

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**КАЗАХСКИЙ АГРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. С. СЕЙФУЛЛИНА**

**Шило И.Н., Толочко Н.К., Нукешев С.О.,  
Романюк Н.Н., Есхожин К.Д.**

**УМНАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
ТЕХНИКА**

Утверждено Ученым советом университета  
в качестве учебного пособия

**Астана 2018**

**УДК: 631.372 (0758)**

**ББК 40. 74я7**

**Ш 34**

Шило И.Н., Толочко Н.К., Нукешев С.О., Романюк Н.Н., Есхожин К.Д. Умная сельскохозяйственная техника: учебное пособие, – Астана, Издательство КазАТУ им. С.Сейфуллина, 2018. – 174 с.

**ISBN 978-985-519-805-6**

**Рецензенты:**

**Абулхайров Д.** – д.т.н., профессор, Вице-президент Казахстанской национальной академии естественных наук;

**Горбунов Б.Н.** – к.т.н., доцент кафедры «Техническая механика», Казахского агротехнического университета им. Сейфуллина.

В пособии рассмотрены современное состояние и перспективы развития интеллектуальной сельскохозяйственной техники, в том числе особенности ее применения в растениеводстве и животноводстве, а также вопросы интеллектуального технического обслуживания сельскохозяйственной техники.

Учебное пособие предназначено для студентов аграрных и технических вузов, аспирантов и преподавателей, интересующихся проблемами научно-технологического развития агропромышленного производства, а также научных, инженерных и производственных работников, специализирующихся в агропромышленной сфере.

**ISBN 978-985-519-805-6**

© Нукешев С.О., Есхожин К.Д., 2018  
© КАТУ им.С.Сейфуллина, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	4
<b>ЧАСТЬ 1. УМНАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА.</b>	5
<b>ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА</b> .....	
1.1 Тенденции развития сельскохозяйственной техники.....	5
1.2 Разновидности умных систем.....	10
1.3 Особенности применения умных систем в сельскохозяйственной технике.....	21
<b>ЧАСТЬ 2. УМНАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА</b> .....	30
2.1 Тракторы и машинотракторные агрегаты.....	30
2.2 Сельскохозяйственные машины.....	37
2.3 Транспортные машины.....	40
2.4 Техника точного земледелия.....	42
2.5 Сельскохозяйственная роботехника.....	83
2.6 Тепличное оборудование.....	99
<b>ЧАСТЬ 3. УМНАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА</b> .....	109
3.1 Оборудование молочных ферм.....	109
3.1.1 Интеллектуальные системы управления стадом.....	111
3.1.2 Роботы на молочных фермах.....	115
3.1.3 Интеллектуальные системы комплексного управления молочными фермами.....	131
3.2 Оборудование свиноферм.....	140
3.3 Оборудование птицеферм.....	141
<b>ЧАСТЬ 4. УМНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ</b> .....	150
4.1 Умные системы технического обслуживания.....	150
4.2 Техническое обслуживание сельскохозяйственных машин.....	156
4.3 Техническое обслуживание транспортных машин.....	161
4.4 Техническое обслуживание станочного и электроэнергетического оборудования.....	171
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	173

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из главных направлений научно-технического прогресса в производственной сфере является развитие умных (интеллектуальных) технологий. В них в роли технологических средств выступают умные (интеллектуальные) системы, характерная черта которых заключается в способности контролируемым образом реагировать на внешние и внутренние воздействия, настраивая определенным образом свои параметры в зависимости от особенностей проявления этих воздействий. Благодаря интеллектуализации производства обеспечивается повышение производительности труда при одновременном повышении качества и снижении себестоимости выпускаемой продукции.

Умные технологии получают все большее распространение в агропромышленном комплексе (АПК). Эффективность и условия их применения в значительной мере определяются спецификой производственных процессов в различных отраслях АПК. При этом наибольшее внимание уделяется развитию умной сельскохозяйственной техники, для успешного применения которой необходимо обеспечить подготовку соответствующих специалистов.

В настоящем пособии впервые предпринята попытка по возможности полно рассмотреть различные виды умной сельскохозяйственной техники, особенности ее устройства и применения в растениеводстве и животноводстве. Также в пособии рассмотрены вопросы умного технического обслуживания сельскохозяйственной техники.

Пособие предназначено для студентов аграрных и технических вузов. Оно может быть полезно аспирантам, докторантам и преподавателям, интересующимся научно-технологическим развитием агропромышленного производства, а также научным, инженерным и производственным работникам, специализирующимся в агропромышленной сфере.

При написании пособия авторами использовались многочисленные литературные источники (монографии, учебные пособия, научные статьи), список основных из них представлен в конце книги.

## **Часть 1 Умная сельскохозяйственная техника: общая характеристика**

### **1.1 Тенденции развития сельскохозяйственной техники**

Разработка и создание сельскохозяйственной техники осуществляются с учетом постоянно возрастающих требований к развитию сельскохозяйственного производства, направленному на повышение производительности, гибкости и безопасности при одновременном обеспечении оптимального управления производством, улучшении качества и снижении себестоимости выпускаемой продукции. Эти требования могут быть успешно выполнены при реализации форм развития сельскохозяйственного производства, связанных с все более полной заменой труда человека машинным трудом.

Традиционно основными формами такого развития сельскохозяйственного производства являются его механизация, автоматизация и компьютеризация. В последние 10-15 лет, наряду с ними, все большее распространение получает еще одна форма – интеллектуализация производства, которая сегодня становится стратегическим направлением научно-технического прогресса в сельском хозяйстве.

Автоматизацию производства принято рассматривать как высшую стадию его механизации, а компьютеризацию производства – как высшую стадию его автоматизации. Соответственно, интеллектуализацию производства следует рассматривать как высшую стадию его компьютеризации.

Все указанные формы развития сельскохозяйственного производства находятся в тесной взаимосвязи, дополняя друг друга. В свою очередь, все они сами находятся в состоянии постоянного развития, обновления, совершенствования. При этом развитие механизации производства создает предпосылки для развития его автоматизации, развитие механизации и автоматизации производства создает предпосылки для развития его компьютеризации и, наконец, развитие механизации, автоматизации и компьютеризации производства создает предпосылки для развития его интеллектуализации.

Механизация производства – это модернизация производства путем замены ручных средств труда (инструментов) машинами, обеспечивающими выполнение технологических операций; при этом ручной труд используется для управления машинами, их регулирования и наладки, а также на тех нетрудоемких технологических операциях, механизация которых экономически нецелесообразна.

Различают частичную и комплексную механизацию производства. При частичной механизации механизуются отдельные технологические операции или виды работ, как правило, наиболее трудоемкие, при

сохранении значительной доли ручного труда, особенно на погрузочно-разгрузочных работах. Более высокой степенью является комплексная механизация, при которой ручной труд заменяется машинным обычно на всех основных технологических операциях. Комплексная механизация осуществляется на основе рационального выбора машин, работающих во взаимно согласованных режимах, увязанных по производительности и обеспечивающих наилучшее выполнение заданных технологических операций. Ручной труд при комплексной механизации может сохраняться на отдельных нетрудоемких операциях, механизация которых не имеет существенного значения для облегчения труда или экономически нецелесообразна. За человеком остаются функции контроля и управления производственным процессом.

Автоматизация производства – это модернизация производства, при которой выполнение технологических операций обеспечивается с помощью средств автоматики без непосредственного участия человека; при этом управление машинами, их регулирование и наладка осуществляются автоматически.

Автоматизация (как и механизация) делится на частичную – автоматизированное выполнение отдельных технологических операций и комплексную – автоматизированное выполнение всех основных технологических операций, что в итоге приводит к созданию автоматизированных технологических линий, производственных цехов и предприятий.

Наиболее прогрессивные направления автоматизации производства связаны с применением технологического оборудования с программным управлением, роботизированных технологических комплексов и гибких производственных систем (гибких автоматизированных производств).

Технологическое оборудование с программным управлением представляет собой автомат (полуавтомат), подвижные органы которого совершают рабочие и вспомогательные движения автоматически по заранее установленной компьютерной управляющей программе.

Роботизированный технологический комплекс (РТК) представляет собой совокупность автоматически действующих технологических машин, в том числе реализующих всю технологию производства за исключением функций управления и контроля, осуществляемых человеком. Робот – это автоматический программно-управляемый манипулятор, выполняющий технологические операции со сложными пространственными перемещениями.

С развитием программно-управляемого технологического оборудования и РТК появились новые организационно-технические формы использования автоматизированного оборудования – гибкие производственные системы (ГПС), в которых на основе соответствующих технических средств и организационных решений обеспечивается

возможность оперативной переналадки на выпуск новой продукции в довольно широких пределах ее номенклатуры и характеристик.

Главной составляющей ГПС является высокопроизводительное технологическое оборудование с программным управлением, способное работать в автоматическом режиме без участия человека на протяжении длительного времени. Основным технологическим оборудованием для ГПС является гибкий производственный модуль, который представляет собой единицу технологического оборудования для производства продукции произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик с программным управлением, автономно функционирующую, автоматически осуществляющую все функции, связанные с их изготовлением, имеющую возможность встраивания в ГПС.

Компьютеризация производства – это модернизация производства, основанная на широком применении компьютерной техники, с помощью которой обеспечивается выполнение технологических процессов, а также организационно-экономическое управление производством.

С компьютеризацией производства тесно связана его информатизация – процесс активного формирования и крупномасштабного использования информационных ресурсов в производственной сфере на основе широкого распространения информационных технологий, представляющих собой совокупность методов сбора, хранения, обработки и передачи информации с помощью компьютерных и телекоммуникационных средств.

Информатизация технологических процессов осуществляется по следующим направлениям: 1) информатизация контроля и управления отдельными технологическими операциями путем оснащения технологического оборудования комплексом приборов и датчиков; 2) создание пакетов прикладных программ для специалистов для решения отдельных технологических задач; 3) разработка компьютерных технологий управления всем технологическим (производственным) процессом.

Интеллектуализация производства – это модернизация производства, при которой выполнение технологических процессов и организационно-экономическое управление производством основываются на широком применении интеллектуальных систем – иначе их называют умными системами (smart systems).

Указанные формы развития сельскохозяйственного производства находят свое отражение в конструктивных и функциональных особенностях создаваемой сельскохозяйственной техники.

Анализ тенденций развития сельскохозяйственной техники показывает, что до недавнего времени повышение ее эффективности обеспечивалось, как правило, за счет улучшения ее типовых рабочих характеристик.

Так, развитие тракторов осуществлялось в основном по пути увеличения мощности двигателей. Вначале тракторы использовались главным образом как тягачи, т.е. предназначались для осуществления тяговых функций. Поэтому у тракторов мощность двигателя рассчитывалась, исходя из обеспечения требуемой силы тяги на крюке при допустимом буксовании ведущих колес и скорости движения на низшей основной передаче без резерва для отбора мощности через механизмы привода активных рабочих органов сельскохозяйственных машин, агрегируемых с тракторами. Последующее совершенствование тракторов привело к расширению их функций и предъявляемых к ним эксплуатационных требований, в частности, к широкому агрегатированию с сельскохозяйственными машинами, имеющими активные рабочие органы, привод которых осуществляется от механизмов отбора мощности. В этой связи функции тракторов значительно расширились, а требования к их эксплуатационным свойствам, особенно технологического характера, повысились. Наряду с реализацией требуемой силы тяги на крюке потребовалось иметь эффективную мощность двигателя с запасом на обеспечение технологического процесса машинно-тракторного агрегата (МТА), включающую в свой состав не одну, а несколько рабочих машин, а также на улучшение эргономических свойств МТА (например, условий труда оператора и др.).

Основными частями конструкции трактора, которые подвергались совершенствованию, являлись двигатели, топливная аппаратура, системы фильтрации и впуска воздуха, гидрооборудование. Значительное внимание уделялось повышению эффективности тормозов, в частности, использованию дисковых тормозов с охлаждением в масле; внедрению бесступенчатых трансмиссий; расширению применения новых конструкционных материалов, том числе пластмасс.

Характерный пример совершенствования конструкции трактора – применение резиноармированных гусениц. Традиционно различают два типа движителей: колесный тип и гусеничный. Колесный ход является гораздо более распространенным. Он обеспечивает необходимую тягу, позволяет работать на большой рабочей и транспортной скорости, не повреждает дорожные покрытия, прост в эксплуатации, надежен в работе. Однако у него имеются два существенных недостатка: трудно обеспечить оптимальную площадь контакта колеса с поверхностью почвы, что приводит к повышенному на нее воздействию, и наличие буксования колес с вытекающими отсюда отрицательными экологическими последствиями. Обычный (металлический) гусеничный ход не имеет этих недостатков. Кроме того, давление на почву у него в 2-3 раза меньше, чем у колесного хода. Но вместе с тем он весьма металлоемок, рабочие скорости ограничены до 6-8 км/ч, менее надежен в эксплуатации, повреждает дорожное покрытие, при поворотах и разворотах сгребает

верхний почвенный слой, неэффективен на транспортных работах. Резиноармированные гусеницы вобрали все лучшее, что есть у колесного хода и обыкновенного гусеничного. У агрегатов на резиноармированном гусеничном ходу скорость доходит до 60 км/ч, гарантируется минимальное давление на почву, гусеницы не повреждают дороги, бесшумны в работе. В сочетании с независимым реверсивным электро- или гидроприводом левой и правой гусеницы достигается большой эффект по мобильности агрегата, маневренности, сокращению ширины поворотных полос, уменьшению времени на транспортные проезды.

Развитие сельскохозяйственных машин, также как и тракторов, осуществлялось в основном по пути увеличения мощности двигателей, а также увеличения ширины захвата или емкости бункеров. При совершенствовании зерноуборочных комбайнов повышенное внимание уделялось сокращению до минимума потерь и повреждений зерна; снижению отрицательного воздействия на почву путем уменьшения удельного давления колес машин на почву, внедрению привода на все колеса, применению гусениц. Совершенствование машин для кормопроизводства направлялось на повышение их производительности за счет увеличения энергонасыщенности, на создание специализированных машинных комплексов с оптимальными согласованными между собой параметрами, охватывающими всю технологическую цепочку от скашивания растительной массы до раздачи корма животным.

Однако все такого рода меры по повышению эффективности сельскохозяйственной техники оказались практически исчерпанными. В последние годы при создании сельскохозяйственной техники прослеживается устойчивая тенденция все более широкого применения электронных устройств контроля и управления, автоматизированных, компьютеризированных и, в конечном счете, интеллектуальных систем, обеспечивающих реализацию технологий точного сельского хозяйства на основе широкого использования информационных технологий, средств телекоммуникации, спутниковой навигации и др.

Оснащение сельскохозяйственной техники интеллектуальными системами фактически привело к созданию ее нового типа – интеллектуальной, или умной сельскохозяйственной техники. Интеллектуальные системы позволяют дистанционно контролировать географическое положение машин, отслеживать эксплуатационные параметры машин, режимы их работы, состояние обрабатываемой среды, синхронизировать работу комплексов машин, управлять качеством выполнения ими технологических операций. Наряду с применением интеллектуальных систем, при создании новой сельскохозяйственной техники постоянно совершенствуются кинематические, пневматические и гидравлические системы машин, комбинации рабочих органов, используются новые конструктивные решения. При этом благодаря интеллектуализации

сельскохозяйственной техники становится возможным не только существенно повысить эффективность ее работы за счет организации оптимального контроля и управления, но также обеспечить создание комфортных и безопасных условий труда, решение задач по охране окружающей среды.

## 1.2 Разновидности умных систем

**Интеллектуальные системы и интеллектуальные технологии.** Современное понятие интеллектуальных систем сформировалось в процессе развития теоретических основ кибернетики, теории управления, теории алгоритмов, современных информационных технологий и обобщения накопленных научных знаний в области искусственного интеллекта. До сих пор нет единого общепризнанного определения интеллектуальной системы (как, впрочем, и искусственного интеллекта). В начальный период развития искусственного интеллекта (в 1960-х гг.) под интеллектуальными системами понимали автоматические системы, способные решать задачи, традиционно относимые к сфере деятельности человека (распознавание визуальных и звуковых образов, игра в шахматы, доказательство теорем и т.д.). Затем к интеллектуальным системам стали относить системы, моделирующие на компьютере работу клеток мозга и мышления человека. Позже, в 1980-х гг. интеллектуальными системами стали считать компьютерные системы, способные вести осмысленный диалог с человеком и усиливать интеллектуальную деятельность человека в различных сферах. В настоящее время интеллектуальные системы отражают высокий уровень развития современных информационных технологий и представляют обширную область проведения теоретических исследований и практического (коммерческого) использования результатов этих исследований.

В общем случае системой называют совокупность взаимосвязанных элементов, предназначенную для достижения определенной цели. По виду этих элементов различают технические и программные системы. Первые представляют собой совокупность технических устройств, вторые – совокупность компьютерных программ. И те, и другие способны решать задачи различного уровня сложности, из которых наиболее сложными являются интеллектуальные (творческие) задачи. Соответственно, под интеллектуальными системами следует понимать технические или программные системы, способные решать интеллектуальные задачи в определенной предметной области.

Всякая система находится в постоянном взаимодействии с внешней средой, которая представляет собой совокупность некоторых объектов. Это взаимодействие проявляется в том, что изменение свойств объектов влияет на поведение системы и, с другой стороны, свойства объектов

изменяются в результате поведения системы. Характерной особенностью интеллектуальных систем является их способность реагировать на изменения, происходящие во внешней среде, настраивая определенным образом свои параметры в зависимости от состояния внешней среды.

Существуют различные виды интеллектуальных систем, которые характеризуются присущими им структурными и функциональными особенностями, сферами применения. Создание интеллектуальных систем в существенной мере связано с развитием информатики, что привело к распространению разнообразных интеллектуальных информационных систем. Особой разновидностью интеллектуальных систем, используемых в производственной сфере, являются адаптивные системы. Развитие робототехники привело к созданию интеллектуальных роботизированных систем. Широкому распространению интеллектуальных систем в разных областях производственной деятельности, включая аграрную индустрию, способствует использование беспроводных сенсорных систем, в частности, беспроводных сенсорных сетей и систем радиочастотной идентификации. Значительная роль в распространении интеллектуальных систем отводится средствам навигации, в первую очередь, спутниковым навигационным системам.

С понятием интеллектуальных систем тесно связано понятие интеллектуальных технологий.

В самом общем смысле под технологией понимается управляемая человеком совокупность процессов целенаправленного, с заданными требованиями изменения различных форм вещества, энергии и информации. При этом под процессом понимается совокупность последовательных действий для достижения определенного результата в какой-либо сфере человеческой деятельности. Поскольку любое действие осуществляется с помощью соответствующих средств, то под технологией следует понимать совокупность процессов целенаправленного изменения различных форм вещества, энергии и информации, а также средств осуществления этих процессов.

Технологии обычно рассматривают в связи с конкретной человеческой деятельностью. В соответствии с различными сферами этой деятельности существуют различные виды технологий. Так, в сфере образования используются образовательные технологии – управляемые совокупности процессов и средств преподавания и усвоения знаний; в сфере информатики – информационные технологии – управляемые совокупности процессов и средств поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации; и т.д.

В сфере производства используются, соответственно, производственные технологии – управляемые совокупности процессов и средств производства какой-либо продукции. Важнейшими компонентами производственной технологии являются: 1) технологический процесс – по-

следовательность направленных на создание определенной продукции действий (технологических операций), каждое из которых основано на каких-либо естественных процессах (физических, химических, биологических и др.) и 2) технологические средства – машины, приспособления и инструменты, служащие для выполнения отдельных технологических операций и технологического процесса в целом.

Особой разновидностью производственных технологий являются интеллектуальные производственные технологии. В них в роли технологических средств выступают интеллектуальные системы.

**Интеллектуальные информационные системы.** Информатика как научная дисциплина изучает структуру и общие свойства информации, а также закономерности ее создания, преобразования, передачи и использования в различных сферах человеческой деятельности.

