом:

$$Z_2^*(\bar{x}) = \frac{Z_2(\bar{x}) - C_1}{C_1}. \quad (5.8)$$

Выраженная указанным способом целевая функция  $Z_2^*(\bar{x})$  по смыслу представляет собой отклонение стоимости  $Z_2(\bar{x})$  некоторого

рациона  $\bar{x}$  от стоимости  $C_1$  оптимального по питательности рациона  $\bar{x}_1$ , деленное на значение стоимости  $C_1$ . Таким образом, значения функции  $Z_2^*(\bar{x})$  измеряются в безразмерных относительных единицах, что совпадает с размерностью целевой функции  $Z_1(\bar{x})$ .

Теперь для поиска рациона, оптимального одновременно по питательности и по стоимости, необходимо, используя метод взвешенных сумм, решить следующую однокритериальную оптимизационную задачу:

$$\begin{cases} X_{\min i} \leq x_i \leq X_{\max i}, \\ \langle p_{iCB} = P_{iCB} \rangle, \langle p_{iOЭ} = P_{iOЭ} \rangle, \\ \sum_{i=1}^N a_{iCB} x_i \geq D_{CB}, \\ \sum_{i=1}^N a_{iOЭ} x_i \geq D_{OЭ}, \\ Z(\bar{x}) = w_1 Z_1(\bar{x}) + w_2 Z_2^*(\bar{x}) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (5.9)$$

Целевая функция  $Z(\bar{x})$  в (5.9) представляет собой взвешенную сумму двух конфликтующих целевых функций. Так, для уменьшения стоимости рациона необходимо уменьшать массу кормов в нем, что приведет к уменьшению значения  $Z_2^*(\bar{x})$ , однако при этом рацион все более будет отклоняться от требуемых оптимальных норм питательности, значит, будет возрастать значение  $Z_1(\bar{x})$ .

Значения весовых коэффициентов  $w_1$ ,  $w_2$ , как и значения  $B_j$ , определяются методами экспертного оценивания.

Задача (5.9), подобно задаче (5.5), может быть решена с использованием симплекс-метода с искусственным базисом.

Предложенный подход к расчету оптимального рациона был использован в БГАТУ при создании компьютерной программы поддержки принятия решений при расчете рационов кормления молочных коров [3]. Ее практическая апробация в хозяйствах Минской и Гродненской областей Республики Беларусь показала, что при оптимизации рациона одновременно по 8 показателям (сухое

вещество, обменная энергия, сырой протеин, сырая клетчатка, сырой жир, кальций, фосфор, соль поваренная) практически всегда достигается весьма точное совпадение питательности рассчитанного рациона с требуемыми нормами по двум-трем основным показателям (сухое вещество, обменная энергия, протеин), отклонения от нормы по которым не превышают 1%. В то же время в некоторых случаях отклонения от нормы по остальным показателям могут быть достаточно большими: по кальцию, фосфору, клетчатке, например, отклонения от нормы могут достигать 10–15%. Поэтому в качестве альтернативы описанной методики расчета рациона предлагается также подход, суть которого состоит в поиске рациона, для которого отклонения питательности от нормы по всем учитываемым показателям лежали бы в некоторых допустимых границах. Математическая формулировка такого подхода имеет следующий вид:

$$\begin{cases} X_{\min i} \leq x_i \leq X_{\max i}, \\ \langle p_{iCB} = P_{iCB} \rangle, \langle p_{iOЭ} = P_{iOЭ} \rangle, \\ 0 \leq \left( \sum_{i=1}^N a_{iCB} x_i - D_{CB} \right) / D_{CB} \leq L_{CB}, \\ 0 \leq \left( \sum_{i=1}^N a_{iOЭ} x_i - D_{OЭ} \right) / D_{OЭ} \leq L_{OЭ}, \\ \left| \sum_{i=1}^N a_{ij} x_i - D_j \right| / D_j \leq L_j, \quad j=1, \dots, M, \quad j \neq 'CB', \quad j \neq 'OЭ', \\ Z(\bar{x}) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (5.10)$$

где  $L_j$  – допустимые границы (в процентах) отклонения питательности рациона от нормы по  $j$ -му учитываемому параметру.

Значения  $L_j$ , подобно значениям коэффициентов  $B_j$  в (5.8), отражают степень важности совпадения питательности рациона с нормой по  $j$ -му компоненту: чем меньше  $L_j$ , тем точнее должно быть совпадение с нормой. Значения  $L_j$  следует определять методами экспертного оценивания. Авторами программы [3, 7] предложено значения  $L_j$  определять обратно пропорционально значениям коэффициентов  $B_j$ :

$$\frac{L_j}{L_{CB}} = \frac{B_{CB}}{B_j}, \quad j=1, \dots, M, \quad j \neq 'CB'. \quad (5.11)$$

Алгоритм расчета рациона получается следующий.

*Шаг 1.* Задается минимально допустимое значение границы отклонения питательности рациона от нормы по сухому веществу:  $L_{CB} = 0,5\%$ .

*Шаг 2.* По формуле (5.11) определяются соответствующие значения границ отклонения питательности рациона от нормы по остальным учитываемым питательным компонентам:  $L_j, j=1, \dots, M, j \neq 'CB'$ .

*Шаг 3.* С помощью алгоритма симплекс-метода с искусственным базисом выполняется поиск решения оптимизационной задачи (5.10).

*Шаг 4.* Если решение не найдено, то значение границы отклонения по сухому веществу  $L_{CB}$  необходимо увеличить на  $0,5\%$  и перейти к шагу 2.

Поиск повторяется до тех пор, пока не будет найдено решение оптимизационной задачи (5.10).

Основным достоинством предложенной математической модели расчета рациона кормления коров является то, что, составляя рацион, специалист-зоотехник при необходимости имеет возможность планировать его желаемую процентную структуру, исходя из зоотехнических требований, имеющихся в хозяйстве запасов данного корма и прочих условий.