Основные функции информационных систем: восприятие вводимых пользователем информационных запросов и необходимых исходных данных, обработка введенной и хранимой в системе информации в соответствии с известным алгоритмом и формирование требуемой выходной информации.

Для интеллектуальных информационных систем, ориентированных на генерацию алгоритмов решения задач, свойственны развитые коммуникативные способности, т.е. возможности взаимодействия (интерфейса) пользователя с системой, а также умение решать сложные плохо формализуемые задачи, т.е. такие задачи, которые требуют построения оригинального алгоритма решения в зависимости от конкретной ситуации, характеризующейся неопределенностью и динамичностью исходных данных и знаний.

К интеллектуальным информационным системам, получившим широкое применение, относятся экспертные системы, назначение которых заключается в решении трудных для экспертов задач на основе накапливаемой базы знаний, отражающей опыт работы экспертов в рассматриваемой проблемной области. Экспертные системы обеспечивают возможности принятия решений в ситуациях, когда алгоритм заранее не известен и формируется по исходным данным в виде цепочки рассуждений (правил принятия решений) из базы знаний, причем решение задач предполагается осуществлять в условиях неполноты, недостоверности, многозначности исходной информации и качественных оценок процессов.

В последние годы все более широкое использование находят интеллектуальные географические информационные системы (геоинформационные системы, ГИС). В общем случае ГИС – это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информацией о необходимых объектах. В техническом отношении ГИС представляет собой набор

компьютерного оборудования, географических данных и программного обеспечения для сбора, обработки, хранения, моделирования, анализа и отображения всех видов пространственно привязанной информации. Появление ГИС относят к началу 1960-х годов, когда возникли предпосылки для информатизации и компьютеризации сфер деятельности, связанных с моделированием географического пространства и решением пространственных задач.

Интеллектуальные ГИС чаще всего строятся на основе экспертных систем. Они позволяют распознавать сложные пространственно соотнесенные ситуации, прогнозировать отдельные события, оценивать их опасность или иные присущие им признаки и выдавать соответствующие рекомендации пользователям. Существуют также интеллектуальные ГИС, которые содержат в своем составе искусственные нейронные сети. Такие ГИС используются для ассоциативного запоминания информации, нелинейного прогнозирования и моделирования, обработки информации об объектах и процессах.

**Интеллектуальные адаптивные системы.** С помощью адаптивных (самоприспосабливающихся) систем можно существенно изменять характер управления автоматизированным производством, делать его в наивысшей степени автономным и адаптируемым в отличие от обычного управления посредством компьютерного комплекса, который обрабатывает информацию по заранее известным законам и алгоритмам. Адаптивные системы способны сохранять работоспособность в условиях непредвиденного изменения свойств управляемого объекта, цели управления или условий внешней среды посредством смены алгоритмов своего функционирования или поиска оптимальных состояний. По способам адаптации они разделяются на самонастраивающиеся, самообучающиеся и самоорганизующиеся системы.

В самонастраивающихся системах приспособление к случайно изменяющимся условиям обеспечивается автоматическим поиском оптимальной настройки или автоматическим изменением параметров настройки (в результате контролируемый показатель качества управления поддерживается в заданных пределах).

В любой другой автоматической системе управления, не являющейся самонастраивающейся, имеются параметры, которые влияют на устойчивость и качество процессов управления и могут быть изменены при настройке системы. Если же эти параметры остаются неизменными, а условия функционирования (характеристики управляемого объекта, возмущающие воздействия) существенно изменяются, то процесс управления может ухудшиться, стать неустойчивым. Ручная настройка системы не всегда удобна и, более того, не всегда возможна. Использование в таких случаях самонастраивающихся систем является как техни-

чески, так и экономически целесообразным и, кроме того, может оказаться единственным способом обеспечения надежного управления.

Управление производством на основе применения самонастраивающихся систем позволяет оптимизировать режимы функционирования управляемых объектов, облегчает задачу унификации систем управления, сокращает время на испытания и наладку, снижает технологические требования на изготовление устройств управления, освобождает обслуживающий персонал от трудоемких операций настройки.

В самообучающихся системах алгоритм функционирования вырабатывается и совершенствуется в процессе самообучения, который сводится к «пробам» и «ошибкам». При этом система выполняет пробные изменения алгоритма и одновременно контролирует результаты этих изменений. Если результаты оказываются благоприятными с точки зрения целей управления, то изменения продолжают в том же направлении до достижения наилучших результатов или же до начала ухудшения процесса управления.

В самоорганизующихся системах приспособление к изменяющимся условиям или оптимизация процессов управления достигается изменением структуры системы управления, в частности, включением или исключением отдельных подсистем, качественным изменением алгоритмов управления, связей между подсистемами и схемы их подчинения и т.д.

**Интеллектуальные роботизированные системы.** В последние годы интеллектуальные системы активно внедряются в робототехнику. В связи с этим принято различать три этапа в развитии роботов: 1) создание программных роботов (работают по жестко заданной программе действий); 2) создание адаптивных роботов (имеют возможность автоматически перепрограммироваться (адаптироваться) в зависимости от обстановки; изначально задаются лишь основы программы действий); 3) создание интеллектуальных роботов (задание вводится в общей форме, а сам робот принимает решения или планирует свои действия в распознаваемой им неопределенной или сложной обстановке).

Интеллектуальный робот – это робот, оснащенный интеллектуальной системой управления. Он обладает так называемой моделью внешнего мира, что позволяет ему действовать в условиях неопределенности информации. Если эта модель реализована в виде базы знаний, то целесообразно, чтобы база знаний была динамической. При этом коррекция правил вывода в условиях меняющейся внешней среды реализует механизмы самообучения и адаптации.

В состав интеллектуального робота входят следующие основные части:

– исполнительные органы – манипуляторы, ходовая часть и др. устройства, с помощью которых робот может воздействовать на окру-

жающие его предметы (по аналогии с живыми организмами это «руки» и «ноги» робота); все они представляют собой довольно сложные технические устройства, включающие сервоприводы, мехатронные части, датчики, системы управления;

- сенсоры – системы технического зрения, слуха, осязания, датчики расстояний, локаторы и др. устройства, которые позволяют получить информацию из окружающего мира;

- система управления – это «мозг» робота, который принимает информацию от сенсоров и управляет исполнительными органами; эта часть робота реализуется с помощью программных средств.

В состав системы управления интеллектуального робота входят следующие компоненты:

- модель мира – отражает состояние окружающего робот мира в терминах, удобных для хранения и обработки; она выполняет функцию запоминания состояния объектов в мире и их свойств;

- система распознавания – сюда входят системы распознавания изображений, распознавания речи и т.п.; задачей этой системы является идентификация, т.е. «узнавание» окружающих робот предметов, их положения в пространстве, в результате чего строится модель мира;

- система планирования действий – осуществляет «виртуальное» преобразование модели мира с целью получения какого-нибудь действия; в результате чего осуществляется построение планов, т.е. последовательностей элементарных действий;

- система выполнения действий – пытается выполнить запланированные действия, подавая команды на исполнительные устройства и контролируя при этом процесс выполнения; если выполнение элементарного действия оказывается невозможным, то весь процесс прерывается и выполняется новое (или частично новое) планирование;

- система управления целями – определяет иерархию, т.е. значимость и порядок достижения поставленных целей.

Важным свойством системы управления является способность к обучению и адаптации, т.е. способность генерировать последовательности действий для поставленной цели, а также подстраивать свое поведение под изменяющиеся условия окружающей среды для достижения поставленных целей.

Работа интеллектуального робота основывается на использовании систем искусственного интеллекта, методов нечеткой логики, искусственных нейронных сетей.

Искусственный интеллект – это свойство интеллектуальной системы выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека. При этом под интеллектуальной системой понимается техническая или программная система, способная решать задачи, традиционно считающиеся творческими, принадлежащие

конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы. Структура интеллектуальной системы включает три основных блока: базу знаний, решатель и интеллектуальный интерфейс, позволяющий вести общение с компьютером без специальных программ для ввода данных.

Нечеткая логика – это раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств, базирующийся на понятии так называемого нечеткого множества. Нечеткая логика представляет собой набор нестрогих правил, в которых для достижения поставленной цели могут использоваться радикальные идеи, интуитивные догадки, а также опыт специалистов, накопленный в соответствующей области.

Нечеткая логика возникла как наиболее удобный способ построения систем управления сложными технологическими процессами, а также нашла применение в диагностических и других экспертных системах, нейронных сетях, системах искусственного интеллекта. На основе нечеткой логики и следящей системы технического зрения разрабатываются интеллектуальные системы управления мобильными роботами.

Искусственные нейронные сети – это математические модели, а также их программное или аппаратное воплощение, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма. Нейронная сеть представляют собой систему соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Такие процессоры обычно довольно просты (по сравнению с процессорами, используемыми в обычных персональных компьютерах). Каждый процессор нейронной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. И, тем не менее, будучи соединенными в большую сеть с управляемым взаимодействием, такие локально простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи. Нейронные сети используются в задачах адаптивного управления и как алгоритмы для робототехники.

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, вместо этого они обучаются. Возможность обучения – это одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Обучение нейронных сетей заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными, а также выполнять обобщение.

**Беспроводные сенсорные сети.** Беспроводная сенсорная сеть (wireless sensor network, WSN) – это распределенная, самоорганизующаяся сеть множества сенсоров и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиосвязи. Область покрытия такой сети

может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет способности ретранслировать сообщения от одного элемента сети к другому.

Использование сравнительно недорогих беспроводных сенсорных устройств открывает широкие возможности для применения систем телеметрии и контроля. Сенсорные сети используются для беспроводного сбора данных, мониторинга и обслуживания машин, контроля окружающей среды, управления безопасностью и во многих других областях.

Беспроводные сенсорные сети состоят из миниатюрных вычислительных устройств, снабженных сенсорами температуры, давления, освещенности, уровня вибрации, местоположения и т.п. и трансиверами (устройствами для передачи и приема сигналов), работающими в заданном радиодиапазоне. Гибкая архитектура, низкие затраты при монтаже выделяют беспроводные сенсорные сети среди других беспроводных и проводных интерфейсов передачи данных, особенно когда речь идет о большом количестве соединенных между собой устройств.

**Системы радиочастотной идентификации.** Радиочастотная идентификация (radio frequency identification, RFID) – это способ автоматической идентификации объектов, в котором дистанционно посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах (приемопередающих устройствах), или RFID-метках. Большинство RFID-меток состоит из двух частей: интегральной схемы (для хранения и обработки информации, модулирования или демодулирования радиочастотного сигнала и некоторых других функций) и антенны (для приема и передачи сигнала).

**Спутниковые навигационные системы.** Спутниковая система навигации представляет собой комплексную электронно-техническую систему, которая состоит из совокупности наземного и космического оборудования и предназначена для определения местоположения (географических координат и высоты) и точного времени, а также параметров движения (скорости и направления движения и т.д.) для наземных, водных и воздушных объектов. Она разрабатывалась и внедрялась как система двойного назначения, в первую очередь, для обеспечения национальной безопасности, а также для решения гражданских научных и производственных задач.

Основной принцип работы спутниковых систем навигации основан на определении местоположения путем измерения расстояния от антенны GPS-приемника на объекте (координаты которого требуется получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью.

В свою очередь, измерение расстояния от спутника до антенны приемника основано на определенности скорости распространения радиоволн. Для осуществления возможности измерения времени распространяемого радиосигнала каждый спутник навигационной системы

излучает сигналы точного времени, используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приемника его часы синхронизируются с системным временем, и при дальнейшем приеме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приема сигнала. Располагая этой информацией, навигационный приемник вычисляет координаты антенны. Все остальные параметры движения (скорость, курс, пройденное расстояние) вычисляются на основе измерения времени, которое объект затратил на перемещение между двумя или более точками с определенными координатами.

Основные элементы спутниковой системы навигации:

- орбитальная группировка спутников, излучающих специальные радиосигналы;

- наземная система контроля и управления, включающая устройства измерения текущего положения спутников и передачи на них полученной информации для корректировки данных об орбитах;

- аппаратура потребителя спутниковых навигационных систем;

Типичная точность современных GPS приемников в горизонтальной плоскости составляет примерно 1-2 метра при хорошей видимости спутников. Для сравнения, точность GLONASS составляет +/-10 метров. При использовании систем дифференциальных поправок или WAAS, с применением особых алгоритмов, а так же с развитием нанотехнологий точность GPS может быть существенно увеличена.

Для повышения эффективности спутниковой навигации служит система RTK (Real Time Kinematic, - кинематика реального времени) – совокупность приемов и методов получения координат и высот точек местности сантиметровой точности с помощью спутниковой системы навигации посредством получения поправок с базовой станции, принимаемых аппаратурой пользователя во время съемки.

Идея создания спутниковой навигации родилась ещё в 50-е годы. Толчком к развитию навигации с использованием космических аппаратов дал запуск в СССР первого искусственного спутника Земли в 1957 году. В 1964 году директор лаборатории прикладной физики университета Джона Гопкинса профессор Ричард Кершнер совместно с американскими учёными, наблюдали сигнал, исходящий от советского спутника и обнаружили, что благодаря эффекту Доплера частота принимаемого сигнала увеличивается при приближении спутника и уменьшается при его отдалении. Суть открытия заключалась в том, что если Вы точно знаете свои координаты на Земле, то становится возможным измерить положение и скорость спутника, и наоборот, точно зная положение спутника, можно определить собственную скорость и координаты. Была создана спутникова радионавигационная система первого поколения TRANSIT.

Эта система была создана исключительно для военных целей. Ее целью было обеспечение навигации баллистических ракет Поларис, запускаемых с подводных лодок. Но данная система могла обеспечить точное определение координат лишь для стационарных или медленно движущихся объектов. Благодаря изобретенным в 60-х годах высокоточным атомным часам появилась возможность использовать для навигации несколько синхронизированных передатчиков, пересылающих закодированные сигналы. Чтобы рассчитать координаты приемника, необходимо было лишь измерить соответствующие временные задержки сигналов. ВМС США успешно продолжали работать над реализацией этого принципа и осуществили запуск нескольких спутников. В то время ВВС США разрабатывали идею использования для целей навигации широкополосных модулированных псевдослучайными шумовыми кодами (PRN - Pseudo Random Number code) сигналов с использованием одной несущей частоты. А в 1973 году ВМС и ВВС США объединились в общую Навигационную технологическую программу. Как следствие, появилась программа NAVSTAR/GPS.

Полностью реализована эта идея спустя 20 лет. Первый тестовый спутник выведен на орбиту 14 июля 1974 г США, а последний из всех 24 спутников, необходимых для полного покрытия земной поверхности, был выведен на орбиту в 1993 г., таким образом, GPS встала на вооружение. Стало возможным использовать GPS для точного наведения ракет на неподвижные, а затем и на подвижные объекты в воздухе и на земле.

Первоначально GPS — глобальная система позиционирования, разрабатывалась как чисто военный проект. Но после того, как в 1983 году был сбит вторгшийся в воздушное пространство Советского Союза самолёт Корейских Авиалиний с 269 пассажирами на борту, президент США Рональд Рейган разрешил частичное использование системы навигации для гражданских целей. Во избежание применения системы для военных нужд точность была уменьшена специальным алгоритмом.

В настоящее время работают несколько систем спутниковой навигации, среди которых наибольшее распространение получили системы NAVSTAR\GPS - (США) и GLONASS\GPS (Россия).

Российская навигационная спутниковая система GLONASS состоит из группировки активных спутников, непрерывно передающих кодированные сигналы в двух частотных диапазонах, которые могут приниматься пользователями в любой точке земной поверхности для определения местоположения и скорости в режиме реального времени на основе измерения дальности до спутников. В будущем для передачи сигнала GLONASS будет добавлена еще одна частота. В некоторых сферах представляется целесообразным комбинированное использование группировок спутников NAVSTAR, GLONASS и GALILEO.

Система GLONASS создавалась с начала 70-х годов большой кооперацией научных гражданских и военных организаций. Первые космические аппараты серии GLONASS («Космос-1413», «Космос-1414», «Космос-1415») были выведены на орбиты 12 октября 1982 года. Запуск осуществляется ракетами-носителями «Протон» с космодрома Байконур. 24 сентября 1993 года система была официально принята в эксплуатацию. В декабре 1995 года было завершено полное развёртывание орбитальной группировки системы GLONASS, что позволило создать сплошное глобальное навигационное поле вплоть до высот 2000 км.

Основное отличие от системы NAVSTAR в том, что спутники GLONASS в своем орбитальном движении не имеют резонанса (синхронности) с вращением Земли, что обеспечивает им большую стабильность. Таким образом, группировка космических аппаратов GLONASS не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования.

Американская космическая радионавигационная система NAVSTAR\GPS предоставляет на постоянной, свободной и бесперебойной основе пространственно-временную и навигационную поддержку наземного командно-измерительного комплекса и сегмента потребителей во всем мире. Своей безупречной работой на протяжении многих лет система NAVSTAR завоевала доверие миллионов пользователей из разных стран. Благодаря постоянной модернизации NAVSTAR будет и далее обеспечивать высочайший уровень качества и эффективности обслуживания. Аналогично Glonass, система Navstar разработана для военных нужд Министерства обороны США и находится под его управлением. Как и система GLONASS, NAVSTAR состоит из космического сегмента, наземного командно-измерительного комплекса и сегмента потребителей. За работой системы следят четыре наземные станции, в обязанности которых входит корректировка навигационной информации и часов в спутниках, а также контроль работоспособности каждого из них. Коммерческая эксплуатация GPS началась в 1995 году.

Система GALILEO, создаваемая по инициативе Европейской комиссии и Европейского космического агентства, представляет собой глобальную навигационную спутниковую систему, принадлежащую Европейскому сообществу и находящуюся под гражданским контролем, которая будет служить для высокоточного определения местоположения во всем мире. Открытый сигнал GALILEO будет совместим с гражданским сигналом NAVSTAR, а также сигналом GLONASS. Существование второй полностью рабочей спутниковой системы обещает значительную выгоду для гражданских потребителей по всему миру. Успешный запуск проекта Galileo позволит увеличить более чем в два раза количество рабочих навигационных спутников, доступных пользователям. Подобное увеличение количества спутников принесёт пользу не только при

работе в автономном режиме, но и улучшит качество определения координат и способность GPS-аппаратуры разрешать неоднозначность по фазе несущей для отслеживаемого спутникового сигнала.

Существующая навигационная система BeiDou/COMPASS (КНР), состоящая из трех спутников, с успехом используется для определения местоположения, обеспечения связи, определения времени и передачи информации дифференциальной GPS в таких областях, как топографическая съемка, телекоммуникации, транспортные перевозки, метеорология, предупреждение лесных пожаров, прогнозирование чрезвычайных ситуаций и обеспечение общественной безопасности. На базе экспериментальной навигационной системы BeiDou/COMPASS в Китае начата разработка системы с глобальным покрытием.

В перспективе комбинированный приёмник пользователя, принимающий и дешифрирующий сигналы трёх независимых Navstar, Galileo и Glonass, получает техническую возможность одновременно наблюдать и использовать для местоопределения и навигации более 30 НКА разных систем без потери реальной способности вычисления координат в любых условиях затенения горизонта в городах, горных и лесных массивах.

На сегодня в США до 80 %, а в странах ЕС до 60 % фермеров используют элементы систем спутниковой навигации. Основные функциональные возможности этих систем применительно к уборочно-транспортным комплексам:

- мониторинг навигационных параметров техники, состояния подключенных датчиков и дополнительных устройств, выполнения плановых заданий и соблюдения маршрутов движения, автоматическое оповещение о возникновении нарушений;

- контроль параметров работы уборочно-транспортных комплексов, движения топлива, выполнения плановых заданий, реального пробега по «спутниковому электронному спидометру», соблюдения режимов труда и отдыха;

- планирование заданий и формирование маршрутов движения, графиков работ по маршрутам, оперативное перераспределение автотранспорта и уборочной техники, выделение автотранспорта и техники под оперативные задачи с учетом фактического времени окончания работ по плановым заданиям;

- анализ и учет работы уборочно-транспортных агрегатов и его основных показателей.

Передача информации с блоков сбора данных уборочно-транспортных комплексов на диспетчерский пункт может осуществляться двумя способами в зависимости от региона использования системы и покрытия данного региона сетью сотовой связи GSM.

Общим недостатком использования любой радионавигационной системы является то, что при определённых условиях сигнал может не до-

ходить до приёмника, или приходиться со значительными искажениями или задержками. Например, практически невозможно определить своё точное местонахождение в глубине квартиры внутри железобетонного здания, в подвале или в тоннеле. Так как рабочая частота GPS лежит в дециметровом диапазоне радиоволн, уровень приёма сигнала от спутников может серьёзно ухудшиться под плотной листвой деревьев или из-за очень большой облачности. Нормальному приёму сигналов GPS могут повредить помехи от многих наземных радиоисточников, а также от магнитных бурь.

Невысокое наклонение орбит GPS (примерно 55) серьёзно ухудшает точность в приполярных районах Земли, так как спутники GPS невысоко поднимаются над горизонтом.

Существенной особенностью GPS считается полная зависимость условий получения сигнала от министерств обороны стран. Так, например, во время боевых действий в Ираке, гражданский сектор GPS был отключён.

### **1.3 Особенности применения умных систем в сельскохозяйственной технике**

В последние годы интеллектуальные системы получают все более широкое применение при создании сельскохозяйственной техники, что в значительной мере обусловлено повышением общего уровня развития и расширением функциональных возможностей интеллектуальных систем. При этом основные направления интеллектуализации в сфере АПК определяются рядом факторов, в том числе отраслевой структурой АПК, а также той эффективностью, которая может быть достигнута в результате использования интеллектуальной сельскохозяйственной техники в отдельных отраслях АПК и конкретных видах агропромышленных производств.

Агропромышленный комплекс – это совокупность взаимосвязанных отраслей экономики, взаимодействующих при производстве, переработке и коммерческой реализации сельскохозяйственной продукции, обеспечивающих потребности населения в пищевых продуктах и товарах народного потребления из сельскохозяйственного сырья.

АПК подразделяется на три основные отраслевые сферы:

- сельскохозяйственное производство (сельское хозяйство) – группа отраслей, занимающихся возделыванием сельскохозяйственных культур и разведением сельскохозяйственных животных для получения земледельческой и животноводческой продукции, а также первичной переработкой этой продукции;

- группа отраслей, обеспечивающих переработку продукции сельского хозяйства, в том числе пищевая, комбикормовая промышленность, соответствующие отрасли легкой промышленности;

- группа отраслей, осуществляющих производство средств производства для сельского хозяйства и связанных с ним перерабатывающих отраслей; включает отрасли машиностроения, выпускающие машины и устройства для агропромышленного производства, в том числе для сельского хозяйства, пищевой промышленности, комбикормовой промышленности и соответствующих отраслей легкой промышленности.

В каждую из трех указанных сфер АПК также входят специализированные предприятия, занимающиеся материально-техническим обеспечением и техническим обслуживанием производства, транспортировкой, хранением и коммерческой реализацией выпускаемой продукции.

АПК в ресурсном и производственном отношении связан с другими отраслями экономики, в частности, такими как:

- машиностроение (производство технологических, транспортных и энергетических машин и агрегатов);

- химическая промышленность (производство минеральных удобрений, лакокрасочных материалов и других виды химической продукции);

- горнохимическая промышленность (выработка минеральных удобрений);

- строительство и промышленность строительных материалов (возведение и реконструкция зданий и сооружений, производство строительных материалов);

- топливная промышленность (добыча и переработка различных видов топлива);

- энергетика (выработка, преобразование и передача различных видов энергии).

Эффективность использования интеллектуальной сельскохозяйственной техники в отдельных отраслях АПК и конкретных видах агропромышленных производств определяется соотношением эффекта и затрат, вызвавших этот эффект. Под эффектом понимается положительный результат, который получается в результате использования интеллектуальной сельскохозяйственной техники. В общем случае эффект может быть политическим (обеспечение экономической независимости, продовольственной безопасности), экономическим (снижение себестоимости продукции, рост прибыли, рост производительности труда и т. д.), социальным (улучшение условий труда, повышение материального уровня жизни и здоровья населения и т. д.), экологическим (уменьшение загрязнения окружающей среды, повышение безопасности производства и продукции).

Интеллектуализация сельского хозяйства обусловлена следующими объективными обстоятельствами:

- традиционные технологические решения уже не могут обеспечить требуемый рост производительности труда и качества продукции;
- концепция пооперационной оптимизации исчерпала себя, и нужны новые системные методологические и технологические решения создания техники;
- глобальная компьютеризация производства обязывает применять высокоавтоматизированные процессы.

Главным условием интеллектуализации сельского хозяйства является применение интеллектуальной сельскохозяйственной техники, т.е. высокоавтоматизированных технических средств, способных оптимизировать свое внутреннее и внешнее состояние (расположение в пространстве) по специальным компьютерным программам, в которых производительность и качество работы машины являются ми от изменяющихся параметров агрофона.

Концепцию создания такой техники можно рассмотреть на примере зерноуборочного комбайна. Анализ работы современных сельскохозяйственных машин, в частности, таких сложных мобильных технологических агрегатов, как комбайн, позволяет выявить следующие особенности.

1. Традиционно комбайны разрабатываются в основном с ориентацией на профессионализм оператора (комбайнера) и большинство функций управления рабочими органами машины переданы ему. Это приводит к тому, что одна и та же машина, управляемая разными операторами, показывает разную производительность. В итоге хозяйственный парк машин работает ниже своих потенциальных возможностей, что приводит к большим производственным затратам и увеличению себестоимости продукции.

2. Во время работы комбайна объективно возникают такие сочетания природно-климатических, агроландшафтных и технологических факторов, оптимизировать которые комбайнер не в состоянии из-за их быстротечности и многообразия. Поэтому он нередко работает на неоптимальных режимах управляемой им машины.

3. В случае высоких урожаев эффективность использования пропускной способности комбайна должна быть весьма высокой – не ниже 0,9. Однако это не может быть обеспечено комбайнером по естественным ограничениям на его реакцию, работоспособность, продолжительность рабочего дня и т.п. Решением проблемы является использование более производительного комбайна, оснащенного автоматическими устройствами контроля и управления, так чтобы его работа менее всего зависела от квалификации комбайнера.

Одной из главных целей применения интеллектуальной сельскохозяйственной техники является обеспечение устойчивого развития АПК.

Основополагающими положениями концепции устойчивого развития АПК являются следующие:

- признание того, что конечной целью экономического развития должен быть не экономический рост как таковой, а человек, который имеет право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой;
- неразрывность решения задач экономического развития и сохранения окружающей среды;
- рациональное использование природных ресурсов, которое обеспечивает удовлетворение потребностей в сохранении окружающей среды как для нынешнего, так и для будущих поколений.

Применительно к сельскому хозяйству эта концепция предполагает выполнение ряда общих требований по обеспечению экономической, социальной и экологической устойчивости, а также специальных требований по обеспечению агрономической устойчивости, обусловленных тем обстоятельством, что в сельском хозяйстве земля выступает в роли основного средства производства. При этом под экономической устойчивостью понимается наличие для сельскохозяйственных предприятий возможности функционировать длительное время в качестве основной экономической единицы, в том числе выпускать конкурентоспособную продукцию; под социальной – повышение уровня жизни работников сельского хозяйства на основе роста их доходов, развития социально-культурного обслуживания сельского населения; под экологической – недопущение нанесения вреда окружающей среде и целостности несельскохозяйственных систем.

Таким образом, развитие сельского хозяйства может считаться устойчивым при выполнении следующих условий:

- обеспечение уровня сельскохозяйственного производства, удовлетворяющего потребности населения в продуктах питания, а перерабатывающей промышленности – в сырье;
- развитие сельских территорий на основе увеличения доходов сельского населения, создания нормальных условий жизни на селе;
- сохранение и приумножение природного потенциала.

С учетом рассмотренных особенностей устойчивого развития сельского хозяйства определяется комплекс факторов этого развития.

Из них наиболее важными факторами, которые необходимо принимать во внимание при рассмотрении вопросов использования интеллектуальных технологий, являются производственные (связаны непосредственно с процессом сельскохозяйственного производства, т.е. с выпуском продовольственной продукции) и социально-экономические (проявляются на стадии коммерческой реализации произведенной продовольственной продукции).

Среди производственных факторов существенная роль отводится экономическим и научно-технологическим факторам.

К экономическим факторам относятся производственный потенциал сельхозпредприятий, уровень организации сельскохозяйственного производства, территориальное размещение и отраслевая структура сельского хозяйства, объем и эффективность использования инвестиций. Среди этих факторов ведущую роль играет производственный потенциал, который определяется состоянием основных производственных фондов: сельхозтехники, транспортных средств, хранилищ и т.д.

Научно-технологические факторы характеризуются уровнем научных исследований и конструкторско-технологических разработок, проводимых в сфере сельского хозяйства, и уровнем технологий, используемых в сельскохозяйственном производстве.

Среди социально-экономических факторов особое место занимают физическая и экономическая доступность продуктов питания для различных социально-демографических групп населения, а также условия функционирования социальной и инженерной инфраструктуры на селе.

В значительной мере масштабы и темпы развития интеллектуальных технологий в отдельных отраслях АПК и конкретных видах агропромышленных производств определяются имеющимся в них уровнем механизации, автоматизации и компьютеризации.

Ниже кратко рассмотрено современное состояние механизации, автоматизации и компьютеризации в сельском хозяйстве.

В настоящее время механизация охватила практически все сферы сельского хозяйства

Разработка машин для сельского хозяйства обычно осуществляется на основе системы машин – определенного набора технически, технологически и организационно взаимосвязанных средств механизации, обеспечивающих выполнение требуемого объема работ в конкретных природно-производственных условиях. Эта система постоянно совершенствуется по мере появления новых видов технических средств, которые выбирают с учетом мировых тенденций их развития, предусматривающих создание:

- машин на основе базовых модулей, обеспечивающих функционирование гибких производственных систем;
- универсальных машин со сменными рабочими органами и дополнительным оборудованием, а также комбинированных машин;
- машин, реализующих новые высокоэффективные сельскохозяйственные технологии, в том числе с использованием средств автоматизации, компьютерной техники и информатизации.

Наиболее распространенными видами машин, применяемых в сельском хозяйстве, являются тракторы и автомобили. Тракторы используют на разнообразных сельскохозяйственных, а также строительных и до-

рожных работах, при осушении и орошении земель, для транспортировки грузов. Автомобили служат в качестве транспортных средств.

Сельскохозяйственные машины делятся на группы в зависимости от вида выполняемой работы: почвообрабатывающие; посевные и посадочные; для защиты растений от вредителей, болезней и сорняков; для заготовки кормов; для уборки сельскохозяйственных культур и их послеуборочной обработки; мелиоративные и др. В свою очередь, машины в пределах каждой группы классифицируются по разным признакам: особенностям выполняемой работы, свойствам почв или сельскохозяйственных культур и т.д.

О существовании большого многообразия машин, применяемых в сельском хозяйстве, свидетельствуют следующие примеры классификации их некоторых групповых видов:

- почвообрабатывающие машины – плуги общего назначения и безотвальные, культиваторы-плоскорезы (для основной обработки почвы); бороны, луцильники, культиваторы, катки (для поверхностной обработки почвы); плуги кустарниково-болотные, плантажные, садовые, для каменистых почв и фрезы (для специальной обработки почвы);

- машины для внесения удобрений – машины для подготовки удобрений к внесению, погрузки, транспортировки и непосредственного внесения в почву (по назначению); для внесения минеральных, органических удобрений и органоминеральных смесей (по виду удобрений); для внесения жидких, твердых и пылевидных удобрений (по агрегатному состоянию удобрений); кузовные, навесные и авиационные разбрасыватели, туковые сеялки и машины для внутри почвенного внесения (по способу внесения удобрений);

- сеялки – универсальные (для посева семян разных культур) и специальные (для посева семян одной культуры или нескольких культур с одинаковыми по физико-механическим свойствам семенами) (по назначению); рядовые, узкорядные, гнездовые, квадратно-гнездовые, пунктирные (точного высева), разбросные и стерневые (по способу посева); зерновые, свекловичные, кукурузные, овощные (по виду высеваемых культур);

- машины для химической защиты растений – опрыскиватели, протравители, опыливатели, аэрозольные генераторы, машины для приготовления и заправки опрыскивателей жидкими химикатами (по виду выполняемых работ);

- машины для уборки и послеуборочной обработки зерновых культур – зерноуборочные комбайны, зерноочистительные и сушильные машины, оборудование для режимного хранения зерна;

- машины для заготовки кормов – косилки, грабли, прицепы-погрузчики, пресс-подборщики, погрузчики тюков, силосо- и кормоуборочные комбайны и др. (по виду выполняемых работ);

- картофелеуборочные машины – машины для подготовки полей к уборке, для выкопки клубней, для послеуборочной обработки и сортировки (по виду выполняемых работ);

- машины для уборки сахарной свеклы – ботвоуборочные, свеклокомбайны, корнеуборочные машины, свеклопогрузчики (по виду выполняемых работ);

- машины для уборки кукурузы на зерно – кукурузоуборочные комбайны и приставки к зерноуборочным комбайнам, очистители початков, стационарные молотилки (по виду выполняемых работ);

- мелиоративные машины – машины для подготовки и эксплуатации открытой мелиоративной сети, подготовки горизонтального закрытого дренажа, полива сельскохозяйственных культур; общестроительные машины для земляных работ на мелиоративных объектах (по виду выполняемых работ).

Параллельно с механизацией сельского хозяйства развивается его автоматизация. Поскольку в настоящее время мировой уровень механизации основных процессов в полеводстве и животноводстве приближается к 100%, то дальнейшее развитие сельскохозяйственной техники будет характеризоваться еще более интенсивным использованием средств автоматизации.

Особо острая необходимость развития автоматизации в сельском хозяйстве объясняется тем, что процессы сельскохозяйственного производства относятся к сложным объектам управления, они характеризуются большим числом контролируемых и управляемых параметров и действием многочисленных возмущений, влияющих на эффективность выполнения этих процессов. Поэтому обслуживающий персонал (механизаторы) часто не в состоянии своевременно реагировать на эти возмущения, многие из которых носят случайный характер. Как следствие, ручное управление сельскохозяйственными машинами оказывается недостаточно эффективным.

Так, для эффективного использования машинотракторного агрегата оператор (тракторист) должен управлять загрузкой двигателя трактора, направлением движения агрегата, изменением тяговой мощности (в том числе за счет уменьшения буксования ведущих колес), следить за качественным выполнением технологических операций и к тому же обеспечивать безопасность движения. Причем, чем выше рабочая скорость и больше ширина захвата агрегата и чем сложнее управляемая операция, тем большее количество информации должен переработать оператор в единицу времени и тем чаще ему приходится пользоваться органами управления. Это приводит к быстрой утомляемости оператора, он нередко запаздывает с принятием решения по управлению агрегатом, в результате чего эффективность и качество работы агрегата существенно

снижаются. Кардинальный путь решения указанных проблем – всемерное оснащение агрегата средствами автоматизации.

За последние десятилетия автоматизация сельского хозяйства сформировалась в самостоятельную отрасль науки и техники, которая охватывает теорию, принципы построения и методы использования автоматизированных систем управления в сельском хозяйстве, действующих с минимальным участием человека или без его непосредственного участия.

Главная особенность автоматизации на современном этапе развития сельского хозяйства состоит в неразрывной связи сельскохозяйственной техники с биологическими объектами (почвой, растениями, животными) и, следовательно, с непостоянными во времени параметрами этих объектов, со свойственной только им непрерывностью процессов производства продукции и цикличностью ее получения.

Соответственно, при разработке и создании систем автоматики следует учитывать связь сельскохозяйственной техники с биологическими объектами, а также:

- многообразие и сложность процессов сельскохозяйственного производства;
- распределенность контролируемых и регулируемых параметров многих биологических объектов по большому пространству (поле, теплица, хранилище, ферма) со случайными возмущающими воздействиями;
- рассредоточенность сельскохозяйственной техники по большим территориям, удаленность от ремонтной базы;
- условия окружающей среды, в которой работают системы автоматики (на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях), когда в широких пределах изменяются температура, влажность, состав агрессивных газов, запыленность, интенсивность солнечной радиации и т.д.

Существуют определенные различия в характере осуществления автоматизации различных отраслей сельского хозяйства.

Так, в растениеводстве к обобщенным объектам автоматизации относятся технологии получения сельскохозяйственной растениеводческой продукции, состоящие из комплекса различных взаимосвязанных технологических операций. Например, технология выращивания зерновых культур представляет собой следующую последовательность технологических операций: вспашка, боронование, посев, культивация, внесение рабочих жидкостей, уборка, скашивание, обмолот, сепарация, транспортировка зерна, послеуборочная обработка, прием и предварительная очистка, временное хранение зерна, сушка зерна, вторичная очистка зерна, хранение зерна. Большинство технологических операций в этой технологии механизировано, что позволяет их считать частными объектами автоматизации. Однако сведение автоматизации технологий к

автоматизации частных объектов допустимо лишь при системном подходе к автоматизации этих объектов, т.е. при учете взаимосвязи их в той или иной технологии.

Несколько иными являются условия автоматизации в животноводстве. Их отличительная особенность состоит в том, что технологии животноводства имеют ряд общих технологических операций – отопление и вентиляция, уборка и переработка биоотходов, освещение и облучение животных, приготовление и раздача кормов и др. Поэтому все сельскохозяйственные машины, рассматриваемые как объекты автоматизации, хотя и характеризуются большим разнообразием (как и в растениеводстве), но по ряду выполняемых функций довольно схожи (регулирование микроклимата, водопотребление, раздача кормов и др.).

В последние годы в сельском хозяйстве наряду с интенсивным развитием автоматизации все более широкое распространение получает компьютеризация. В экономически передовых странах не только крупные сельскохозяйственные производители, но и обычные фермеры с успехом применяют компьютерную технику как для управления производственными процессами, так и для ведения бухгалтерии, формирования различных баз данных и т.д. Разработкой компьютерного программного обеспечения для сельского хозяйства в этих странах занимаются десятки компаний. В основном программы используются для проведения финансовых операций, а также для управления производством в ряде сельскохозяйственных отраслей. Компьютеризация сельского хозяйства позволяет значительно сократить число работников и повысить производительность производства.

Следует, однако, заметить, что во многих развивающихся странах существуют определенные причины, сдерживающие компьютеризацию сельского хозяйства. Одной из таких причин является отсутствие или недостаточное количество специализированных программ, предназначенных для решения задач планирования и управления агропромышленным производством. Отчасти это обусловлено малым спросом на такие программы в силу того, что сельскохозяйственные производители далеко не всегда имеют возможности приобретать и использовать новую компьютеризированную технику из-за своего плохого финансового состояния. Кроме того, нередко такие программы имеют ограниченные функциональные возможности или не отвечают специальным запросам пользователей. Также следует учитывать сравнительно низкий уровень квалификации сельскохозяйственных работников, которые не способны достаточно эффективно применять компьютерные и информационные технологии.

Важным условием эффективного интеллектуального управления агропромышленным производством является широкое использование беспроводных сенсорных систем и систем спутниковой навигации.

Оснащение беспроводными сенсорными сетями тракторов или комбайнов позволяет обмениваться транспортным средствам данными, необходимыми для координации их работы.