Также следует отметить и то, что путем введения весовых коэффициентов  $B_j$  учитывается степень важности совпадения с нормой содержания питательных компонентов в рационе, т. е. балансирование рациона будет выполняться с максимальной точностью по основным питательным компонентам (обменная энергия, сухое вещество и т. д.), в то время как по остальным компонентам возможны отклонения от нормы в некоторых допустимых пределах.

### 5.3. Компьютерная программа балансирования рациона кормления

Компьютерная программа балансирования рациона для молочного скота, использующая предложенные методы расчета рационов,

была разработана в БГАТУ в 2013 г. [3]. Данная компьютерная программа внедрена и используется в хозяйствах Минской и Гродненской областей. Последовательность расчета рациона представлена в виде блок-схемы (рис. 5.3).

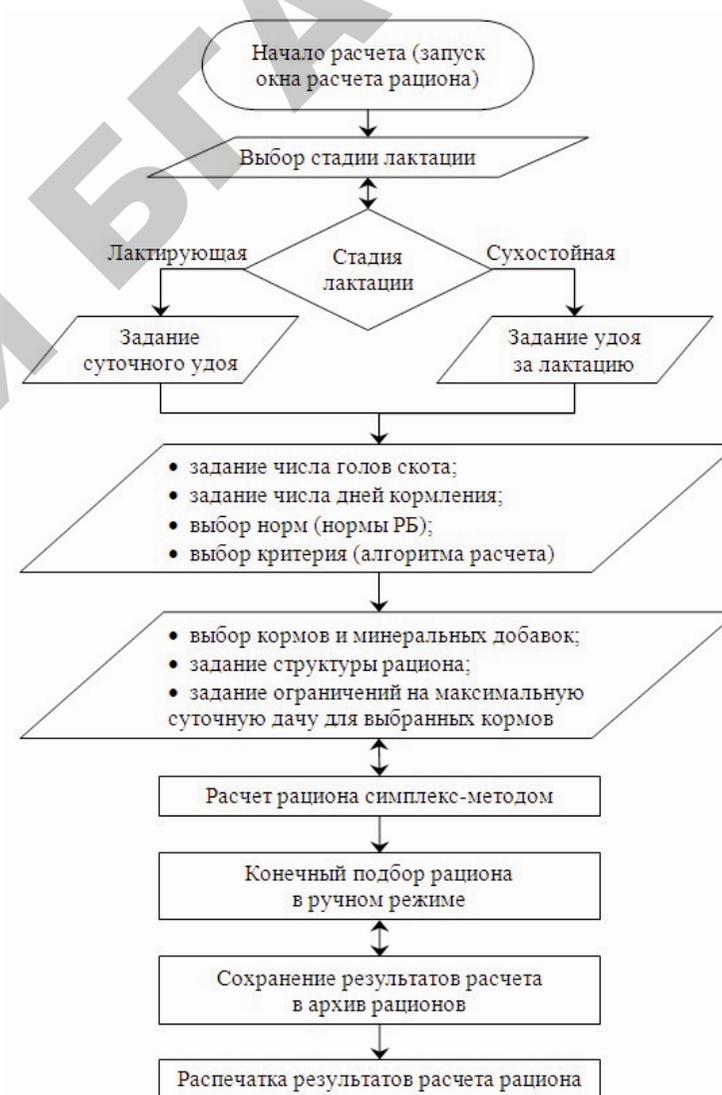


Рис. 5.3. Алгоритм расчета рациона

Стартовое окно программы (рис. 5.4) включает два пункта: *Рационы* и *Корма*. Пункт меню *Рационы* позволяет выполнить расчет нового рациона (подпункт *Расчет рациона*), а также просмотр сохраняемых в базе данных сведений о ранее рассчитанных рационах (подпункт *Архив рационов*).

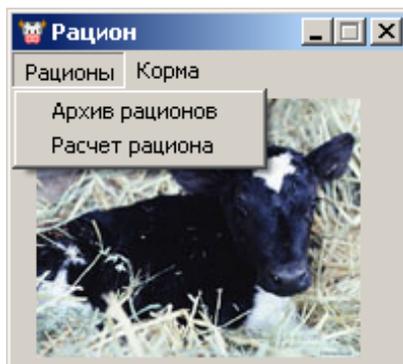


Рис. 5.4. Стартовое окно программы расчета рациона

Пункт меню *Корма* позволяет редактировать базу данных кормов программы, а именно, просматривать и изменять в случае необходимости информацию о питательности, запасах, цене и других параметрах того или иного корма, добавлять в базу данных новый корм, удалять из базы данных не используемое более наименование корма. База данных кормов программы представляет собой обширный список, содержащий около 200 наименований кормов со справочными данными об их питательности.

Окно расчета нового рациона показано на рис. 5.5. Окно содержит следующие элементы.

Визуально окно расчета рациона разделено на 4 области (фрейма):

1. Фрейм задания начальных сведений для расчета (в верхней части окна).

Фрейм содержит ячейки ввода данных, позволяющие ввести данные о стадии лактации коровы, ее массе, суточном удое либо прогнозируемом удое за весь период лактации, число голов скота и количество дней кормления, в каком виде отображать процентную структуру рациона (по сухому веществу либо по обменной энергии) и результаты расчета, в кг (сухого вещества корма либо натуральной массы).