Беспроводным сенсорным сетям отводится важное место в решении задач экологического мониторинга. В частности, они могут предоставлять фермерам информацию о возможных изменениях погоды, например, предупреждать о начале заморозков – благодаря тому, что используемые в них сенсоры способны фиксировать изменения в окружающей природной среде. С помощью беспроводных сенсорных сетей, содержащих сенсоры влажности и температуры, можно своевременно сообщать фермерам об угрозе заражения картофельных полей фитофторой – грибковой болезнью, развитие которой зависит от климатических условий. Подобным образом, благодаря сенсорному контролю параметров окружающей среды обеспечивается регулирование микроклимата в теплицах. Измерение температуры внутри холодильных помещений и контейнеров грузовых автомобилей необходимо для поддержания благоприятных условий хранения и транспортировки скоропортящихся пищевых продуктов (овощей, фруктов, мяса), в том числе путем корректировки сроков их хранения или времени транспортировки.

Беспроводные сенсорные сети применяются на животноводческих фермах в целях обеспечения здоровья животных путем определения с помощью сенсоров параметров их состояния, например, температуры тела, и передачи измеренных значений посредством радиосигналов животноводам.

Радиочастотная идентификация успешно применяется при уходе за животными. Так, с помощью RFID-меток можно исследовать поведение коров, отслеживать время их доения. Кроме того, используя RFID-метки, можно осуществлять управление потоками товаров.

Беспроводные сенсорные сети в сочетании с системами спутниковой навигации делают возможным контролировать местоположение тракторов и сельскохозяйственных машин на поле и тем самым управлять их движением и взаимодействием, а в случае нарушения их нормальной работы или выхода из строя – осуществлять их дистанционную диагностику и оказывать срочную техпомощь на месте.

В свою очередь, радиочастотная идентификация в сочетании с системами спутниковой навигации обеспечивает в животноводстве возможности контроля местоположения животных в помещении фермы или на пастбище и тем самым управления их поведением, в логистике – возможности контроля местоположения грузового транспорта при доставке сельскохозяйственной продукции и тем самым построения оптимальных логистических схем.

Развитие процесса создания интеллектуальных систем для сельского хозяйства требует глубокого понимания основных тенденций кон-

струирования сельскохозяйственных машин. Следует признать, что оснащение сельхозтехники интеллектуальными системами признается актуальным пока еще не всеми конструкторами-машиностроителями, что объясняется недостаточно ясным представлением ими важности проблем интеллектуализации агропромышленного производства. Между тем именно на использовании интеллектуальных систем построена современная парадигма проектирования сельхозтехники во многих экономически развитых странах мира, хотя следует заметить, что проводимая работа по созданию интеллектуальной сельхозтехники по ряду направлений находится пока еще на начальной стадии. Типичным примером современного сельскохозяйственного машиностроения является проектирование и производство тракторных агрегатов, которые создаются усилиями не только инженеров-механиков, но и инженеров-электронщиков, а также специалистов в области информационных и телекоммуникационных технологий.

## **Часть 2 Умная техника для растениеводства**

### **2.1 Тракторы и тракторные агрегаты**

**Тракторы.** Интеллектуальные системы управления, которыми оснащаются тракторы, нацелены на повышение экономичности, надежности, мощности и производительности машины, а также на создание более комфортных условий для работы тракториста.

Фирма Claass (Германия) реализовала концепцию интеллектуальной мощности трактора. С помощью разработанной фирмой системы CPS (Claass Power Systems) обеспечивается оптимальное управление параметрами работы двигателя и систем привода, что позволяет наиболее полно реализовать мощность при низком расходе топлива.

Аналогичные разработки проводятся фирмой John Deere (США). В тракторе серии John Deere 6920 установлены двигатели PowerTech Plus с интеллектуальной системой регулирования мощности, что позволяет повысить и без того большую мощность и крутящий момент, развиваемые двигателем с системой впрыска топлива CommonRail и 4 клапанами на цилиндр. Система поддерживает максимальную мощность двигателя при буксировке тяжелых прицепов по полю или дороге, валковании на крутых склонах.

В мощных (до 560 л.с.) тракторах серии 9R/RT, производимых фирмой John Deere, предложено осуществлять привод вентилятора системы охлаждения клиноременным вариатором, автоматически изменяющим частоту вращения для поддержания необходимой температуры двигателя, а также гидросистемы. Нагретый воздушный поток, подаваемый вентилятором, отклоняется направляющими отверстиями в сторону

от почвы и кабины, исключая повреждение растений и нагрев стекла кабины. Самоподкачивающаяся топливная система, установленная в двигателе, исключает ручную подкачку и необходимость предварительного заполнения топливом фильтра после его замены.

Фирмой John Deere разработана оригинальная система управления мультитопливным двигателем трактора, который можно заправлять любым дизельным топливом, а также смесями их различных видов. Более того, трактор сможет работать на растительном масле (если оно по параметрам соответствует установленным нормам). Бак трактора снабжен датчиками, которые измеряют плотность, вязкость, температуру топлива или смеси, находящейся в нем. Бортовой компьютер выбирает настройки, позволяющие оптимизировать работу двигателя, а также привести выхлопы в соответствие с требованиями Tier IV (система классификации Tier служит для оценки надежности центров обработки данных).

Среди новых разработок тракторов общего назначения фирмы John Deere следует отметить трансмиссию e23 с функцией Efficiency Manager: при заданной скорости она автоматически позволяет подбирать передачу и обеспечивает оптимальный расход топлива при заданной нагрузке.

В связи с ужесточением требований к уровню вибрации на рабочем месте тракторов, выпускаемых с 2007 г. (директива ЕС 2002/44/ЕС), ряд фирм приступили к совершенствованию демпфирующих систем.

Фирмы Claas и Valtra (Финляндия) внедрили на тракторах полуактивную подвеску кабины, задние упругие элементы которой автоматически приспособляются к изменению вибрационных параметров при движении. Для этого используются сигналы закрепленных на кабине датчиков ускорения, а также датчиков скорости движения, торможения и угла поворота руля. Управление процессом демпфирования осуществляется путем изменения магнитным полем вязкости демпфирующей жидкости (фирма Claas) или электрического регулирования поперечного сечения демпфирующего отверстия (фирма Valtra). При этом тракторист может откорректировать демпфирование предварительной установкой переключателя в положение «Аскег» (пашня) или «StraGe» (улица) (фирма Claas) или плавной ручной подгонкой (фирма Valtra).



Рисунок 2.1 - Трактор Fastrac с активной системой амортизации

Тракторы серии Fastrac-8250 фирмы JCB (Австрия) оснащены бесступенчатой многорежимной трансмиссией с интеллектуальным управлением V-TRONIC, что позволяет работать в любых условиях с оптимальной скоростью, обеспечивая повышение производительности и экономию топлива. В тракторах данной серии преимущества интеллектуальной бесступенчатой трансмиссии сочетаются с полностью независимой активной гидравлической подвеской, обеспечивающей высокий комфорт тракторов Fastrac при работе и безопасность при движении по дороге на высокой скорости. При движении на неровностях активная система амортизации трактора существенно снижает уровень колебаний кузова (рис. 2.1, светлая линия) в отличие от обычных тракторов, система амортизации которых рассчитана исключительно на использование пневматических колес. Благодаря такой самовыравнивающейся подвеске автоматически восстанавливается высота рамы относительно моста трактора. Это позволяет выполнять работы быстрее и безопаснее, уменьшать нагрузку на оператора и использовать трактор как скоростной специализированный тракторный тягач на дорогах общего пользования.

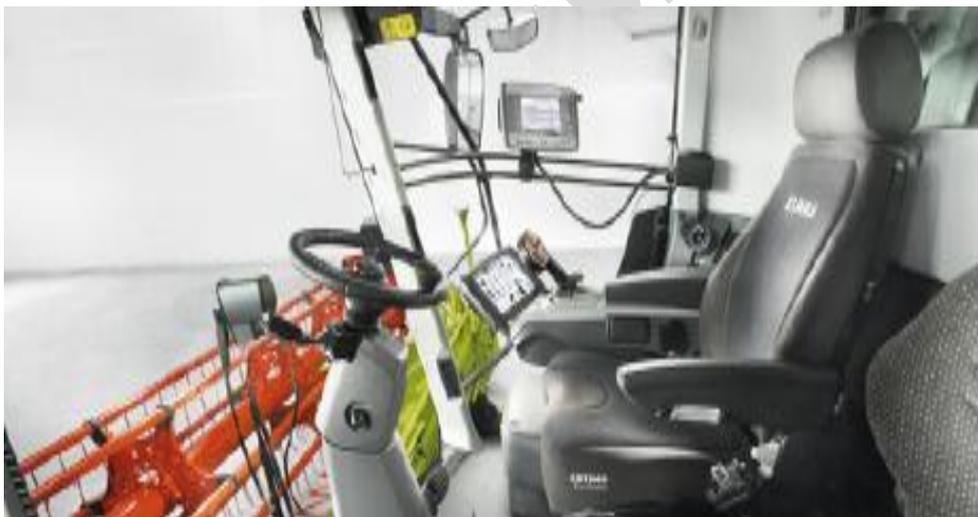


Рисунок 2.2 - Электронно-программный комплекс EASY

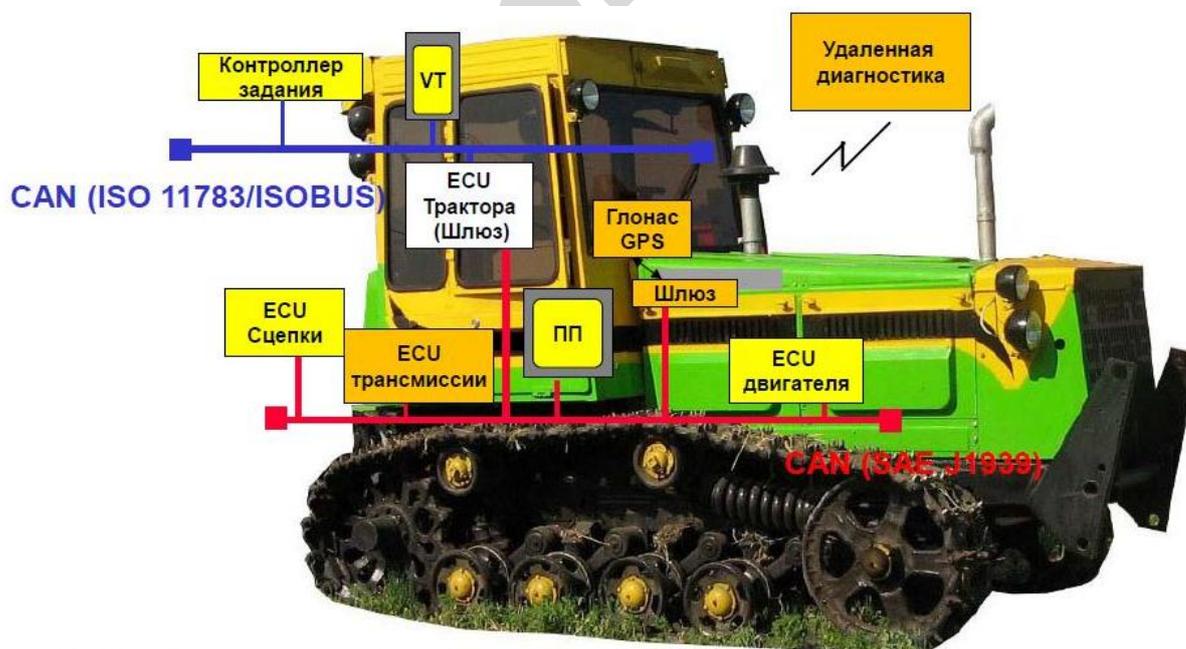
К перспективным разработкам в области интеллектуальных систем управления работой трактора следует отнести электронно-программный комплекс EASY (Efficient Agriculture Systems – эффективные сельскохозяйственные системы) фирмы Claas (рис. 2.2) [30], обеспечивающий управление машиной, оптимизацию производительности, контроль технического состояния машины (включая удаленную диагностику), различные программные решения для сельскохозяйственных предприятий.

**Машинотракторные агрегаты.** Интеллектуальные системы управления машинотракторными агрегатами обеспечивают синхрониза-

цию (гармонизацию) работы трактора и агрегированной с ним сельскохозяйственной машины с целью повышения эффективности работы агрегата в целом (до недавнего времени осуществлялось управление отдельными узлами трактора или сельскохозяйственной машины независимо друг от друга).

В последние годы получили распространение интеллектуальные системы управления машинотракторными агрегатами на основе международного стандарта ISO 11783 (ISOBUS), служащего для установления электронной информационной связи между тракторами и агрегированными с ним сельскохозяйственными орудиями.

Система ISOBUS позволяет стандартизировать компьютерную технику и программное обеспечение, лучше использовать, комбинировать и координировать работу машин и орудий, автоматизировать настройку машин и орудий на различные операции, осуществлять обмен данными между системами, находящимися в полевых условиях, и офисными компьютерами производителей сельхозпродукции, сервисных служб и производителей техники. Она работает на основе шинной связи CAN-bus с использованием различных электронных средств. CAN-шина обеспечивает подключение любых исполнительных и управляющих устройств (всевозможных сенсоров, контроллеров и т.д.), которые могут одновременно принимать и передавать цифровую информацию (дуплексная система).



ECU – контроллер в терминах SAE J1939

VT- виртуальный терминал ISO11783

ПП- электронная панель приборов и органы управления

Рисунок 2.3 - Интегрированная система управления трактором с использованием шины CAN-bus

На рис. 2.3 в качестве примера показана интегрированная система управления трактором на базе стандарта ISOBUS с использованием шины CAN-bus, разработанная ООО «Марафон» (Россия). Трактор оснащен комплектом электронных блоков управления (Electronic Control Unit, ECU) – ECU двигателя, ECU трансмиссии и ECU сцепки, функционирующих в соответствии с набором спецификаций J1939, установленных SAE (Society of Automotive Engineers International, Сообщество автомобильных инженеров). J1939 предназначается для мощных транспортных средств (тракторы, сельскохозяйственные машины, грузовые автомобили) и служит для объединения контроллеров в общую сеть. Сеть, созданная на основе J1939, в качестве канального уровня использует коммуникационную шину CAN (стандарт ISO 11783).

Фирмой John Deere на базе стандарта ISOBUS разработаны разнообразные системы, обеспечивающие взаимодействие между трактором и прицепным оборудованием. Примером тому является система взаимодействия трактора фирмы John Deere с фуражным прицепом фирмы Pottinger (Германия).

В процессе работы фуражный прицеп замедляет или ускоряет ход трактора в зависимости от плотности и формы травяного покрова, что записывается на специальный датчик, установленный на передней части трактора. Это позволяет определять уровень подачи травяной массы, что в итоге ведет к улучшению производительности и к меньшей утомляемости оператора. Другой пример – базирующаяся на стандарте ISOBUS система Tractor-Implement Automation (Автоматизация тракторного оборудования), разработанная применительно к прицепу-измельчителю. С помощью ультразвукового датчика, который определяет форму вала, и датчика крутящего момента на измельчающем роторе скорость трактора регулируется в зависимости от мощности вала.

Также фирма John Deere использует стандарт ISOBUS для автоматического управления пресс-подборщиком (а также другими уборочными машинами), которое обеспечивает обмен данными в двух направлениях: от трактора к агрегируемой машине и от машины к трактору (рис. 2.4). Пресс-подборщик в зависимости от состояния вала управляет скоростью и направлением движения трактора, плотностью прессования рулона. При этом оптимизируется мощность трактора и формируется рулон равномерной плотности, а в сочетании с системами «быстрого реагирования», которые установлены на модели прессов 960 и 990, значительно сокращается время, затрачиваемое на выгрузку рулонов.



Рисунок 2.4 - Трактор и пресс-подборщик с системой ISOBUS

Синхронизация работы пресс-подборщика и трактора обеспечивает значительное (до 30 %) повышение производительности и экономный расход топлива. Так, рулонный пресс-подборщик John Deere 864 в нужный момент передает трактору информацию о том, что рулон сформирован, после чего трактор без участия тракториста замедляет ход и останавливается. Затем начинается процесс обматывания рулона сеткой, по завершению которого трактор автоматически выгружает рулон. Затем весь цикл повторяется снова. Таким образом, вместо четырех действий (начать движение, остановиться в нужный момент, дать команду для обмотки рулона сеткой и выгрузить рулон) от тракториста требуется только одно – начать движение.

Еще одна разработка фирмы John Deere – интеллектуальная система Machine Sync. Тракторист, находясь в кабине трактора, может видеть на мониторе карту с местонахождением на поле других тракторов, комбайнов, прицепов и т.п. и принимать решения, необходимые в данный момент времени. Устройство Machine Sync сообщает трактористу трейлера степень заполнения бункера, позволяя определить, как скоро потребуются разгрузка, к какому комбайну подойти в первую очередь, если уборка поля ведется несколькими комбайнами. Комбайнер, в свою очередь, может напрямую вызвать трейлер и начать разгрузку.

Фирмой New Holland (США) разработана интеллектуальная система для кормозаготовительного пресс-подборщика серии BV 9000, который не только осуществляет прессование тюка, его обвязку, но и определяет одновременно количество упаковочного корма (присоединяет бирку-чип с указанием влажности, сроков уборки и других показателей), что позволяет наиболее рационально и экономно составлять кормовой рацион при скормливании животным.

Компания Krone (Германия) предложила тюковый пресс BigPack 4×4 HighSpeed, который оснащен измерителем влажности, электронными весами и устройством для нанесения на тюки RFID-метки. Параметры спрессованного тюка передаются по каналам спутниковой связи. Система управления машины может взаимодействовать с системой

управления трактора, различным навигационным оборудованием и устройствами сбора данных.

В последние годы при производстве высококачественного сенажа возросло значение рулонных пресс-подборщиков с интегрированным устройством обмотки. При существовавшем до сих пор уровне техники трактор при работе с пресс-подборщиком-обмотчиком должен прерывать движение, чтобы прекратить поступление зеленой массы во время формирования рулона и передачи его на обмоточный стол.

Компания Krone разработала пресс-подборщик-обмотчик Ultima Non-Stop, который позволяет осуществлять процесс подбора зеленой массы, прессования, обмотки и выгрузки непрерывно (рис. 2.5). Размещенная в машине камера с функцией предварительного прессования и интеллектуальной системой регулирования позволяет полностью автоматизировать процесс. При этом скорость движения трактора автоматически устанавливается в зависимости от степени загрузки пресс-подборщика. Благодаря этому облегчается работа водителя, повышается пропускная способность машины до 50 % при максимальной плотности рулонов, снижаются затраты энергии.



Рисунок 2.5 - Пресс-подборщик-обмотчик Ultima Non-Stop

Существуют различные варианты интеллектуальных систем управления трактор-машина, предназначенных для работы с разными типами прицепного оборудования. Например, компания Grimme (Германия) выпускает системы управления корнеуборочными и картофелеуборочными машинами. В частности, практический интерес вызывает система управления картофелеуборочной машиной Potato Suite компании Grimme, которая позволяет следующим образом координировать функции картофелеуборочной машины с трактором: управление трактором осуществляется картофелеуборочной машиной, причем скорость движения трактора регулируется в зависимости от скольжения ботвичной ленты и загрузки сепаратора. Кроме того, картофелеуборочная машина имеет до-

ступ к гидравлическим управляющим устройствам и активирует управление на поворотных полосах.

Фирмы Poettinger и John Deere создали «предусмотрительные системы» на самогружающихся прицепах, осуществляющие дополнительные автоматические настройки трактора. Трактору задаются направление движения и скорость движения для оптимальной загрузки. Установленная система распознает оптическими сенсорами валок перед машиной и своевременно регулирует скорость. На сегодняшний день систему приходится настраивать водителю. Однако ожидается, что в ближайшем будущем сенсоры будут самостоятельно настраиваться на оптимальную работу – определять состояние валка перед машиной и сравнивать полученные снимки с соответствующими показателями наклонного транспортера. При этом состояние валка можно определять по цвету: светлый цвет – низкая урожайность и возможно увеличение скорости или темный цвет – высокая урожайность и необходимо снижение скорости. Теоретической базой для такого автоматического регулирования является нечеткая логика, которая преобразует не совсем точные понятия, такие как «больше» или «меньше» в конкретные регулирующие импульсы.

Компанией Lemken (Германия) выведена на рынок интеллектуальная антипробуксовочная система для почвенных катков. При работе катков большого диаметра, особенно на песчаных почвах, может произойти сдвиг почвы и образование складок или поперечных валов. Импульсное кольцо посевного агрегата измеряет действительную скорость движения и сравнивает с числом оборотов катка. В случае образования земельного наноса каток начинает пробуксовывать. В результате включения антипробуксовочной системы в систему Tractor Implement Management измерение пробуксовки катка может быть использовано для регулировки трехточечной навески на тракторе. Нагрузка временно переносится на задние колеса трактора или на ходовую часть навесного устройства, пока буксование не прекратится. Таким образом удается добиваться равномерного заглубления и безаварийной работы с равномерной потребностью в тяговой силе.

## **2.2 Сельскохозяйственные машины**

Интеллектуальные системы широко применяются для автоматического управления различными функциями сельскохозяйственных машин. В основном эти системы служат для повышения эффективности выполнения машинами полевых работ. Наиболее широкое распространение они получили в уборочных машинах.

Фирма New Holland CNH (Германия) создала систему IntelliCruise, которая изменяет скорость движения комбайна в соответствии с величи-

ной потока убираемой массы. Система измеряет количество поступающей массы на жатке и подающем шнеке путем изменения натяжения приводного ремня, после чего задается определенная рабочая скорость движения, соответствующая оптимальным возможностям жатки. Если поток убираемой массы возрастает, то скорость движения снижается, и наоборот, она может повышаться, если количество зерновых уменьшается. На переезде или развороте комбайна натяжение приводного ремня автоматически ослабляется. Благодаря точной регулировке производительности предотвращается чрезмерная нагрузка на молотилку.

Эффективность работы комбайна может быть повышена с помощью системы Cemos Automatic фирмы Claas. Комбайны Lexion с данной системой снабжаются многочисленными сенсорами, отслеживающими параметры окружающей среды, работы узлов. Например, в зависимости от степени очистки зерна Cemos Automatic автоматически устанавливает необходимую скорость вентиляторов.

Инновационное решение фирмы Claas для зерноуборочных комбайнов – система Grain Quality Camera (рис. 39). Установленная в головке элеватора цветная фотокамера с высоким разрешением делает снимки убираемого зерна в зерновом потоке. Снимки затем анализируются на наличие незерновых примесей и дробленых зерен, а результаты анализа в виде диаграмм передаются на терминал комбайна. Комбайнер имеет возможность сразу же просматривать снимки и различать отдельные или прилипшие примеси. Это создает более точную основу для оценки качества зерна и оптимизации настройки жатки и системы очистки на зерноуборочных комбайнах Lexion 760, 770, 780.

Для улучшения качества собираемого зерна перспективно использовать систему Moisture Cable фирмы Bintec (ОАЭ), которая автоматически регулирует мощность сушилки на основе измерения таких показателей, как температура, влажность зерна и влажность воздуха.

Кормоуборочные комбайны фирмы Krone оснащаются системой VariStream, обеспечивающей стабильную работу барабана-измельчителя и ускорительного барабана. Благодаря этой системе поперечное сечение потока кормовой массы автоматически изменяется в соответствии с объемом поступающей массы. Система VariStream обеспечивает стабильную работу барабана-измельчителя и ускорительного барабана, равномерность потока комовой массы, возможность оптимальной загрузки машины. При этом комбайны работают более спокойно даже при неравномерной подаче комовой массы, в то же время расход топлива и износ техники снижаются.

Кроме того, кормоуборочные комбайны фирмы Krone оснащаются системой Auto Scan, оптический датчик которой определяет цвет, а вместе с ним и степень спелости кукурузы (темно-зеленый цвет означает влажные, а коричневый – сухие растения). Затем электронно-

программные средства комбайна вычисляют подходящую оптимальную длину измельчения (чем суше материал, тем меньше длина), и соответственно регулирует скорость гидравлического привода подпрессовывающих валцов.

В кормоуборочных комбайнах проводятся усовершенствования в области аналитической техники, с помощью которой до сих пор можно было определить только содержание сухого вещества в убранный кормовой массе. Усовершенствованная техника позволяет определять содержание таких веществ, как протеин, крахмал и сахар. Так, модернизированная система John Deere HarvestLab, кроме определения доли сухого вещества, способна определять в кормовой массе содержание сырого белка, сахара, крахмала, клетчатки, а также зольность.

Повышению производительности и экономии расхода топлива способствует организация синхронизированной работы кормоуборочного комбайна и транспортного средства. Так, фирма Krone предложила автоматический предохранитель перегрузок LaserLoad для самоходных кормоуборочных комбайнов серии BIG X. Управляемый лазерный сканер опознает движущееся параллельно с комбайном или за ним транспортное средство и управляет силосопроводом.

Фирмой Claas разработано устройство, автоматически регулирующее равномерное распределение соломы и половы за комбайном. На обеих задних фарах комбайна расположены датчики, которые фиксируют направление и силу бокового ветра, а также угол склона.

Одним из весьма чувствительных и требующих соответствующего отношения сельскохозяйственных продуктов является картофель. На практике скорость транспортеров элеватора картофелеуборочного комбайна постоянно регулируется механизатором, а чаще всего устанавливается на максимальное значение для исключения проведения дополнительных регулировок. При передаче картофеля на эlevator или в транспортное средство возможно травмирование клубней из-за высокой скорости скребков. Для предотвращения этого можно использовать систему Speedtronic фирмы Grimme, которая позволяет распознавать степень заполнения карманов элеваторов картофелеуборочных комбайнов с помощью специального датчика. Полученные данные посылаются на бортовой компьютер комбайна, который рассчитывает и автоматически изменяет скорость транспортера элеватора, обеспечивая максимально возможную степень его наполнения. Благодаря этому уменьшается количество механических воздействий на клубни в местах передачи на транспортеры и с них и, кроме того, механизатор избавляется от необходимости проводить необходимые настройки вручную.

Существенные усовершенствования техники для полива и орошения выполнены фирмами TeeJet Technologies (США), Lemken и INUMA Fahrzeug Service (Германия), в которой используются различные виды

сенсорных датчиков, регистрирующих поток жидкости на каждой форсунке опрыскивателя. Такой способ сенсорного контроля по сравнению с традиционным контролем путем осмотра имеет значительные преимущества: он позволяет достоверно определить поломанную или забившуюся форсунку, а обнаруженные неполадки автоматически и без задержек отражаются на дисплее терминала, что позволяет механизатору сразу же устранить неисправность.

В последние годы находят распространение интеллектуальные системы, служащие для повышения надежности работы сельскохозяйственных машин, поддержания нормальных режимов их функционирования.

Для кормоуборочных комбайнов разработаны системы регулирования моторов, позволяющие приспосабливаться к различным условиям уборки, в результате чего кормоуборочный комбайн постоянно работает в оптимальном с точки зрения потребления мощности и производительности диапазоне числа оборотов, что одновременно позволяет снизить расход топлива.

Для лучшей адаптации косилок к рельефу при очень большой ширине захвата и большой массе используется гидропневматическая система снижения нагрузки на косилку с компьютеризированной автоматической регулировкой опорного давления в реальном времени. Указанная система обеспечивает постоянное опорное давление косилочных элементов даже при очень волнистом рельефе и сильно варьирующейся скорости движения.

Фирма Claas разработала автоматическую систему полного привода ActiveTrac для зерноуборочных комбайнов. Комбайны с приводом всех колес традиционной конструкции испытывают серьезные трудности при работе на склонах и на почвах со слабой несущей способностью, поскольку при движении колеса могут пробуксовывать, сильно повреждая почву. Система ActiveTrac при пробуксовке колес одного из мостов с помощью электрогидравлической регулировки перераспределяет крутящий момент на колеса с лучшим сцеплением с почвой. Различия в размерах шин на осях учитываются электронной системой SEBIS. Достоинством этой новой концепции является автоматическая активация противобуксовочной функции, повышающей эффективность работы.

Фирма Krone выпустила обмоточный агрегат с автоматически регулируемым по высоте натяжителем пленки. Через сенсор угла поворота рабочая высота обмотчика автоматически приспосабливается к диаметру рулона.

Фирма John Deere предложила интеллектуальную систему охлаждения Smart cooling с изменяющейся скоростью вентилятора, который

подстраивается под текущую нагрузку на машину, тем самым снижая потребление топлива и уменьшая шум в кабине.

## 2.3 Транспортные машины

В АПК широко используется грузовой автотранспорт, который служит в основном для перевозки различной сельскохозяйственной продукции. В последние годы в автомобилестроении уделяется большое внимание вопросам автоматизации. При этом, как правило, речь идет о создании локальных автоматических систем, например, устройств автоматического впрыска топлива и турбонаддува, автоматической трансмиссии, антиблокировочных систем и т.п., что существенно упрощает работу водителя. Тем не менее, объемы информации, поступающие от отдельных функциональных узлов автомобиля и из окружающей среды таковы, что часто превосходят возможности водителя по оперативному анализу этой информации и, как следствие, принятию соответствующих решений. Поэтому все более актуальными становятся задачи автоматизации управления автомобилем в целом.

Осуществляемая на сегодняшний день автоматизация автомобиля практически не касается основных функций водителя – управления движением автомобиля, обеспечения эффективной работы и безопасного движения автотранспорта.

К числу функций водителя, автоматизация которых является наиболее важной, относятся:

- выбор маршрута движения;
- выбор оптимального по затратам топлива режима работы двигателя и основных агрегатов автомобиля;
- соблюдение правил дорожного движения (оптимальной скорости и дистанции до впереди идущего автомобиля, порядка движения в колонне и т.д.);
- своевременное обнаружение и распознавание дорожных знаков и препятствий на пути движения и реагирование на них;
- контроль технического состояния автомобиля и др.

Особенности вышеперечисленных задач свидетельствуют о необходимости построения систем управления автотранспортом с использованием интеллектуальных алгоритмов, с помощью которых становится возможным обеспечивать высокую скорость, комфортность и экономичность движения в широком диапазоне изменения внешних условий движения, выбирать оптимальные маршруты и режимы движения с автоматической адаптацией к возможным изменениям маршрутного задания и нарушениям в работе агрегатов автомобиля, что в итоге гарантирует высокое качество и безопасность управления движением.

При построении интеллектуальных систем управления движением автомобиля перспективно использовать нейронные сети, являющиеся эффективным аппаратом коррекции каналов управления, а также мультиагентные вычислительные системы, способные обеспечить принципиально новые качества адаптации, самоорганизации и интеллектуального поведения, реализуя, фактически, бортовые распределенные информационные системы. При этом особое значение имеет разработка человеко-машинного интерфейса, обеспечивающего адаптивную фильтрацию информационных потоков: в зону внимания водителя должна вводиться только существенная оперативная информация, отвечающая текущим задачам управления.

Примером интеллектуальной системы управления автомобилем является разработанная компанией Bosch (Германия) система помощи водителю Eco.Logic motion. Используя дополнительные навигационные данные, в частности, информацию о спусках, подъемах и поворотах, через которые должен пройти автомобиль, Eco.Logic motion оптимизирует работу двигателя и трансмиссии, что в итоге позволяет достичь снижения как расхода топлива, так и выбросов CO<sub>2</sub>. На практике это выглядит следующим образом: «электронный горизонт» рассчитывает оптимальную скорость и выбирает передачу, соответствующую участку пути впереди; эта информация сравнивается с текущими параметрами движения и передается в виде команды на блоки управления двигателем и трансмиссией автомобиля. В результате автомобиль набирает скорость там, где это необходимо, или же избегает лишних переключений передач незадолго до вершины холма, а также выполняет другие действия, диктуемые дорожной обстановкой.



Рисунок 2.6 - Интеллектуальные стеклоочистители

Объектами интеллектуализации являются не только системы управления автомобилем, но и другие устройства, влияющие на эффективность работы водителя. Так, фирма Mercedes-Benz (Германия) предложила интеллектуальные стеклоочистители Magic Vision Control (рис. 2.6). Их преимущество состоит в расположенных по всей длине рабочих поверхностей форсунках, которые брызгают воду на стекло непосредственно во время взмахов щеток. При этом в зависимости от температуры воздуха, погодных условий и скорости движения стеклоочистители могут самостоятельно контролировать количество воды и

напор, с которым она подается на стекло. Кроме того, у стеклоочистителей имеется три режима работы: для летнего и зимнего времени, а также для езды с открытой крышей. Разработанное устройство оснащено обогревателем бачка с жидкостью и форсунок, который автоматически включается при температуре ниже минус пяти градусов по Цельсию.

## 2.4 Техника точного земледелия

Точное земледелие (или как его еще называют «прецизионное земледелие» – precision agriculture) – это комплекс технологий ресурсосберегающего земледелия, направленных на повышение эффективности возделывания сельскохозяйственных растений на основе точного выполнения технологических операций с учетом пространственной неоднородности среды произрастания растений.

Концепция точного земледелия основана на идее о том, что неоднородность условий выращивания растений на разных полях или разных участках одного поля является одной из основных причин, соответственно, межпольной и внутрипольной неоднородности урожайности, и представлении о целесообразности расходования воды, питательных веществ и средств химизации, необходимых для растений, в соответствии с локальными изменениями почвенных свойств.

В рамках реализации технологий точного земледелия предполагается, что обработка поля проводится с учетом реальных потребностей сельскохозяйственных культур, выращиваемых на данном поле (или на данном участке поля). Эти потребности определяются с помощью современных электронно-информационных аппаратных средств. При этом вносимые в почву вода, питательные вещества и средства химизации дифференцируются на разных полях или разных участках одного поля, давая максимальный эффект при минимальном ущербе окружающей среде и снижении общего расхода применяемых веществ.

Технологии точного земледелия начали активно развиваться в 1980–1990- гг. Однако идеи создания таких технологий возникли значительно раньше. Так, еще в середине прошлого века основоположник российской агрохимии Д.Н. Прянишников писал: «Определение содержания в почвах подвижных форм азота, фосфора и калия может быть использовано для дифференцировки доз и соотношений азотистых, фосфорнокислых и калийных удобрений, вносимых под одну и ту же культуру, в одном и том же поле севооборота, но на участках поля, различающихся по почвенным условиям».

Ниже рассмотрены основные вехи в истории развития точного земледелия и его внедрения в мировую практику землепользования.

В 1976 г. на международной выставке SIMA в Париже был представлен опрыскиватель Hydroelectron фирмы Tecnomat (Франция), обо-

рудованный электронным регулятором подачи раствора для обработки растений пропорционально скорости движения агрегата.

В 1982 г. на международной сельскохозяйственной выставке в Мюнхене был показан первый экспериментальный образец сеялки с электронным регулятором высева фирмы Blanchot (Франция).

В 1986 г. в результате сотрудничества ряда фирм, производящих сельхозтехнику, было признано рациональным устанавливать на тракторе многоканальный микропроцессор, а на агрегированных с ним машинах использовать унифицированные датчики, которые подключаются к микропроцессору вместе с исполнительными механизмами машин. При этом в функции микропроцессора входило не только регулировать технологические параметры сельскохозяйственного производственного процесса, но также контролировать рабочую скорость агрегата, объем выполненной работы, параметры двигателя, удельный расход топлива и т.п.

В 1992 г. страны ЕС в целях объединения усилий по развитию точного земледелия приняли план ускоренного финансирования из бюджета ЕС перспективных направлений автоматизации и компьютеризации сельскохозяйственной техники.

В 1994 г. на выставке Smithfield Farm Tech фирма KRM (Великобритания) продемонстрировала первый экспериментальный образец двухдисковой центробежной машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений.

В 1995 г. фирма Amazone (Германия) освоила выпуск центробежных машин ZA-Max, оснащенных электронным прибором, позволяющим определять содержание питательных веществ в почве методом инфракрасного фотографирования поля со спутника Земли с построением картограммы поля, а координаты агрегата – с помощью GPS-систем.

На сегодняшний момент все ведущие в мире фирмы по производству сельскохозяйственных машин создают свою продукцию с учетом требований точного земледелия, широко используя современные системы глобального позиционирования, геоинформационные системы, системы дистанционного зондирования земли, сенсорную технику, а также технологии оценки урожайности и технологии переменного нормирования. Особое внимание уделяется интеллектуальным системам точного земледелия, разработка которых идет в двух основных направлениях: точное управление движением машин и точное управление работой машин при выполнении технологических операций на полях.

#### **2.4.1 Точное управление движением машин**

**Вождение по заданной траектории.** При выполнении полевых работ точное управление движением машин по всему полю может быть

достигнуто на основе использования геоинформации, получаемой с помощью спутниковых навигационных систем.

Существуют два технических подхода к созданию систем управления движением по заданной траектории – ручное управление с помощью световой балки и управление с помощью автоматики. Оба подхода предусматривают определение на основе учета сигналов спутниковых навигаторов отклонения от заданного курса движения, а именно: отклонения расстояния по горизонтали к намеченной линии, которая может быть зафиксирована заранее, а также к какой-либо компенсирующей линии.

В случае использования световой указатель отклонения от заданного курса указываются на дисплее посредством светоизлучающих диодов, расположенных в горизонтальный ряд (рис. 2.7).

Автоматическая система управления (рис. 2.8) подобна системе со световой балкой за исключением того, что сигналы, приходящие из компьютерного алгоритма, не требуют от водителя ручного управления машиной, вместо этого сигналы идут к электрическим и гидравлическим управляющим исполнительным механизмам.



Рисунок 2.7 - Ручное управление машиной с помощью световой указатель



Рисунок 2.8 - Дисплей интерфейса к автоматической системе управления

Световая балка (вверху) указывает погрешности бокового отклонения. Сигналы с двух разных спутниковых навигационных систем могут использоваться одновременно для улучшения эффекта управления.

Основные компоненты, необходимые для управления на основе обоих указанных подходов, т.е. с помощью световой балки или автоматики:

- GPS-приемник;
- пользовательский интерфейс для вывода на дисплей отклонений от заданного курса и ввода данных, например рабочей ширины или расположения направляющей линии;
- алгоритм планирования траектории движений, который вычисляет отклонения от заданного курса, соответствующего направляющей линии.

Дополнительно автоматическое управление требует монтажа актуатора для рулевого управления машиной и детектора для ручной коррекции.

Существуют различные варианты интеллектуальных систем, предназначенных для вождения машин по заданной траектории.

Фирма John Deere применяет для точного управления движением машино-тракторных агрегатов и комбайнов по полям дифференцированную глобальную систему позиционирования, дополненную корректирующей системой Star, которая позволяет управлять положением машин на поле с погрешностью до 10 см. Система позиционирования, получив сигналы от спутников, либо подает оператору команду для ручного управления, либо обеспечивает полностью автоматическое управление движением трактора по полю и на поворотных полосах. Она также позволяет ориентировать движение агрегата по следам маркера. Применение системы обеспечивает точность движения агрегата, снижает утомляемость водителя, исключает повторное частичное перекрытие орудиями обработанной площади.

Предложенная система позволяет устанавливать требуемое расстояние технологической колеи, ширину следа, специальную технологическую колею. При проведении посевных работ она позволяет отключать половину высевающих аппаратов с правой или левой стороны сеялки. При этом количество высеваемых семян автоматически уменьшается при включении технологической колеи. Ширина захвата посевного агрегата, размер технологической колеи и ритм колеи выбираются на управляющем терминале.

Фирма Farmworks (Великобритания) разработала программу Guide late для портативного компьютера Pocket PC, которая позволяет трактористу видеть на дисплее отклонение трактора от идеальной траектории движения, а также измерять обрабатываемые площади и вести документацию с пробами почвы и другими агротехническими данными.