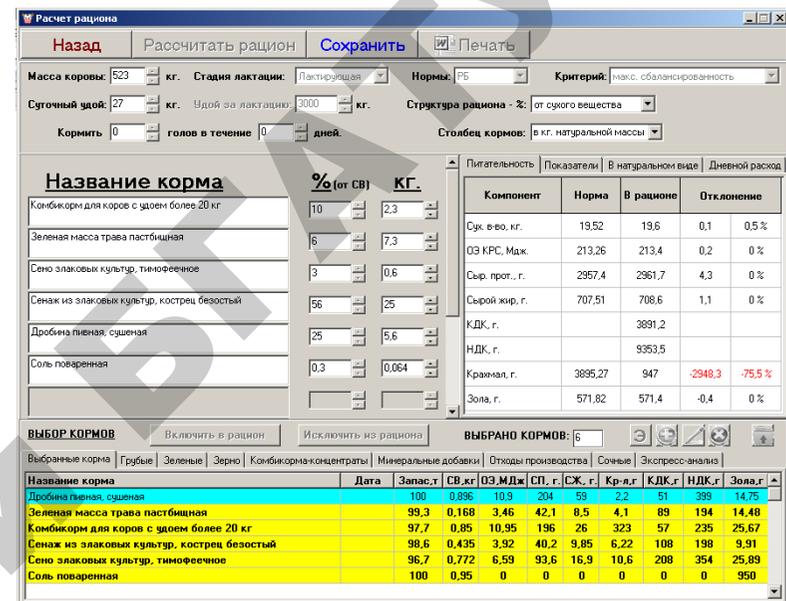


Рис. 5.5. Окно расчета рациона

## 2. Фрейм выбора кормов (в нижней части).

Фрейм содержит таблицу имеющихся в хозяйстве кормов, структурированную в виде вкладок по принадлежности к соответствующей группе (зеленые, грубые, сочные и т. д.). Кнопки «Включить в рацион» и «Исключить из рациона» позволяют выбрать из всего списка кормов необходимые и включить их в рацион, сформировав, таким образом, набор кормов для данного рациона.

Кнопки  позволяют добавить в базу данных кормов новый корм, в том числе корм, данные о питательности которого получены путем экспресс-анализа, изменить характеристики питательности уже имеющегося в базе данных корма, удалить неиспользуемый более корм из базы данных кормов.

## 3. Фрейм структуры рациона.

Данный фрейм отображает структуру рассчитываемого рациона, а именно, все включенные в рацион корма, для каждого из которых в столбце «кг» показано значение массы данного корма в суточном рационе (может отображаться (в кг) массы натурального корма либо массы сухого вещества корма), а в столбце «%» – процентное

содержание данного корма в рационе, рассчитываемое от сухого суммарного вещества либо от суммарной обменной энергии рациона. Перед расчетом рациона в двух данных столбцах пользователем могут быть заданы начальные ограничения на структуру рациона, входящие в (5.3) как величины соответственно, как  $X_{\max i}$  и  $P_{i\text{СВ}}, P_{i\text{ОЭ}}$ .

4. Фрейм отображения результатов расчета рациона.

На вкладке *Питательность* в столбце «Норма» отображается суточная норма потребления питательных компонентов, в столбце «В рационе» – содержание питательных компонентов в рассчитанном суточном рационе, в столбцах «Отклонение» – отклонение питательности рациона от нормы в абсолютных единицах измерения и в относительных (в %). На вкладках *Показатели* и *В натуральном виде* отображаются прочие, представляющие практический интерес, показатели питательности полученного рациона, а на вкладке *Дневной расход* – дневной расход каждого из входящих в рацион кормов в расчете на заданное число голов скота.

При нажатии на кнопку «Рассчитать рацион» программа выполняет расчет оптимального рациона в соответствии с описанным выше подходом и отображает результат расчета. Если полученный при решении оптимизационной задачи рацион не в полной мере удовлетворяет пользователя (специалиста-зоотехника), он далее может уточнить рацион, устанавливая вручную нужное значение массы каждого из кормов.

При нажатии на кнопку «Сохранить» выполняется функция сохранения рассчитанного рациона в базу данных рационов.

Таким образом, компьютеризация расчетов рациона позволяет обеспечить сбалансированное кормление коров и повысить конкурентоспособность производства молока. Следующей задачей является обеспечение раздачи кормов животным в соответствии с расчетами.

#### **5.4. Компьютеризированный мобильный кормосмеситель-раздатчик (кормоцех на колесах)**

Наряду со стационарными системами раздачи кормов в сельскохозяйственном производстве используются и мобильные

кормораздатчики [14]. Причем использование достижений микропроцессорной техники позволяет осуществлять весовое дозирование по задаваемым рецептам и программируемое кормление. Смесители кормов в том виде, в каком они в настоящее время предлагаются на мировом рынке, являются многофункциональными машинами. Погрузка, взвешивание, смешивание, измельчение, транспортировка и разгрузка корма – таковы рабочие процессы, которые могут быть реализованы современными кормораздатчиками вне зависимости от того, в прицепном или самоходном варианте они изготовлены. С технологической точки зрения они являются ключевыми машинами для достижения преимуществ современной системы кормления на базе *полнорационных кормосмесей* (ПКС) с точки зрения как производственно-экономической, так и физиологии животных. Сам процесс кормления с использованием мобильного кормосмесителя протекает следующим образом. Вначале машина загружается компонентами корма в заданных весовых пропорциях. Требуемое количество силоса выбирается из силосного массива экскаватором или фрезерной машиной и подается погрузчиком в бункер кормосмесителя. В альтернативном случае погрузка может осуществляться при помощи имеющихся на многих типах собственных фрезерных погрузчиков. Трактор подает тележку задним бортом к силосному бурту; от которого фрезой при малой подаче орудия вниз срезается слой силоса и подается в тележку. Солома, в простейшем случае, подается в рассыпном виде, но лучше, конечно, если тюк соломы захватывается с помощью фронтального погрузчика, разрезается и подается в кузов смесителя-раздатчика. При отсутствии подходящего грейфера тюки или рулоны соломы подаются с помощью крана в смеситель и лишь там разрезаются, что, однако, связано с повышенной опасностью травмирования работника. Другие компоненты корма (в зависимости от их требуемого количества) подаются в кормосмеситель с помощью фронтального погрузчика или вручную. Все современные кормосмесители-раздатчики оснащены прецизионными весами, позволяющими точно дозировать компоненты корма в соответствии с предписаниями рациона. Еще в процессе погрузки начинается перемешивание, для чего машина оснащена различными типами орудий. Это могут быть один или два горизонтально установленных шнековых смесителя или вертикальные конусообразные смесители,

также имеющие спиралеобразную поверхность. В зависимости от марки и модели, эти агрегаты изготавливаются в различном исполнении и оснащены измельчающими ножами (лезвиями), что оказывает существенное влияние на качество работы. В частности, травяной силос в ходе этого рабочего процесса подвергается дополнительному измельчению. Проблему вызывает иногда измельчение тюков после развязки: не каждый кормосмеситель в равной степени хорошо может обеспечить проведение этой операции. После загрузки кормосмеситель транспортирует корм в животноводческое помещение. Кормосмесь подается далее на кормовой стол, или же в отдельных помещениях, оснащенных старым оборудованием, корм перегружается в дозирующие устройства стационарной системы транспортеров. Для этого кормораздатчик-смесители оборудованы выгрузным люком. Установленный на дне кузова скребковый или ленточный транспортер подает корм в сторону люка. Подвижной выгрузной транспортер позволяет выдавать корм непосредственно в кормушки или на кормовой стол на левую или правую сторону.

Рынок кормосмесительных машин Европы относительно широк: более 400 различных типов почти 30 фирм-изготовителей с ежегодным сбытом более 10 тыс. машин. Практически все средневропейские страны имеют в настоящее время собственное производство, при этом особо сильные позиции на рынке занимают Нидерланды, Италия и Франция. К числу наиболее известных фирм относятся: DeLaval, Faresin, Keenan, Kuhn, Kverneland, Bernard van Lengerich, Luclar, Marmix, Peecon, R. M. H., Seko, Sgariboldi, Storti, Stautmann и Trioliet. Эти фирмы действуют в основном на рынке Центральной Европы, однако многие из них уже имеют сбытовые структуры, сервисные центры и производственные предприятия в СНГ, например, Kverneland, Kuhn и DeLaval. К производству кормосмесительной техники приступили уже и первые предприятия в странах СНГ, например, фирма «Запэнергомаш» из Беларуси. Чтобы разобраться в таком количестве различных технических решений и ценовых предложений, заинтересованному инвестору необходимо определить свои требования к приобретаемому кормосмесителю, исходя из условий конкретного предприятия.

*Габариты машины* должны быть определены с учетом размеров производственных помещений на предприятии. Это относится,

прежде всего, к ширине проезда и ширине раскладки корма, которая должна сопоставляться с размерами кормового стола в помещении для животных. Кроме того, высота агрегатов кормосмесителя должна ориентироваться на минимальную высоту проезда помещения (измерять в наиболее низком месте). Для многих старых типовых построек с крышей стропильной конструкции уже из-за небольшой высоты проезда единственным вариантом являются низкогабаритные горизонтальные смесители. От таких компромиссных решений, как уменьшение габаритной высоты машины за счет применения шин особо малого диаметра, следует (исходя из условий СНГ) отказаться. Во-первых, этим значительно уменьшается дорожный просвет машины. Во-вторых, применяемые при этом шины экзотических размеров, как правило, значительно дороже стандартных, и им зачастую трудно найти замену.

*Вместимость:* вначале необходимо рассчитать требуемый объем кормов для кормления имеющегося стада. Исходя из того, что одной корове в день требуется минимально 18–22 кг сухой субстанции (СС) и в одном кубометре ПКС содержится 120–150 кг СС, то 1 м<sup>3</sup> ПКС можно накормить 7–9 коров. На практике это означает, что, имея в наличии стадо в 100 усл. гол. КРС, необходимо рассчитывать на примерный потребный объем кормосмеси в 12 м<sup>3</sup>. Кроме того, необходимо иметь в виду то, что смеситель нельзя наполнять полностью и поэтому номинальный объем должен быть несколько больше требуемого расчетного объема. У горизонтальных кормосмесителей общий объем бункера соответствует 110–130 % потребного нетто-объема, у вертикальных – 105–110 %. Таким образом, для стада из 100 коров при одноразовом кормлении следует рекомендовать кормосмеситель емкостью бункера 13–16 м<sup>3</sup>. Расчет емкости бункера для стада другой численности производится аналогично. Потребный объем кузова можно значительно снизить за счет нескольких рабочих проходов и дополнительного повышения коэффициента использования машины.

Машина должна смешивать компоненты корма *до достижения максимально возможной степени однородности смеси*, не допуская при этом превращения ее в кашу. Различия между отдельными кормосмесителями в отношении этого критерия, согласно обширному тесту, проведенному немецким аграрным журналом, относительно низки.

Машины с собственным погрузчиком или использование отдельного погрузчика? Ответ на этот вопрос зависит от того, имеется ли на предприятии соответствующий по производительности погрузчик. В случае положительного ответа можно приобрести более дешевый кормосмеситель без устройства для загрузки корма. Применение смесителя с фрезерным погрузчиком оправдано, прежде всего, тогда, когда силосные бурты расположены далеко друг от друга и холостой прогон еще одной машины нецелесообразен. Естественно, что машины этого типа не только дороже на 750–1250 дол. США в расчете на кубометр емкости, чем аналоги без фрезы, но и требуют на 25–30 л. с. большей мощности тракторного двигателя. Кроме того, для рациональной эксплуатации таких машин высота заложения корма в бурты должна быть не менее 2 м, в противном случае наполнение тележки длится слишком долго. Хорошие фрезы достигают на травяном силосе длиной сечки производительности около 500 кг/мин, а на хорошо измельченной траве – около 600 кг/мин. При загрузке кукурузного силоса фрезы должны иметь не менее чем двойную производительность, т. е. от 800 до 1000 кг/мин.

Учитывая то обстоятельство, что кормоуборочная техника на многих предприятиях далеко не нова, в условиях СНГ следует приобретать такой кормосмеситель, который обеспечивал бы хорошее *измельчение корма*. Для переработки длинностебельного травяного силоса лучше применять горизонтальный смеситель. Если на предприятии кормовая солома прессуется, то необходимо обращать внимание на то, чтобы кормосмеситель успешно справлялся с переработкой тюков/рулонов применяемого размера. Вертикальный смеситель измельчает тюки, как правило, лучше, чем горизонтальный.