ми. Кроме компьютера, на тракторе устанавливается приемник сигналов GPS с соответствующей антенной.

Фирмой John Deere совместно с фирмами Grimme и Pottinger предложены системы управления машинотракторными агрегатами, созданные на базе стандарта ISOBUS. Эти системы могут быть использованы для работы корнеуборочных и картофелеуборочных комбайнов. Трактор управляется по сигналам, передаваемым датчиками, благодаря чему оптимизируется его положение в бороздах и рядах.

Фирмой John Deere разработана система iSteer, которая может работать с различными гидравлически регулируемые плугами. Система контролирует рабочую ширину орудия, в то время как тракторист следит за работой трактора. Как только установленный на тракторе приемник StarFire iTC обнаруживает отклонение от заданной траектории, система сообщает плугу о необходимости увеличить либо уменьшить его рабочую ширину. В результате формируется точный рисунок борозды, требующийся, например, для создания идеально ровных грядок при выращивании овощей.

Существуют различные автоматические устройства вождения с возможностью управления движением на поворотных полосах (автоматические повороты и переключение передач), которые позволяют управлять трактором без вмешательства тракториста.

Рядом фирм выпускаются системы автоматического вождения свеклоуборочных комбайнов на основе использования специальных сенсорных устройств – полозковых копир-водителей. Последние выполнены в виде двух соединенных между собой шупов, которые своими концами касаются двух соседних рядков свеклы. При отклонении комбайна в сторону от рядков копир-водители, оставаясь в междурядьях, изменяют свое положение относительно машины. Сигнал об этом перемещении передается с помощью тяги на датчик и с него поступает в электронный блок, с которого после обработки сигнала подается команда на электромагнитные клапаны, открывающие доступ масла в гидроцилиндры управляющих колес. После корректировки положения комбайна относительно рядов копир-водители занимают нейтральную позицию.

Серия систем точного движения предложена фирмой Claas. Система EASY on field позволяет исключить пропуски и перекрытия при работе широкозахватными агрегатами, в результате чего повышается качество работы, снижается расход топлива, посевного материала, пестицидов и удобрений. Система автоматического вождения Laser Pilot, устанавливаемая на зерноуборочные комбайны, определяет границы хлебостоя, используя сигналы электронно-оптических сенсоров. В системе Auto Pilot, автоматически ведущей комбайн по рядам кукурузы, текущую позицию определяют скобы-копиры. Система Cam Pilot анали-

зирует пространственную структуру участка поля перед машиной с помощью встроенной 3D-камеры.

**Параллельное вождение.** Интеллектуальные системы параллельного вождения машин обеспечивают точное движение машин по рядам, колеям, валкам и бороздам, благодаря чему значительно повышается эффективность выполняемых полевых работ.

Система GPS Pilot, являющаяся инновационным продуктом фирмы Claas, обеспечивает автоматическое параллельное вождение машин по прямым и криволинейным траекториям независимо от освещенности и погодных условий.

Система Parallel Tracking, разработанная фирмой John Deere, обеспечивает возможность параллельного движения машины по прямолинейным и криволинейным траекториям с повышенной скоростью при работе в поле даже в условиях плохой видимости [42, 58]. Она подходит для работы с почвообрабатывающей техникой, опрыскивателями и разбрасывателями удобрений. При работе с данной системой достаточно обозначить путь, после чего дисплей Parallel Tracking покажет визуальные знаки, которые позволят водителю следовать по заданному пути (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 - Параллельное движение трактора по полю с помощью системы Parallel Tracking

Об эффективности применения систем параллельного движения машин в точном земледелии можно судить на примере вождения агрегатов при внесении удобрений.

Для внесения твердых минеральных удобрений широко используются центробежные дисковые разбрасыватели, что обусловлено такими их достоинствами, как возможность внесения различных видов удобрений в широком диапазоне доз, низкая стоимость, высокая производительность, простота конструкции, низкие затраты на техническое обслуживание. Вместе с тем, одной из особенностей таких разбрасыва-

телей является то, что ширина разбрасывания намного превышает ширину машины. Это делает необходимым перекрытие смежных проходов на определенную величину, отклонение от которого повышает неравномерность внесения удобрений по полю. При этом наиболее сложно соблюдать необходимые перекрытия при работе без технологической колеи.

Неравномерность распределения различных доз минеральных удобрений по-разному влияет на потери урожая. Так, если дозы вносимых удобрений лежат в пределах ниже оптимальных, то недостаток удобрения и, следовательно, недобор урожая в одном месте компенсируется прибавкой урожая в другом, поэтому неравномерность их распределения проявляется только в пестроте почвенного плодородия. При внесении же оптимальных доз потери урожая от неравномерности рассева удобрений увеличиваются в результате недобора на недостаточно удобренных участках, а также из-за полегания растений на участках, получивших избыточную дозу удобрений. При этом потери урожая из-за избытка удобрений оказываются значительно выше, чем при их недостатке. Кроме того, недостаток питательных элементов влияет на качество сельскохозяйственной продукции.

Таким образом, при работе без технологической колеи отсутствие устройств точного вождения ведет к нарушению оптимальных норм перекрытия смежных проходов, что повышает неравномерность распределения удобрений и пестицидов по полю. Это, в свою очередь, вызывает отклонение фактически вносимых доз от заданных на участках с двойной обработкой, потерям удобрений и пестицидов, снижает эффективность их применения, урожайность и качество продукции.



Рисунок 2.10 - Внешний вид систем параллельного вождения машин

Кардинальным решением проблемы является использование систем параллельного вождения с применением спутниковой навигации (рис.

2.10). При управлении техникой, оснащенной такими системами, водитель чувствует себя комфортнее и меньше устает, имеет возможность вести машину, опираясь не на внешние ориентиры (маркеры), а на показания приборов. Более того, утром при низком солнце или вечером в сумерках трудно рассмотреть ориентиры, в то время как указатель курса всегда находится перед глазами. С помощью систем параллельного вождения можно двигаться и прямолинейно и криволинейно, главная идея состоит в том, чтобы минимизировать перекрытия, а также огрехи между соседними проходами.

Как правило, система параллельного вождения включает GPS-приемник с внешней антенной, контроллер и указатель курса. Указатель курса обычно располагается внутри кабины над рулем или перед рычагами управления. Чаще всего указатель курса по конструкции представляет собой горизонтальный ряд светодиодных индикаторов в пластиковом корпусе. Также существуют системы параллельного вождения с графическим дисплеем, формирующим двумерное изображение агрегата, обрабатываемого ряда и линий сетки для визуализации движения.

Системы параллельного вождения предполагают активное участие водителя в управлении агрегатом, при котором управление осуществляется по следующей схеме: определение текущих координат агрегата – отображение отклонений от заданного маршрута на табло в кабине – вращение водителем рулевого колеса для удержания агрегата на заданном маршруте.

Перед началом работы водитель выбирает требуемый режим обхода поля и устанавливает расстояние между проходами. GPS-приемник определяет текущее положение агрегата, а специализированный процессор осуществляет запоминание маршрута, вычисление отклонения от него и управление индикацией. При этом алгоритм управления транспортным средством оказывается достаточно простым: если индикаторы светятся в центре, то машина идет правильно, если же свет начал перемещаться, например, вправо, то машина уходит вправо и водитель должен компенсировать отклонение от ряда. Если водитель уехал с поля для дозаправки или был вынужден прекратить работу досрочно, например, из-за непогоды, то в дальнейшем он может вернуться в ту точку, где была остановлена работа, и продолжить вождение по выбранной ранее траектории.

При выборе системы параллельного вождения следует обращать внимание на точность работы, возможность приема корректирующих сигналов. Если работа с системой осуществляется в автономном режиме, то точность параллельного вождения невысока (достигает величины более 1 метра). Для ее повышения следует применять дифференциальный сервис, одним из вариантов которого является система широкозонной

дифференциальной навигации EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Services). При этом сигнал передается по каналам геостационарных телекоммуникационных спутников, что позволяет достигать 15–30-сантиметровой точности прокладки параллельных рядов.

Самый высокий уровень точности (1–3 см) достигается с помощью базовых станций, работающих в режиме RTK (Real-Time Kinematics – кинематика в реальном времени). Такая станция позволяет выполнять различные виды сельскохозяйственных работ, в том числе точный высеив, локальное внесение удобрений и точную культивацию пропашных культур. С помощью ее можно из года в год выдерживать одну и ту же технологическую колею или попадать в одни и те же рядки.

**Синхронное вождение.** При разработке современных сельскохозяйственных машин особое внимание уделяется вопросам повышения эффективности потенциала мощности, заложенной в двигателях. Практический опыт показывает, что дальнейшее увеличение единичной мощности является нерациональным, поскольку наблюдаемое при этом повышение производительности сопряжено с резким ростом негативных последствий: неэффективной загрузкой мощности, затратной логистикой технологического процесса, переуплотнением почвы и другими факторами. Поэтому выдвигается следующий тезис: лучше иметь два трактора мощностью в  $N$  л.с., чем один трактор мощностью в  $2N$  л.с. при наличии автоматизированных систем синхронного управления обоими машинами. Благодаря этому возрастает производительность труда, два небольших по мощности трактора можно использовать более гибко; нагрузка на почву от них меньше, чем от одного трактора такой же производительности.



Рисунок 2.11 - Синхронизация работы машин с помощью системы V2V

Фирма Case IH (США) разработала систему V2V – Vehicle to Vehicle («тягач к тягачу»), которая автоматически синхронизирует

работу двух машин, как это показано на рис. 2.11. Комбайнер управляет движением комбайна, который контролирует движение трактора в агрегате с прицепом при выгрузке зернового бункера с использованием сетей связи Wi-Fi или ZigBee. Систему можно использовать для проведения различных полевых работ, в частности для уборки урожая. Система предусматривает наличие двух экипажей, работающих синхронно.

Компания AGCO (США) предложила виртуальную сцепку тракторов Guide Connect (рис. 2.12). Два трактора, оснащенных высокоточной системой контроля колеи, виртуально соединены друг с другом. Первый (ведущий) трактор управляется вручную и по радиосвязи общается со вторым (ведомым) трактором, в котором нет тракториста. Таким образом, водитель первого трактора, имея доступ к панели управления второго, контролирует обе машины. При этом второй трактор, оснащенный тем же навесным орудием, что и первый, автоматически движется по заданной колее с временным и пространственным сдвигом.



Рисунок 2.12 - Синхронизация работы тракторов с помощью системы Guide Connect

**Вожделение по откосам.** До недавнего времени при использовании систем автоматического вождения машин с помощью спутниковой навигации, разработанных фирмой John Deere, датчик приема сигнала со спутника StarFire iTC устанавливался только на тракторе, что обеспечивало, соответственно, точную траекторию движения трактора. Однако при этом прицепное оборудование на сложных наклонных участках, на пересеченной местности могло не вполне точно повторять курс трактора. Устранить этот недостаток позволило новое интеллектуальное решение фирмы – система iGuide для пассивного управления прицепным оборудованием, которая обеспечивает большую точность (до 2 см) при условии, что второй приемник StarFire iTC установлен на самом орудии производства. Благодаря этому второму приемнику трактор может автоматически контролировать движение орудия во время работы на наклонной и неровной местности и удерживать прицепное оборудование таким образом, что-

бы оно работало строго по ровной линии, предотвращая появление зазоров или нахлестов.



Рисунок 2.13 - Активное управление сеялкой на боковом откосе.  
GPS-антенна на крыше трактора не видна

Существующие системы корректирования перемещений по откосам могут обеспечивать не только пассивное, но и активное управление прицепным оборудованием. Если при пассивном управлении коррекции основаны на компенсациях отклонений орудия от намеченного пути за счет управления трактором, то при активном управлении они осуществляются с помощью приборов управления, установленных на орудии (рис. 2.13). Результатом активного управления является совместное движение и трактора, и орудия по желаемому пути, тогда как при пассивном управлении по желаемому пути движется только лишь орудие, в то время как трактор движет по линии, которая слегка смещена (рис. 2.14).

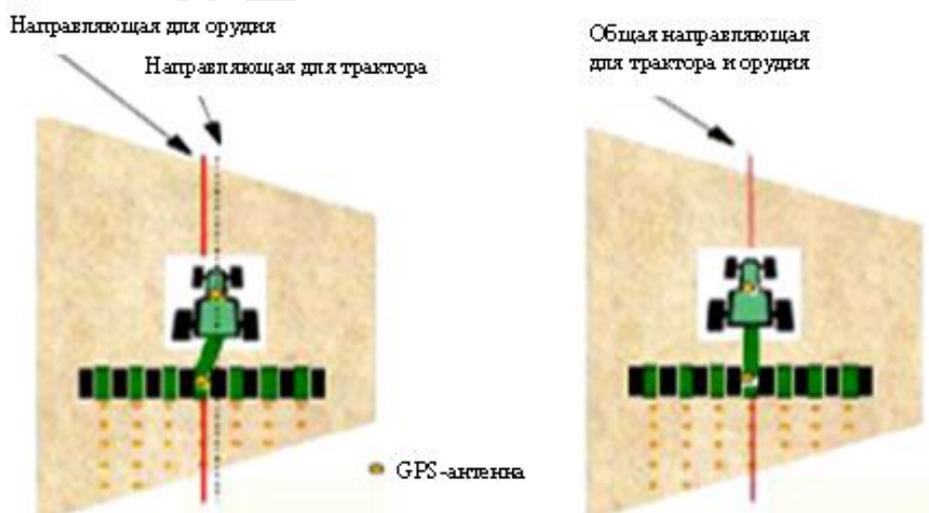


Рисунок 2.14 - Пассивное (слева) и активное (справа) управление прицепным орудием с помощью GPS

Управление движением машин с прицепным оборудованием по откосам может осуществляться с помощью гироскопа, который устанавливается на сельхозтехнике для определения уклона местности. Полученные данные пересчитываются на длину всего агрегата. При движении по наклонной местности, во избежание сноса агрегата вниз, агрессивность направления трактора в противоположную наклону сторону регулируется в зависимости от общей длины сцепки.

**Секционно-контролируемое вождение.** Рабочая ширина захвата современного сельскохозяйственного оборудования и нерегулярные очертания поля приводят к таким ситуациям, когда избежать перекрытия невозможно. Однако если перекрытия не могут быть предотвращены, то повторные посев, внесение удобрений и орошение одного и того же участка не должны иметь места, поскольку это приводит к растрате семян и химикатов и уменьшает урожай. Эти недостатки устраняются при секционном контроле движения сельскохозяйственного оборудования.

Основа современного секционного контроля состоит в том, что все границы поля, предварительно обработанные участки, невозделанные области и покрытые травой водные пути в пределах поля регистрируются с привязкой к местности. Это является необходимым условием работы всех автоматических систем управления, взаимодействующих с GPS. Участки поля соотносятся с теми или иными одиночными модулями соответствующего оборудования, например, с модулями сеялки, соплами на консолях распылителей, выходными отверстиями пневматических разбрасывателей – или же с различными модулями, сгруппированными вместе. Каждый участок снабжен контрольным прибором, который может включаться или выключаться центральным контроллером, имеющим данные поля и связанный с GPS-приемником. При должном использовании эта автоматическая техника обеспечивает точность на неровном поле, как показано на рис. 2.15.

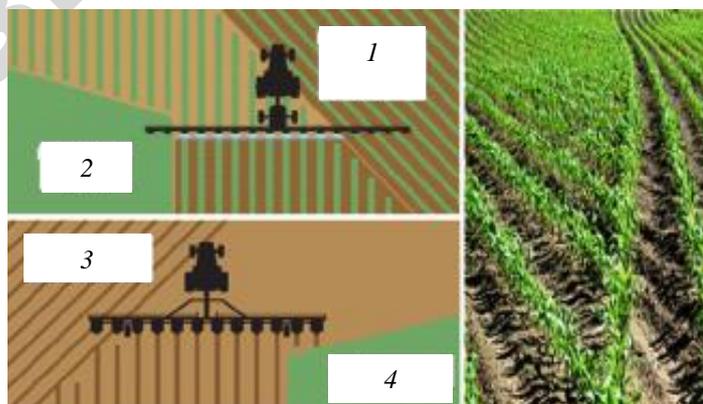


Рисунок 2.15 - Схемы секционного контроля для посева и орошения на неровном поле и результат с кукурузой

1 – ранее опыленная зона, 2 – неопыленная зона,  
3 – ранее засеянная площадь, 4 – незасеянная площадь

## 2.4.2 Точное управление работой машин

**Сенсорные системы в точном земледелии.** Для проведения работ по точному земледелию у производителя сельхозпродукции должна быть информация о пространственном варьировании различных почвенных показателей, которые могут лимитировать урожайность на конкретных участках поля. Невозможность оперативного получения такой информации путем отбора почвенных образцов и их лабораторного анализа до недавнего времени была одним из главных препятствий для развития точного земледелия.

В последние годы для получения слоев с высокой плотностью расположения данных по почвенным показателям используются технологии как наземного, так и дистанционного зондирования. При дистанционном зондировании сенсоры располагаются на воздухоплавательных платформах или космических спутниках. Наземное зондирование требует размещения сенсоров вблизи или даже в контакте с обследуемой почвой. Это позволяет измерять почвенные характеристики *in situ* для конкретных участков на поверхности почвы или глубже. Подобным образом можно получать информацию о состоянии конкретных растений путем их зондирования на уровне растительного покрова или отдельных листьев.

Наземные сенсоры, как почвенные, так и растительные, могут работать в стационарных и подвижных условиях. При работе в стационарных условиях сенсоры используют для проведения измерений в одной заданной точке поля. Более эффективно проводить измерения в разных точках поля путем перемещения сенсоров в ландшафте, так как при этом можно создавать тематические карты полей высокого разрешения.

Почвенные сенсоры в зависимости от методов измерений, лежащих в основе их работы, подразделяются на следующие типы:

- электрические и электромагнитные сенсоры – измеряют удельную электропроводность или емкость, зависящие от состава почвы;
- оптические и радиометрические сенсоры – используют электромагнитные волны для определения уровня энергии, поглощаемой, отражаемой или излучаемой почвенными частицами;
- механические сенсоры – измеряют силы воздействия инструмента на почву;
- акустические сенсоры – измеряют звук, производимый инструментом при взаимодействии с почвой;
- пневматические сенсоры – оценивают способность воздуха проникать в почву;
- электрохимические сенсоры – используют ионселективные мембраны, на которых создается электрическое напряжение в зависимости

от активности отдельных ионов (например, иона водорода,  $K^+$ ,  $NO_3^-$  и др.).

В идеальном случае почвенный сенсор должен реагировать на варьирование только одного почвенного показателя и тесно коррелировать с результатами общепринятого специфического аналитического метода. Однако в действительности каждый сенсор реагирует на изменение нескольких почвенных свойств. Разделение влияния этих свойств на показания сенсора является технически сложной задачей.

Результаты наземного зондирования почв обеспечивают получение сравнительно недорогой информации о пространственном варьировании с высокой плотностью данных. Полученные карты совмещаются с цифровыми картами высот для отображения участков поля с существенно различающимися условиями произрастания растений, а также для определения участков с целью целенаправленного отбора почвенных образцов.

Растительные сенсоры, служащие для определения параметров, связанных с физическим размером сельскохозяйственных культур, работают на основе использования механических, ультразвуковых и других методов измерений. Сенсоры, определяющие оптическую отражательную способность, широко применяются для измерения способности растительного покрова отражать свет в видимой и ближней инфракрасной областях спектра электромагнитного излучения. Исходя из физических размеров растений, осуществляется дифференцированное внесение средств химизации в соответствии с прогнозируемой потребностью, тогда как зондирование состояния растений применяется для корректировки порядка применения удобрений и полива в течение сезона с целью поддержания требуемой доступности элементов питания и воды. Однако практика показывает, что при изменении почвенных условий в течение сезона на разных участках поля может потребоваться применение разных доз удобрений с учетом пространственных различий в отзывчивости растений.