*Потребная мощность и агрегатирование.* Перед покупкой кормосмесителя необходимо убедиться в наличии подходящей тяговой машины и возможности агрегатирования с ней данного кормосмесителя. Последнее в большинстве случаев технически не представляет особой проблемы, пристальное внимание, однако, следует обратить на потребную мощность. Различия между смесителями огромны. Наиболее экономичны конструкции лопастных смесителей, для привода которых достаточно уже 3–4 кВт на 1 м<sup>3</sup> бункера. У смесителей других конструкций потребляемая мощность составляет от 4 до 10 кВт/м<sup>3</sup>.

Одним из важнейших критериев выбора является *износостойкость машины*, поскольку предложение запасных частей налажено еще не так хорошо, как в Западной Европе. С этой точки зрения поставщики техники должны суметь убедить покупателя в том, что детали, подверженные значительным механическим воздействиям (днище, защитные доски, ножи), либо изготовлены из исключительно износостойкого материала особой толщины, либо легко заменяемы. Особое решение этих вопросов предлагает фирма Kverneland: для защиты изнашиваемых поверхностей бункера их покрывают сменяемыми покрытиями из синтетических материалов. С точки зрения обеспечения запчастями, предпочтительнее приобретать технику у поставщиков, представленных в странах СНГ уже в течение многих лет.

*Весы и управление.* Интегрированные весы на кормосмесителях сегодня уже стандарт. Дисплей должен быть достаточно большим, освещенным и поворотным, позволяющим считывать данные днем и ночью из кабины трактора. Значительные преимущества в сравнении с обычными весами имеют программируемые весы, которые можно включить в систему компьютерного управления кормлением и с их помощью обеспечить точное предварительное задание количества корма, контроль и анализ работы по кормлению со стороны руководителя предприятия. Внедрение такой системы особенно быстро оправдывает себя при часто меняющихся рационах, а также, если агрегат обслуживается несколькими работниками. Управление рабочим процессом кормосмесителя должно, по возможности, осуществляться из кабины трактора, что позволяют все современные их типы. При электрической системе управления важно, чтобы в аварийных ситуациях было возможно и чисто механическое управление машиной (аварийная система управления)!

*Затраты на обслуживание и уход.* В зависимости от типа и размеров машины нормальными принято считать затраты в 30–50 мин рабочего времени на 100 ч эксплуатации. Стоит обратить внимание на отличия, так как уже само расположение масленки или тип подшипников валов может существенно повлиять на затраты на техобслуживание. Вне зависимости от того, какой кормосмеситель в конце концов будет приобретен, он должен иметь *стабильное шасси достаточных размеров*. Вопрос о том, должен ли кормосмеситель быть пригодным для движения по общественным дорогам

(пневматические тормоза, освещение, защитные крыла), следует решать исходя из условий крупных закрытых комплексов для КРС. Во многих случаях можно сэкономить от 1500 до 2500 долл. США, если отказаться от специального оборудования, которое не нужно при исключительно внутривладельческом использовании техники.

*Самоходные машины.* Они используются, прежде всего, крупными аграрными фирмами и предприятиями агросервиса, обслуживающими большое количество удаленных животноводческих помещений. Такие машины настолько дороги, что даже в условиях Западной Европы (техника относительно дешева, а труд – дорог) оправдывают себя лишь при поголовье стада свыше 150–200 усл. гол. КРС. В условиях СНГ эта цифра будет еще значительно выше. При необходимости обслуживания двух удаленных друг от друга предприятий экономически более выгодна покупка еще одного прицепного кормосмесителя, приведение в рабочее состояние имеющегося МТЗ-80 и прием дополнительного работника, чем приобретение самоходного агрегата, который слишком дорог стоит. Ценовая шкала у прицепных кормосмесителей начинается с 1200 дол. США на 1 м<sup>3</sup> брутто-объема кузова и достигает у малообъемных (высокая стоимость основной машины) и особо хорошо оснащенных вариантов 3000 дол. США.

### 5.5. Роботизация процесса доения коров

Одна из экспозиций выставки EuroTier'98 была особенно оригинальна: в отдельном павильоне-коровнике работала молочная ферма. На всеобщее обозрение был выставлен весь процесс обслуживания 30 высокопродуктивных коров: доение, кормление, производство молока. Вся необычайность демонстрируемого заключалась в «безлюдности» технологического процесса: не было ни доярок, ни скотников. Коровы находились, как бы «на самообслуживании», точнее, обслуживались роботом – специальным доильным боксом-автоматом, который свободно посещали лактирующие животные [4]. В рамках EuroTier'98 состоялся «круглый стол» о перспективах роботизации получения молока.

В последнее десятилетие развитие молочного скотоводства в ряде стран ЕС характеризуется появлением частных ферм

с комплексной (полной) автоматизацией процессов кормления и доения высокопродуктивных коров. Технической базой такой технологии получения молока служат адаптивные манипуляторы (роботы), обладающие расширенными функциональными связями с обслуживаемыми животными. Роботизированные системы выполняют на молочных фермах все технологические приемы и операции по подкормке и доению коров, в том числе и постановку доильных стаканов на соски вымени без участия и даже присутствия оператора. Они включают программно-управляемые исполнительные механизмы (пнеumo-, гидро-, электроприводы), измерительные датчики-сенсоры, блоки памяти и записи программ, встроенные вычислительные и логические устройства, работающие как единое целое.

Микропроцессоры и ЭВМ составляют основу устройств контроля и управления роботизации доения коров.

Ключевой проблемой, решение которой обуславливает принципиальную возможность функционирования роботов, была автоматизация операции подключения аппарата на вымя коровы. Для автоматического «отыскания» сосков вымени и постановки доильных стаканов разработчики использовали различные методы и средства: сенсорные элементы, прецизионные датчики, лазерную технику, фотореле, ультразвук. Здесь эффективно реализуются возможности ЭВМ – информация о положении вымени каждой коровы заносится в память компьютера и периодически корректируется. В качестве автоматических устройств подключения доильных стаканов применяются программно-управляемые манипуляторы, как правило, это «механические руки» разных конструкций.

На протяжении целого ряда лет фирмы-разработчики и научно-исследовательские центры вели активную работу по совершенствованию экспериментальных роботизированных систем, эксплуатируемых в производственных условиях высокопродуктивных ферм. Их усилия были направлены на повышение качества работы, эксплуатационной надежности и безопасности роботов, организацию сервисного обслуживания (отличающегося специфичностью), улучшение программного обеспечения, миниатюризацию средств автоматизации, доводку конструктивной «внешности» отдельных узлов и элементов. Задача разработчиков заключалась в достижении оптимального компромисса между снижением стоимости (первоначально

чрезвычайно высокой) и обеспечением необходимой и достаточной точности функционирования роботизированных комплексов на практике.

Начиная с 1998 г. в европейском агробизнесе сформировался сегмент рынка роботов для получения молока, поставляемых конкурирующими фирмами, что можно рассматривать как новый этап развития высоких роботизированных технологий в молочном скотоводстве.

Лидерами сложившегося рынка по праву считаются две нидерландские компании: Lely Melksysteme GmbH и Prolion Sales B. V., которые уже поставили владельцам высокопродуктивных стад в общей сложности около 2500 комплектов роботизированных систем. Популярен однокорпусный робот Lely Astronaut для коровников с беспривязным содержанием скота: диапазон поголовья животных, обслуживаемых в производственных условиях этим роботом, весьма широк: от мини-фермы на 32 коровы с одним боксом-автоматом в Бельгии до крупного автоматизированного предприятия на севере Нидерландов, где 9 роботизированных единиц обеспечивают получение высококачественного молока от 540 коров. Lely Astronaut – обладатель золотой медали EuroTier. Именно он демонстрировался в действии в упомянутом коровнике-павильоне.

Фирма Prolion поставляет на рынок две роботизированные системы: бокс-автомат Freedom, рекомендуемый для малых (до 60 коров) стад, и высокопроизводительный робот ASM Liberty модульного типа, используемый на специализированных площадках – подсобных доильных залах. Модульный принцип наращивания мощности системы до четырех доильных боксов позволяет обслуживать стадо в 150 коров и осуществлять расширение фермы по мере наличия инвестиций.

Если ранее появление робота на ферме воспринималось как «голландское чудо», то теперь комплексно автоматизированные технологии производства молока реализованы в больших или меньших масштабах в хозяйствах всех традиционно «молочных» стран северо-запада Европы – Великобритании, Германии, Бенилюкса, Скандинавии, где работают роботы не только производства Нидерландов.

В практику конкретных ферм это удалось воплотить благодаря достижениям в области роботизации доения таких известных

компаний, как Fullwood (Великобритания), Westfalia Landtechnik (Германия), Alfa Laval Agri (Швеция) и других фирм, потеснивших на рынке нидерландских производителей роботов.

Эффективность применения автоматических систем в коровниках, как показывает накопленный опыт, заключается не только в традиционных экономических преимуществах автоматизации индустриального производства (например, исключение затрат ручного труда или эффект от повышения интенсивности эксплуатации дорогостоящего оборудования по 2–3 смены в сутки), а в достижении так называемого «технологического эффекта», то есть в создании более благоприятных, физиологически естественных условий для лактирования коров. Практически это выражается в увеличении частоты доек и максимальной реализации генетического потенциала продуктивности животных.

Многочисленными наблюдениями установлено, что каждое животное, имея свободный доступ к боксу-автомату, в соответствии со своей естественной потребностью, добровольно, без какого-либо принудительного воздействия посещает систему и выдаивается чаще 2 раз в день. В среднем дойка коровы происходит 4 раза в сутки (по отдельным данным, в зависимости от периода лактации животного, даже 5, 6 раз, впрочем, эти сведения не всегда обладали статистической достоверностью и носили скорее рекламный характер). Такая частота доений влечет дополнительное увеличение продуктивности животных в первой трети лактации до 16 % и во время всего периода – на 9–12 %.

По заключениям специалистов различных специальностей (зоотехников, физиологов лактации, ветеринаров) и животноводов-практиков, увеличение числа доек с единовременной подкормкой концентратами улучшает физиологическое состояние дойных коров, повышает усвояемость корма, стимулирует молокообразование, способствует здоровому развитию вымени, экономит затраты на лечение и ветеринарное обслуживание скота, а эффект «добровольного самообслуживания» коров позволяет исключать стрессы у животных, имеющие место при поточно-групповом обслуживании скота на фермах промышленного типа. Обеспечение индивидуального «подхода» и благоприятное воздействие полной автоматизации кормления и доения на продуктивность и здоровье коров делает вполне реальным увеличение продолжительности хозяйственного

использования лактирующих особей с 3, 4 (как это в основном имеет место у нас сейчас) до 6 и более лактаций. Значение подобной перспективы для высокопродуктивных коров трудно переоценить. Однако, наряду с отмеченными преимуществами полной автоматизации производства молока, успешная эксплуатация роботов в коровниках выдвигает определенные требования. Так, фактором, жестко обуславливающим эффективность использования роботов, является молочная продуктивность коров. Каждое автоматически выдаиваемое животное должно давать не менее 6000 кг молока за лактацию. При меньшей продуктивности обслуживаемых коров применение данного дорогостоящего оборудования экономически не целесообразно.

Другим практическим аспектом успешного использования роботов стала молочная железа коровы как объект воздействия средств автоматики. Подходящая форма вымени и нужное расположение сосков – неперемное условие автоматического доения. Практика показывает, что обычно в стаде имеется минимум 10 % коров, непригодных для автоматического обслуживания. Требуется подбирать высокопродуктивных животных с хорошо развитым, плотно прикрепленным к телу выменем и одинаковыми по размеру сосками, нижняя точка которых должна быть не ближе 35 см к уровню пола. В противном случае автоматический поиск сосков и одевание на них доильных стаканов становятся затруднительным и требуют участия оператора.