Широкое применение в земледелии сенсоров (в сочетании с информационными системами) привело к формированию нового подхода к аграрному производству – сенсорного земледелия (*sensitive agriculture*).

В сенсорном земледелии наибольшее развитие получило топографическое картирование. Компьютер создает цифровые карты с учетом технико-экономических заключений о состоянии почвы, сельскохозяйственной продукции и производства; данных о типе почв, условиях питания растений, распределении воды, распространении болезней и других поражающих растения факторов, наличии сорняков, рельефе земли, поверхностном дренаже, а также метеорологических данных.

Эти исходные данные контролируются с непосредственной оценкой. Факторы, способствующие росту растений, действуют в требуемое время управляемым образом с учетом данных картирования земли.

Согласно концепции сенсорного земледелия сельскохозяйственная техника оснащается системами управления, действующими на основе учета данных сенсорных систем. Фактически сенсорное земледелие является составной частью точного земледелия, в котором системы управления действуют на основе учета данных сенсорных систем, которые привязываются к местности благодаря использованию навигационных спутниковых систем.

В точном земледелии основными объектами сенсорного контроля являются неоднородности на полях, к которым относятся многие свойства почвы и сельскохозяйственных культур, которые могут варьироваться на разных полях или на разных участках одного и того же поля, в частности, такие как:

- неровности поверхности почвы;
- текстура (содержание песка, ила, суглинка и глины) и рН верхнего слоя почвы и подпочвенного слоя;
- содержание в почве воды, органических веществ, различных минералов;
- плотность и морфология сельскохозяйственных культур;
- содержание в сельскохозяйственных культурах воды и различных минералов;
- засоренность посевов различными сорняками и вредителями.

Для интеллектуальной обработки многомерных массивов информации об объектах производственного процесса в растениеводстве необходимо применять специализированные программно-аппаратные средства.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте механизации сельского хозяйства разработан блок контроля состояния растений по следующим основным параметрам производственного процесса: температура почвы, влажность почвы, температура воздуха, влажность воздуха и освещенность. Кроме того, в блоке предусмотрена возможность контроля сокодвижения, концентрации  $\text{CO}_2$ , капельной влаги на листе и роста плодов.

Стандартный комплект сенсоров для оценки параметров жизнедеятельности растений, установленный в данном блоке, включает:

- датчик температуры почвы;
- датчик температуры окружающего воздуха;
- датчик влажности почвы аналогового типа;
- датчик освещенности;
- дисплей, встроенный в герметичный корпус блока.

Основой для разработки программных модулей функционирования блока служат алгоритмы адаптации сигналов датчиков к произ-

водственным условиям и сопоставления полученных данных. Основой оптимизационной модели, заложенной в работу блока, служит модель определения возможных потерь урожая. Для определения потерь урожайности, вызванных отклонением факторов погодных-климатических условий от их оптимальных значений, используются сигналы от датчиков программно-аппаратной части блока: температуры воздуха и влажности почвы.

Разработанный блок контроля состояния растений является составной частью интеллектуальной системы управления производственными процессами, которая позволяет вырабатывать рекомендации по корректировке технологий возделывания в системе «растение – окружающая среда – урожай» с учетом возможности получения экологически безопасной продукции.

**Сенсорный контроль почвы и растений.** *Контроль топографии почвы.* Влияние топографии почвы на сельскохозяйственные процессы проявляется в разных аспектах. Рельеф поля влияет на стекание воды и, таким образом, на эрозию почвы, что приводит к значительным различиям качества почвы на холмах и в низинах. Неодинаковый наклон разных полей или разных участков поля к солнцу (южные и северные склоны) влияет на температуру почвы.

На возвышенных участках содержание нитратного азота в почве превалирует над аммонийным, в то время как в понижениях содержание аммонийного азота выше, чем нитратного из-за большего анаэробного и редукирования нитратов, мигрирующих с внутрипочвенным стоком в пониженные местоположения. Кроме того, в почве пониженных участков отмечается большее содержание подвижного фосфора.

Результатирующее влияние особенностей рельефа на рост растений может быть весьма существенным. Указанные закономерности позволяют использовать результаты топографической съемки полей для априорного выявления контуров плодородия.

Современная техника для контроля и регистрации топографии широко автоматизирована и включает такие сенсорные методы, как:

- радарная интерферометрия (сравнение фаз и амплитуд исходящего и отраженного излучения спутникового радара);
- лазерное, ультрафиолетовое, видимое или инфракрасное излучение со спутника или авиационной платформы и его отражение (время прохождения);
- инерционное геопозиционирование путем регистрации линейных или вращательных ускорений на движущемся транспортном средстве;
- кинематическое геопозиционирование в реальном времени посредством навигационных спутниковых систем (RTK-GPS).

*Контроль свойств почвы.* Естественные свойства почвы, такие как текстура, содержание воды, органических и минеральных веществ,

кислотность, соленость влияют на урожайность. Знание характера пространственного распределения этих свойств способствует управлению операциями культивирования, посева, внесения удобрений и защитной обработки дифференцировано на каждом участке поля.



Рисунок 2.16 - Оборудование для точечных измерений рН почвы с использованием ручного зонда (а) и точечного мониторинга матричного потенциала почвенной влаги и температуры почвы (б)

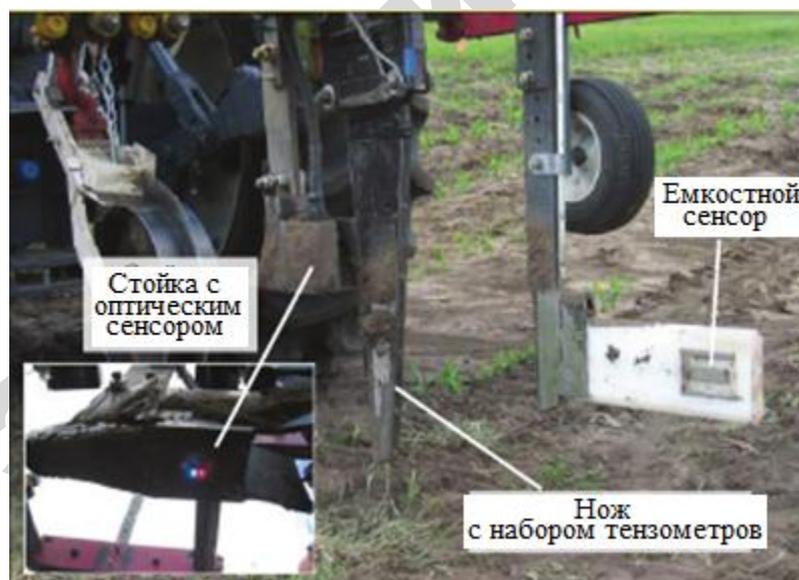


Рисунок 2.17 - Система картирования физических свойств, состоящая из механических, электрических и оптических сенсорных компонентов

Существуют различные типы систем сенсорного контроля свойств почвы. Так, в университете г. Линкольна (США) разработан ручной зонд для локальных измерений величины рН почвы или активности ионов (например,  $\text{NO}_3^-$  или  $\text{K}^+$ ) на заданной глубине (рис. 2.16, а), а также модуль для беспроводного мониторинга матричного потенциала почвенной влаги и температуры почвы на четырех глубинах с 15-минутным интер-

валом (рис. 2.16, б). Кроме того, в этом же университете создана интегрированная система картирования физических свойств почвы, которая определяет диэлектрические свойства почвы с помощью емкостного сенсора для обеспечения улучшенной расшифровки значений механического сопротивления почвы, полученных с помощью оснащенного тензодатчиками ножа, и измерений оптической отражательной способности почвы, выполненных с использованием набора фотодиодов (рис. 2.17). На практике эта система может использоваться для учета пространственного варьирования влажности почвы и содержания органического вещества, а также плотности почвы.

Фирмой Veris Technologies (США) производится передвижная сенсорная платформа (рис. 2.18), которая объединяет в себе устройства по автоматическому измерению и картированию удельной электропроводности и рН почвы, работающие с приемником навигационной спутниковой системы сантиметровой точности Trimble AgGPS 442. При использовании такой платформы, исходя из значений рН почвы, отображаются участки поля с кислой почвой, а измерения удельной электропроводности используются для косвенной оценки количества извести, необходимого для повышения рН почвы до требуемого уровня.

Применение навигационных спутниковых систем позволяет получить качественную карту высот поля. Для незасоленных почв объединение информации о рельефе ландшафта с результатами геофизических измерений, таких как удельная электропроводность, дает полезную информацию о пространственном изменении водоудерживающей способности и величины потенциального смыва почвы.



Рисунок 2.18 - Передвижная сенсорная платформа Veris с блоками измерения-картирования удельной электропроводности и рН почвы, оборудованная приемником спутниковой навигационной системы Trimble AgGPS 442



Рисунок 2.19 - Измерение электропроводности почвы контактным методом, система Veris. Правый токовый электрод скрыт за колесом

Электропроводность почвы является одной из наиболее удобных и быстро-определяемых характеристик, позволяющая дать оценку почвенного плодородия (гранулометрический и минералогический состав, гумусированность, рН, влажность, свойства, определяющие почвенно-поглощающий комплекс и ряд других), уточнить расположение границ контуров гетерогенности агрохимических показателей.

Для измерения электропроводности применяются методы, основанные на гальваническом контакте с почвой. Например, при использовании сенсорной системы Veris электрический ток проходит между вращающимися ножами плуга, расположенными в левой и правой частях машины (рис. 2.19). Электропроводность почвы измеряется одной или несколькими парами находящихся под напряжением ножей.



Рисунок 2.20 - Измерение электропроводности почвы с помощью электромагнитной индукции в режиме реального времени в процессе движения

Также для измерения электропроводности применяются методы, основанные на электромагнитной индукции. Электромагнитная индукция имеет место, когда магнитное поле пересекает электрический проводник. В данном случае проводником является почва. Прибор, генерирующий первичное магнитное поле, движется на определенном расстоянии над почвой (рис. 2.20). Сенсор EM 38 фирмы Geonics (Канада) может двигаться на салазках, на тележке или перемещаться вручную. Для предотвращения помех от металла его следует размещать на неко-

тором расстоянии от транспортного средства. Скорость перемещения и емкость участка площади могут быть приблизительно такими же. Следует, заметить, что если контактные методы используют электрический ток, который является постоянным, то электромагнитные индукционные методы используют переменный ток с килочерцовой частотой.

Свойства почвы на поверхности контролируются по отражательной способности. Контроль проводится по отраженному видимому или инфракрасному излучению. Сигналы исходят от поверхности, которая может быть верхней частью поля или поверхностью в вертикальном сечении почвы, раскрываемой культивирующим орудием.

Такие свойства почвы, как электропроводность, наличие органических веществ, глины и катионообменная емкость сохраняются в течение длительного времени. Поэтому эти свойства удобно регистрировать с одновременным геопозиционированием на одной и той же карте или ряде карт и, таким образом, сочетать соответствующие сенсоры в одной машине (рис. 2.21).

Проблемные участки на поле (недостаток питательных веществ, уплотнение почвы, проблемы с дренажем и наличие сорняков) можно определять с помощью программы EASY (блок EASY on farm) фирмы Claas. С ее помощью также анализируются электронные карты урожайности, карты проб почв, влажности, создаются карты для дифференцированного внесения удобрений.



Рисунок 2.21 - Одновременное картирование коэффициентов отражения излучения ближней инфракрасной части спектра в нижней части культиватора и электропроводностей контактным методом

*Контроль свойств растений.* Контроль свойств сельскохозяйственных культур проводится по коэффициенту отражения видимого или инфракрасного излучения. Таким способом можно оценивать концентрацию хлорофилла в листьях, а также индекс листовой поверхности (отношение поверхности листьев к поверхности почвы). Производство концентрации хлорофилла в листьях и индекса листовой поверхности дает значение содержания хлорофилла на единице площади поля. Регистрация этого критерия многократно в течение сезона обеспечивает надежные оценки

потенциала урожая на конкретном участке с учетом предшествовавших условий роста.

Коэффициент отражения инфракрасного излучения, а также тепловое излучение могут использоваться для получения информации о снабжении водой сельскохозяйственных культур на конкретном участке. По обратному рассеянию волн радара можно получать информацию о биомассе, индексе листовой поверхности и особенно о разновидностях сельскохозяйственных культур для классификации растительности в пределах больших сельскохозяйственных районов.

Ближняя регистрация, осуществляемая непосредственно с сельскохозяйственных машин, позволяет проводить контроль с конкретных участков в реальном времени. С другой стороны, удаленная регистрация со спутников удобна для многократного контроля полей или больших площадей в течение периода роста.

В случае контроля с машин используются приборы, осуществляющие дифференцирование почвы и растений, и таким образом, позволяющие проводить капельное распыление (рис. 2.22). Эта техника может быть полезна для контроля сорняков в засушливых сельскохозяйственных районах, где не хватает воды, необходимой для кругооборота в течение длительного периода в паровой системе земледелия, когда сорняки должны уничтожаться. По сравнению с опрыскиванием всего поля это позволяет существенно сберечь гербициды и, таким образом, уменьшать их воздействие на окружающую среду.



Рисунок 2.22 - Консоль разбрызгивателя с оптическими сенсорами для капельного опрыскивания сорняков на невозделанном поле

Фирмы Claas и John Deere разработали прибор для измерения параметров кормовых культур, который с помощью коротковолновой инфракрасной спектроскопии и точно установленных калибровочных кривых позволяет во время уборки в режиме реального времени наряду с влажностью определять содержание таких веществ как сахар, крахмал, протеин, целлюлоза, гемицеллюлоза и зола. В результате можно получить информацию для торговых расчетов по качественному принципу и

рекомендации по технологии производства, оптимизировать процессы силосования и брожения.



Рисунок 2.23 - Сенсор контроля потребности растений во влаге в полевых условиях, размещаемый на листьях растений

В Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси предложен метод контроля потребности растений во влаге в полевых условиях с помощью специальных сенсоров, размещаемых непосредственно на листьях растений (рис. 2.23). Сенсор деформирует зеленый лист, и, анализируя степень этой деформации, микропроцессор определяет упругость растительной ткани, обусловленную внутриклеточным давлением воды. Полученные данные передаются по радиоканалу на компьютер, который рассчитывает, насколько удовлетворена потребность растения во влаге. При этом также можно оценить степень снижения интенсивности фотосинтеза и, следовательно, недобор урожая в сравнении с условиями идеального водоснабжения растения.

**Техника для предпосевной обработки почвы.** Предпосевная обработка почвы включает совокупность процессов механического воздействия на почву, выполняемых с целью подготовки почвы под посев сельскохозяйственных культур. Одним из основных процессов предпосевной обработки почвы является культивация – рыхление обработанной почвы (без оборачивания) с подрезанием сорняков. В результате культивации на поверхности почвы создается рыхлый слой, препятствующий капиллярному поднятию влаги и интенсивному ее испарению с поверхности почвы, выравнивается ранее вспаханный грунт, подрезается корневая система сорняков. Как следствие, улучшается воздушный и водный режим почвы, активизируется деятельность почвенных микроорганизмов, создаются благоприятные условия для прорастания семян культурных растений.

В точном земледелии культивация проводится с учетом особенностей свойств почвы на конкретных обрабатываемых участках поля, а также с учетом тех практических задач, которые решаются при проведении культивации.

При первичной культивации, основной задачей которой является предварительное разрыхление почвы, важно обеспечить контроль глубины обработки с конкретных участков. Соответствующие сигналы контроля могут быть производными от содержания в почве глины и органических веществ, поскольку оно влияет на гидроморфные свойства почвы и, следовательно, на выбираемую глубину культивации. Роль таких сигналов может также играть сопротивление почвы проникновению в нее рабочих органов культиватора, однако это приемлемо только для твердого подпочвенного слоя и не пригодно для верхнего слоя почвы, поскольку его состояние сильно зависит от содержания воды.

При вторичной культивации основной задачей является измельчение комков ранее вспаханной земли. В этом случае сигналы контроля с конкретных участков могут быть получены от сил, действующих на воспринимающие нагрузку рабочие органы (зубья) культиватора. При этом для соответствующих параметров управления могут быть обеспечены стандартные отклонения этих сил.

**Посевная техника.** В точном земледелии при проведении посевных работ важно обеспечить управление плотностью и глубиной высева по конкретным участкам поля с учетом соответствующих данных контроля этих параметров.

Контроль плотности высева по конкретным участкам может основываться на картах текстуры почвы. Плотность высева растет при переходе от песчаных почв к илистым и жирным почвам и падает на глинистых почвах. Таким образом, с учетом текстуры почвы можно обеспечить либо увеличение урожая, либо уменьшение расхода семян.

Контроль глубины посева по конкретным участкам базируется либо на текстуре почвы, либо на содержании воды в почве. В районах с морским климатом и, следовательно, с частыми дождями контроль на основе текстуры почвы является предпочтительным. Такой контроль можно реализовать, используя карты текстуры и регулируя глубину действия разрыхлителя при его движении с помощью ультразвукового дистанционного сенсора. На участках с континентальным климатом и, следовательно, с более длительным засушливым сроком вполне приемлемым является контроль на основе содержания воды в почве. При этом работа системы контроля влажности почвы, с помощью которой регулируется глубина высева при засухе, основывается на измерении коэффициента отражения инфракрасного излучения или электропроводности.

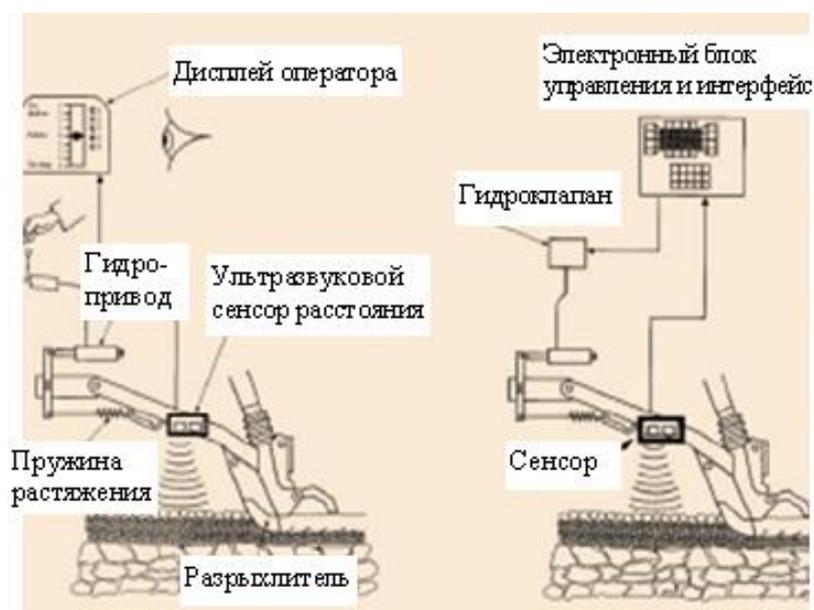


Рисунок 2.24 - Схемы использования датчиков расстояния для ручного (слева) или компьютерного (справа) управления глубиной высева

Точное управление глубиной высева является важным фактором обеспечения однородного прорастания и последующего роста растений по всему полю. Это, в свою очередь, существенно для обработки всех растений на одной и той же стадии роста химикатами и, таким образом, для получения высокого урожая.

Обычно глубина высева зависит либо от давления, с которым высевающий сошник действует на почву, либо от высоты салазок или колес, которые прикреплены к разрыхлителю тяжеловесного посевного оборудования. Регулирование давлением используется только для некоторых машин объемного дозирования. Глубина проникновения разрыхлителя контролируется с помощью ультразвуковых волн, которые излучаются миниатюрными сенсорами, закрепленными на рычаге разрыхлителя. Время, требуемое для того, чтобы вертикально ориентированные ультразвуковые волны вернулись к сенсору, определяет расстояние рычага разрыхлителя над землей и, таким образом, реальную глубину высева (рис. 2.24).