Важными технологическими операциями остаются санитарная обработка вымени и очистка сосков в сочетании с преддоильным массажем молочной железы. Следует признать, что несмотря на имеющийся мировой опыт автоматизации мойки и стимулирующего массажа вымени на современных доильных установках подобная операция, выполняемая роботом, еще не полностью удовлетворяет требованиям производства (пока не существует сенсоров, определяющих степень загрязненности вымени). Решающее значение в повышении эффективности проведения этого приема имеют надлежащие санитарно-гигиенические условия содержания коров, влияющие на загрязненность вымени и, в конечном счете, на качество получаемого молока.

Особое значение для нормального функционирования роботизированных систем имеет поведение коров относительно доильных

боксов-автоматов. Животные должны посещать их сами, добровольно, без принуждения. На практике это имеет место не со всеми лактирующими особями (для некоторых требуется помощь при заходе в бокс, особенно на стадии приучения). Однако технология автоматического доения строго стереотипна, осуществляется всегда одинаково, и животные привыкают к ней относительно быстро. Коровы-первотелки, не имеющие навыка традиционного доения, приспособляются к системе быстрее.

Эксплуатация роботизированных комплексов, как и любых средств автоматизации, подразумевает их стационарное использование в коровнике при круглогодичном (беспривязном) содержании скота в помещении. Вместе с тем в странах Северо-Западной Европы традиционно распространена выгульная стойлово-пастбищная система содержания дойного поголовья с выпасом коров на прифермских культурных лугах и пастбищах. Здесь прослеживаются некоторые противоречия и предстоит дополнительные усилия исследователей и разработчиков по оптимизации форм автоматического доения на фермах в сочетании с ограниченным использованием пастбищ.

Накопленный хозяйственный опыт применения данных автоматических систем указывает также на значительное возрастание затрат на техническое обслуживание, диагностику и регламентные работы по обеспечению должной надежности функционирования этих систем в производственных условиях ферм. Поэтому сейчас (наряду с поставкой комплектующих, шеф-монтажом, пусконаладочными работами, обучением местного персонала) фирмы-производители осуществляют авторский надзор за эксплуатацией роботов и проводят их полное техническое обслуживание непосредственно в хозяйствах. Параллельно, на основе всестороннего изучения особенностей хозяйственного использования систем автоматизации получения молока, продолжается дальнейшее совершенствование оборудования.

Все перечисленные эксплуатационные требования (с выполнением которых для эффективного использования роботов на наших фермах могут возникать трудности) не превращаются в непреодолимую проблему на высокопродуктивных фермах в странах ЕС при освоении комплексно-автоматизированных технологий производства молока. И если с появлением в коровниках первых

экспериментальных роботов каждый из них был под наблюдением и велся учет их числа, то сейчас это делать становится все сложнее в силу быстро возрастающего числа роботизированных комплексов различных конструкций. Причем следует отметить, что среди животноводов-практиков постоянно растет количество сторонников использования роботов на своих фермах.

Что касается молочного скотоводства Беларуси, то и здесь процесс широкого внедрения полной автоматизации процессов получения молока на базе использования робототехнических систем имеет большее число сторонников. Несмотря на существующие в настоящее время серьезные трудности развития этой отрасли животноводства на отдельных фермах ряда хозяйств республики имеются технологические предпосылки для применения описанных средств автоматизации. Это, прежде всего, молочные спецхозы: племенные совхозы, госплемзаводы и племенные фермы (племядра, элитные поголовья и т. п.) экономически сильных колхозов. Такие хозяйства располагают большим опытом разведения высокопродуктивного чистопородного скота, имеют практику беспривязного содержания дойного стада и использования современных АСУ ТП получения молока, в том числе систем импортного производства (рис. 5.6).

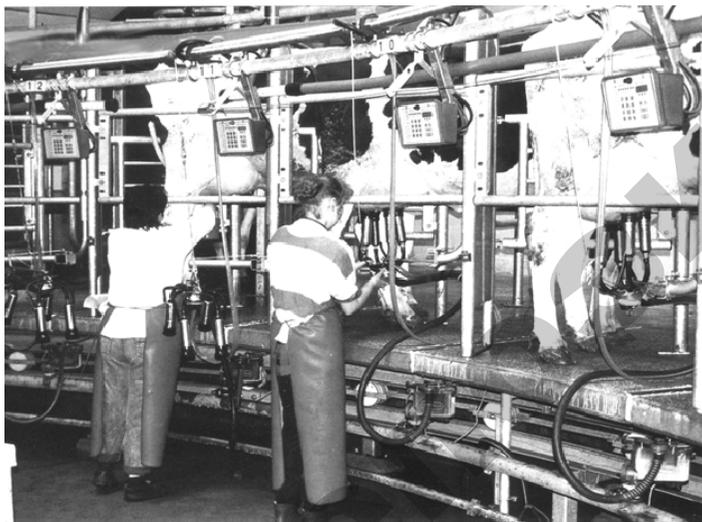


Рис. 5.6. АСУ ТП на молочной ферме

На фермах таких хозяйств традиционно поддерживается высокая технологическая дисциплина. Другими словами, есть необходимая «стартовая площадка» для практической реализации принципиально новых роботизированных технологий, базирующихся на принципе «добровольного самообслуживания» коров со свободным выбором ими наиболее приемлемого для себя ритма кормления и доения.

В Республике Беларусь пионером в использовании голландских роботов в доении стал СПК «Соколовщина» Витебской области. В 2009 г. голландские доильные комплексы-роботы установлены в СПК «Коммунар-агро» Новогрудского района.

Новое оборудование позволяет полностью избежать потерь молока. Так, специальные датчики еще в процессе дойки анализируют его качество на наличие антибиотиков, крови, маститных примесей и автоматически отстраняют недоброкачественное молоко. Таким образом, в холодильники поступает только молоко сорта «экстра». Затраты на создание фермы, включая приобретение оборудования и реконструкцию здания, составили Br 2 млрд. Вложенные инвестиции (собственные средства и кредитные ресурсы) окупятся кооперативу за 3,2 г. Всего в СПК три молочно-товарные фермы, 826 коров. В ООО «Биоком Технологии» создано первое в Беларуси производство роботизированных доильных установок «Астронавт» [13].

### Список литературы к главе 5

1. Интенсификация и информатизация молочной отрасли в хозяйствах Республики Беларусь : рекомендации. – Минск, БелНИИ ЭИ АПК, 1997. – 77 с.
2. Нормы кормления крупного рогатого скота : справочник / Н.А. Попков [и др.]. – Жодино : РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», 2011. – 260 с.
3. Программа балансирования рационов на основе экспресс-оценки энергетической питательности кормов для молочного скота : свидетельство о регистрации компьютерной программы № 644 Республики Беларусь / Е.В. Галушко, А.Г. Сеньков, К.М. Шестаков, Н.Ф. Бондарь, А.И. Саханчук; УО «Белорусский государственный аграрный технический университет». – №С20140008; заявл. 06022014; дата регистрации 07.03.2014 // Реестр зарегистрир. комп. программ ; дата внесения записи: 07.03.2014.

4. Палкин, Г.Г. Роботы на молочных фермах / Г.Г. Палкин // Сельскохоз. вестник. – 2001. – № 8. – С. 13–17.

5. Палкин, Г.Г. Автоматизированная система доения коров / Г.Г. Палкин // Молочное и мясное скотоводство. – 1998. – № 2. – С. 10–12.

6. Палкин, Г.Г. Первичное информационное обеспечение животноводства при автоматизации ферм / Г.Г. Палкин // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 1997. – № 4. – С. 45–48.

7. Сеньков, А.Г. Решение задачи расчета сбалансированного рациона кормления КРС методом линейного программирования / А.Г. Сеньков // Вестник ВНИИМЖ РФ. – 2013. – № 3 (11). – С. 144–147.

8. Трофимов, А.Ф. Влияние способов выращивания ремонтных телок на их рост, развитие и последующую продуктивность / А.Ф. Трофимов [и др.] // Известия академии аграрных наук Беларуси. – 1996. – № 3. – С. 72–76.

9. Фредирексен, Л. Расчет зимнего корма для молочного скота / Л. Фредирексен. – М. : Новый агроном, 1927. – 206 с.

10. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Горнли ; пер. с англ. – М. : Агрпромпиздат, 1987. – 400 с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Компьютеризация представляет собой принципиально новую технологию построения систем управления технологическими и производственными процессами. Адаптивность, значительная вычислительная мощность и высокая надежность с возможностью построения распределенных систем управления полностью соответствуют требованиям биотехнических объектов сельскохозяйственного производства.

2. Общесистемной базой построения компьютерных систем управления являются программируемые контроллеры общепромышленного применения. Высокий уровень унификации аппаратных средств систем управления приводит к основополагающей роли разработки прикладного программного обеспечения. Программное обеспечение является интеллектуальной составляющей компьютерной системы управления, аккумулирующей знания о технологии и оборудовании.

3. Повышение конкурентоспособности крупномасштабного сельскохозяйственного производства Республики Беларусь предполагает массовое внедрение компьютерных технологий управления как при модернизации действующих, так и при строительстве новых предприятий. Однако в настоящее время можно констатировать преобладание импортного компьютеризированного оборудования, что выдвигает проблему «интеллектуальной» зависимости от развитых стран.

4. Многочисленные примеры разработки и внедрения современного компьютеризированного оборудования в свиноводстве, молочном скотоводстве и других отраслях сельскохозяйственного производства показывают их высокую эффективность и востребованность. Яркими примерами являются роботизированные линии по откорму свиней и роботы для доения коров.

5. В качестве основного источника эффективности компьютеризации следует рассматривать так называемый «технологический» эффект, заключающийся в повышении продуктивности, уменьшении энергоемкости, предотвращении потерь ресурсов и т. д. При этом также достигается повышение производительности труда, улучшение условий и повышение престижности труда работников сельскохозяйственных предприятий.

6. Компьютеризация не означает «все или ничего». Концепция компьютеризированного производства предполагает последовательные этапы от создания локальных систем управления отдельными технологическими процессами, т. н. «островков автоматизации», к комплексным и интегрированным системам управления в масштабах участка, цеха, предприятия, кластера и т. д. При этом нужно понимать, что заложенный в программное обеспечение диагностический алгоритм может определить потери или утечки кормов, но чинить кормопровод или транспортер все равно необходимо.

7. В Республике Беларусь есть пока отдельные примеры собственной разработки и производства современного компьютеризированного оборудования. Так, в ООО «Биоком Технология» создано производство роботизированных доильных установок «Астронавт». Производство осуществляется на основе лицензионного соглашения с ведущим мировым производителем доильных роботов – компанией Lely Industries N. V. (Нидерланды). В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана роботизированная линия откорма свиней. Но такое оборудование должно стать отечественным и массовым. Компьютеризация позволяет достичь реального энергосбережения и повышения конкурентоспособности. Разработка программного обеспечения должна стать доминирующим направлением деятельности научно-исследовательских и проектных организаций. Это будет способствовать росту ВВП Беларуси и снижению его энергоемкости.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**Гируцкий Иван Иванович,  
Сеньков Андрей Григорьевич**

**КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫЕ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Ответственный за выпуск *М. А. Прищепов*  
Редактор *Т. В. Каркоцкая*  
Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*  
Дизайн и оформление обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 12.12.2014 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 12,32. Уч.-изд. л. 9,64. Тираж 100 экз. Заказ 369.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т. Независимости, 99–2, 220023, Минск.