В последние годы предложен ряд новых технических подходов к обеспечению точного высева семян.

Компания Alois Pottinger Maschinenf (Германия) разработала комбинированную сеялку точного высева модели PCS, оснащенную сенсорными контрольными датчиками продольного распределения семян и регистратором пропусков или дублирования семян.

Фирма Amazone разработала сеялку EDX 6000-T с системой точного высева и заделки семян Xpress (рис. 2.25). Достоинством этой системы является модульное разделение высева и заделки семян. Точная пневматическая подача семян проводится на восемь рядов центральным

высеивающим барабаном через шланг в сошник под давлением. Пластиковый приемный диск мягко (без риска повреждения) принимает и заделывает семя в борозду, которая выполняется с прямоугольной формой, что обеспечивает оптимальную заделку семян на любой почве.



Рисунок. 2.25 - Сеялка EDX 6000-Т с системой высева и заделки семян Хресс фирмы Amazon  
 1 – центральный дозатор, 2 – высеивающий барабан, 3 – опорный диск,  
 4 – сошник с каналом подачи посевного материала, 5 – приемный диск,  
 6 – прижимной диск

Настройка и регулировка нормы высева осуществляются при помощи бортового компьютера, управляющего высеивающим барабаном с электрическим приводом.



Рисунок 2.26 - Сеялка Centurion-600 с системой регулировки заглубления культиваторных дисков

Отклонение от заданной глубины заделки семян в почву на  $\pm 10$  мм приводит к потере до четверти урожая. Поэтому сеялки с дисковыми

сошниками оборудуют прикатывающими катками для повышения равномерности заделывания семян по глубине.

Фирма Great Plains (США) разработала систему регулировки заглубления культиваторных дисков сеялки Centurion, которая позволяет автоматически возвращаться к заданной глубине работы и обеспечивает точный контроль заглубления (рис. 2.26). Под бункером находятся три высокоточных датчика веса материала: два датчика – сзади и один – впереди. Они автоматически распределяют вес бункера на боковые секции с помощью гидравлики, что обеспечивает равномерное заглубление рабочих органов по всей ширине орудия.

Компания Vaderstad (Швеция) выпустила сеялку точного высева Tempo T, оснащенную системой посева, в которой посевной материал выстреливается сжатым воздухом в борозду для укладки семян. Эта система делает машину невосприимчивой к вибрациям и положению на склонах. Центр управления сеялки приводится в действие автоматически и обеспечивает возможность упрощенной калибровки и изменения количества посевного материала во время работы. Благодаря возможности калибровки каждого рядка в отдельности и наличию сенсора на каждом рядке могут быть посеяны различные сорта культур без снижения точности. Дозировка высеваемых семян осуществляется электрическими приводами. После завершения посева в рядке внесение посевного материала прекращается – данная функция сеялки получила название Row off control (контроль отключения пунктирного сева). Сеялка Tempo T выпускается в многорядном исполнении и используется для посева кукурузы, подсолнечника, сои и других сельскохозяйственных культур.

Фирмой Amazone создана высокопроизводительная пунктирная сеялка с оригинальной системой разъединения семян. Отличительным признаком этой машины является пневморазделитель семян с регулируемыми устройствами, которые предотвращают «спаривание» семян. Перемещающиеся по гибкому пластиковому шлангу семена под действием воздушного потока с большой скоростью выстреливаются и попадают в пластиковый ролик-уловитель конструкции, который аккуратно, без повреждений фиксирует каждое зерно и плотно вдавливают его в борозду. Машина позволяет увеличить рабочую скорость посева до 15 км/ч, что почти в два раза больше, чем на традиционных пунктирных сеялках.

Фирмой MSO Messtechnik und Ortung (Германия) предложена система посева Seedector, которая базируется на новом техническом решении анализа материалопотоков с помощью радарной техники. Регистрируя отражение посылаемых микроволн от движущегося потока семян или от отдельного зерна, можно измерять пропускной объем или вести подсчет зерен. Такая сенсорная система может применяться в сеялках для контроля блокировки семяпроводов, проверки отключений или измерений повторной укладки семян в режиме реального времени.

Предложенная измерительная система отличается простотой и гибкостью конструкции, компактностью, невысокой стоимостью и нечувствительностью к загрязнениям. Эти преимущества по сравнению с аналогичными оптическими решениями, создают для радарной технологии значительный потенциал использования в сельхозтехнике, например, в пневматических сеялках, а также разбрасывателях удобрений.

**Техника для полива и орошения.** Оптимальное обеспечение растений водой является обязательным условием получения высоких урожаев, особенно в орошаемой земледелии. С другой стороны, возрастающая потребность в воде требует существенного повышения эффективности орошения, чтобы сберечь становящуюся во всем мире все более дефицитной пресную воду.

Содержание воды является одним из наиболее непостоянных во времени свойств почвы: оно может резко увеличиваться в течение нескольких часов из-за дождя и уменьшаться в течение нескольких дней во время засушливого периода. Для повышения урожайности можно применять карты водной обстановки, однако одна и та же карта вряд ли будет применима в течение длительного времени. Несмотря на это, такие карты могут быть пригодными для использования в тех случаях, когда существует значительная потребность в точных знаниях о временном содержании воды в почве, например:

- когда культивация должна проводиться регулярно, поскольку требуемое измельчение крупных комков земли, а также предотвращение их уплотнения под весом сельскохозяйственных машин зависит от содержания воды в почве;

- когда требуется выбрать определенное, наиболее подходящее время для посева и определить глубину высева с учетом того, что семена могут всплыть на поверхность воды;

- когда орошение проводится в плановом порядке на конкретных участках поля.

Сельскохозяйственные растения извлекают наибольшую часть воды из слоя почвы глубиной в 30 см. Если вода, подаваемая в почву в процессе орошения, оказывается в более глубоком слое почвы, то она остается там практически неиспользуемой растениями и может просто просачиваться вглубь, захватывая с собой растворенные химикаты, которые загрязняют грунтовую воду.

Для сохранения в почве воды и во избежание нежелательного вымывания минеральных веществ и пестицидов следует проводить непрерывный мониторинг влажности верхнего слоя почвы в сочетании с управляемым орошением.

Существующие методы контроля водной обстановки на конкретных участках поля, осуществляемого в процессе движения транспортных средств, сводятся к контролю диэлектрической проницаемости, электри-

ческой емкости и отраженного инфракрасного излучения. Измерение диэлектрической проницаемости и электрической емкости проводится в пределах объема почвы, в то время как инфракрасное излучение регистрируется на поверхности почвы.



1 – приемник; 2 – передатчик.

Рисунок 2.27 - Контроль поверхностной отражательной способности почвы с использованием радара

Метод контроля воды в почве по диэлектрической проницаемости является весьма привлекательным для точного земледелия, если он реализуется во время обычных сельскохозяйственных работ, т.е. непосредственно в процессе движения сельскохозяйственных машин. Процесс измерения коэффициента отражения земной поверхностью направленного на нее излучения радара с наземного транспортного средства показана на рис. 2.27. Частота излучения составляет 500 МГц. Эта частота ниже обычного диапазона, используемого спутниками. Пониженная частота, т.е. более длинные волны излучения приводит к увеличению глубины контроля почвы, которая достигает 12 см.



Рисунок 2.28 - Схема емкостного контроля на кончике зуба культиватора.

Вставка вверху слева – вертикальное сечение сенсора.

Частота электрического тока 100 ГГц

Метод контроля воды в почве по электрической емкости, проводимого в процессе движения сельскохозяйственных машин, требует галь-

ванического контакта с почвой подобно методу электропроводности (см. рис. 2.19). Однако, в противоположность контролю электропроводности, при контроле электрической емкости положительный и отрицательный электроды устанавливаются очень близко друг к другу, например, в пределах одного и того же зуба культиватора. Два электрода – латунный конус и металлическое кольцо – образуют наконечник зуба культиватора (рис. 2.28). Они разделены изолятором. Почва, окружающая зуб, является частью конденсатора. Контроль осуществляется измерением сопротивления электрическому току внутри конденсатора.

Фирмой John Deere предложен инновационный подход к созданию интеллектуальных ирригационных систем для рядковых сельскохозяйственных культур (например, кукурузы). Такая система позволяет планировать и регулировать специфическое для конкретного участка поля и конкретных растений орошение, основанное на измеренных в реальном времени показателях влаги в почве. Эти показатели по беспроводной связи передаются на компьютер в офисе сельскохозяйственного предприятия и визируются с помощью экспертной онлайн-системы. Предлагаемое фирмой комплексное решение включает в себя:

- высокоточную прокладку капельных шлангов, управляемую через RTK-систему, представляющую собой совокупность методов получения координат и высот точек местности сантиметровой точности с помощью спутниковых навигационных систем;

- специальный датчик влажности почвы для измерения содержания воды в разных слоях почвы;

- устройство беспроводной передачи данных (наряду с влажностью почвы и температурой воздуха, количество осадков, количество солнечных часов и т.д.);

- набор капельных шлангов (по выбору) для точного распределения воды;

- головную станцию с адаптированными друг к другу компонентами (насосы, вентили, фильтры и пр.).

Данная система обеспечивает эффективное использование воды, питательных веществ, энергии и затрат труда при орошении с одновременным внесением удобрений. Управляемая через RTK-систему и документированная соответствующим образом прокладка капельных шлангов, кроме того, обеспечивает бесперебойную работу машин для обработки почвы и посева между проложенными в земле шлангами без их повреждения.

Система управления ирригацией на основе GPS с беспроводной связью, разработанная фирмой Comer Industries, обеспечивает полную автоматизацию процесса ирригации на участках любой формы, причем имеется возможность преодоления преград любого типа. Это достигается за счет автоматического управления дождевальными установками

при непрерывном сопоставлении данных о местоположении установки и ее рабочих параметров с учетом влияния ветра.

**Техника для внесения удобрений.** В сельском хозяйстве на сегодня нет более эффективного и оперативного способа сохранения плодородия почв и повышения урожайности, чем внесение минеральных удобрений. Однако эффективность применения минеральных удобрений в значительной степени снижается из-за недостаточной равномерности их распределения по площади, обусловленной не только конструктивно-технологическими недостатками машин для внесения удобрений, но и использованием способа внесения усредненной дозы удобрений на все поле без учета внутрипольной вариабельности параметров исходного распределения их на разных участках поля. Для решения этой проблемы необходимо обеспечить внесение удобрений на одном и том же поле дифференцированно, с учетом исходного содержания их на каждом конкретном участке поля.

О наличии большой внутрипольной неоднородности распределения питательных веществ в почве свидетельствуют представленные на рис. 2.29 в качестве примера результаты агрохимического анализа содержания в ней азота.

Для того чтобы вносить удобрения в почву наиболее рационально, следует обеспечить контроль содержания питательных веществ в почве.

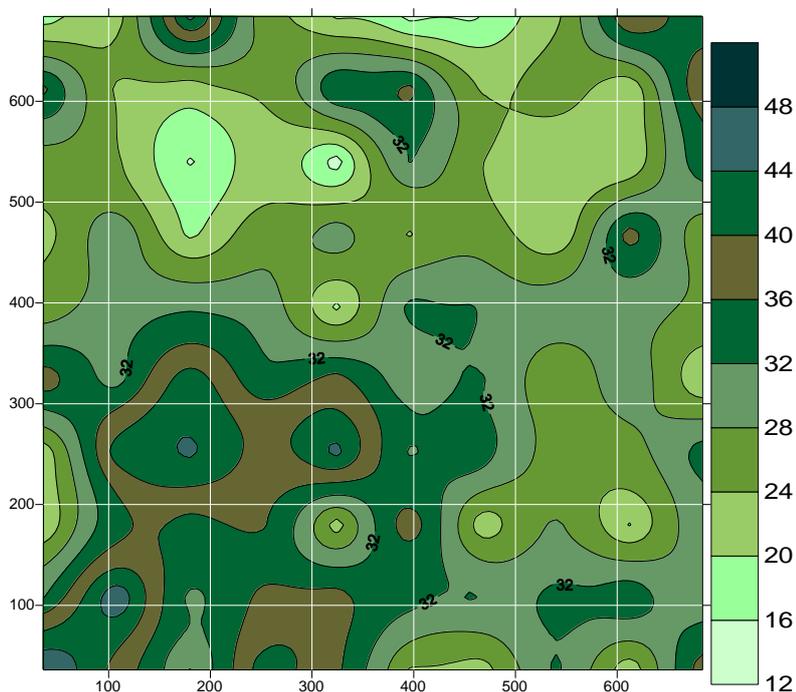


Рисунок 2.29 - Картграмма распределения нитратного азота в поле

Существующие методы контроля питательных веществ, которые традиционно применяются в почвенных лабораториях, нацелены на моделирование влияния их содержания в почве на урожай. При этом необходимо учитывать возможности измерения состояния почвы и растений

во времени, например, изменение длины корней по мере роста растений. В связи с этим для более эффективного управления внесением удобрений следует проводить своевременный сенсорный контроль состава почвы.

Обычно в большинстве случаев свойства почвы и урожая различны для разных полей или разных участков одного поля. Проблема состоит в том, чтобы найти сенсорные методы, которые обеспечивают контроль внесения удобрений на конкретные поля или участки поля.

Возможные подходы для решения этой проблемы:

- регистрация урожая предыдущих посевов и извлеченных из них питательных веществ;
- электрохимическое индицирование питательных веществ в почвах ионоизбирательными электродами;
- контроль питательных веществ в почве и урожае с помощью методов оптического отражения.

Лучший выбор зависит от многих факторов, таких как, например, тип питательных веществ, свойства почвы, свойства урожая и климат. Последний из перечисленных методов – контроль по оптическому отражению – можно использовать для машин, находящихся вблизи от фермы или на удалении – с помощью спутников, когда облака не перекрывают излучение. Контроль внесения азотных удобрений для машин, находящихся вблизи от фермы, является более распространенным.



Рисунок 2.30 - Оборудование Veris для одновременного контроля рН и электропроводности почвы

**рН почвы.** Показатель кислотности рН является критерием состояния почвы, который необходимо учитывать при установлении видов и доз вносимых удобрений. Важный вопрос контроля рН в естественно влажных почвах – приготовление образцов почвы. Традиционная процедура стационарного контроля в лабораториях посредством ионоизбирательных электродов основана на использовании растворов или суспензий образцов почвы. Процедура контроля непосредственно с транспортного средства в процессе движения является более простой и

удобной, но она может выполняться, если образцы естественно влажной почвы могут быть непосредственно измерены сенсором. При этом контроль почвы сам по себе предполагает, что ее влажность изменяется в некоторых пределах. Она может изменяться от поля к полю или от участка к участку в пределах поля, а также во времени.

Соответствующее оборудование для контроля, производимое фирмой Veris Technologies, показано на рис. 2.30. При контроле рН колodka для отбора проб (вставка вверху справа) периодически опускается в почву и при поднятии вталкивает образец естественно влажной почвы напротив ионоизбирательных электродов. После этого электроды промываются водой. Остатки растений (если они есть) удаляются очистительным устройством. Калибровка электродов является существенной для точного контроля. Оборудование обеспечивает регистрацию рН на образцах естественно влажной почвы через периоды около 10 с. Это означает, что при скорости перемещения 2 м/с (7,2 км/час) и расстоянии между поперечными разрезами 20 м регистрация обеспечивается для последовательных участков площадью 400 м<sup>2</sup>. При этом пространственная разрешающая способность оказывается в 25 раз лучше по сравнению с обычным методом получения образцов для анализа в специальных лабораториях.

Особый практический интерес представляет сенсор фирмы Biocover A/S (Дания), который контролирует показатель рН в навозе, вывозимом на поля, давая тем самым возможность управлять внесением азотсодержащих веществ и добиваться максимальных результатов при использовании органических удобрений.

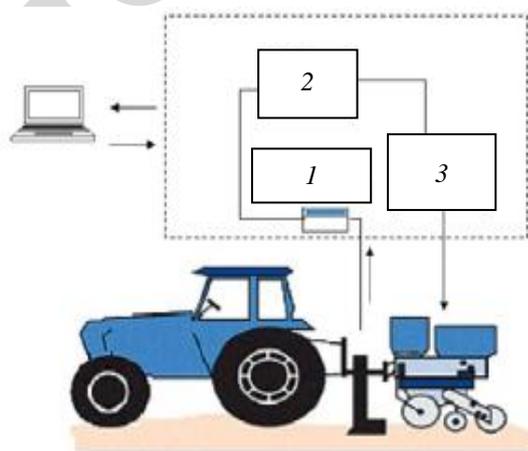


Рисунок 2.31 - Схема контроля фосфора на конкретных участках плоской поверхности при движении машины во время посева:

- 1 – сенсорное устройство, 2 – программа обработки спектров,  
3 – контроль фосфора во время посева

**Фосфорные удобрения.** Фосфор присутствует в почве в виде различных соединений, особенно в фосфатах кальция, алюминия и железа. Эти фосфорные соединения определяют свойства естественной почвы, кроме того, часть фосфорных соединений попадает в почву при внесении удобрений. В умеренно кислых, а также в щелочных почвах доминируют фосфаты кальция. Когда рН почвы понижается, доля фосфатов алюминия и железа увеличивается. Все фосфорные соединения имеют различный оптический спектр, поэтому они могут довольно легко и точно контролироваться спектральным методом. Этот метод контроля фосфора по видимому и ближнему инфракрасному спектру перешел из лаборатории в поле, где он применяется как метод контроля с привязкой к конкретным участкам (рис. 2.31). Спектральное облучение переносится оптоволоконным кабелем к участку почвы, сглаженному лапой культиватора. Второй оптоволоконный кабель ведет отраженное от почвы излучение к спектрометру.

**Калийные удобрения.** Калий присутствует в почве в основном в виде силикатов или абсорбированных ионов частиц глины, его количество может сильно изменяться с изменением текстуры почвы. На качество питания растений могут оказывать влияние даже весьма незначительное количество ионов калия, находящихся в водных растворах в почве. Эти ионы обычно выявляются по коэффициенту отражения инфракрасного излучения при выполнении лабораторного почвенного анализа. Методы контроля содержания калия в почве на разных участках поля непосредственно при выполнении полевых работ до сих пор не получили должного развития.

**Азотные удобрения.** Азот играет ведущую роль в увеличении зеленой массы растений, и как следствие – урожая. Степень обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом является главным условием, определяющим среднюю высоту растительного покрова.

На рис. 2.32 показаны три системы управляемого внесения азотных удобрений при движении машины, основанные на контроле свойств сельскохозяйственных культур на конкретных участках: Kiel-система, DLR-система и Bornim-система (все системы разработаны в Германии). Kiel-система (University of Kiel) основана на контроле коэффициента отражения видимого и ближнего инфракрасного излучения растительным покровом. DLR-система (DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt / German Aerospace Center), основана на контроле флуоресценции хлорофилла в растениях. Наконец, Bornim-система (Bornim Institute of Agricultural Engineering) основана на контроле отклонения маятника, который тянется по верхней части растительного покрова. При использовании Bornim-системы маятник устанавливается перед трактором (рис. 2.33).

Угол наклона маятника к вертикали, определяемый потенциометром, зависит от сопротивления растительного покрова изгибам, которое, в свою очередь, определяется величиной биомассы растений. Учет корреляции между углом наклона маятника и биомассой сельскохозяйственных культур лежит в основе применяемых методов управления внесением удобрений на конкретные участки поля (на этом же принципе реализуются и методы распыления фунгицидов).

Принцип действия Wornit-системы в определенной мере характерен и для системы управляемого внесения азотных удобрений, основанной на контроле высоты растений, поскольку по высоте растений, также как и по сопротивлению растительного покрова изгибам, можно судить о величине биомассы растений. Наблюдаемая высота растений контролируется ультразвуковым преобразователем. Этот метод контроля основан на дистанционной регистрации и работает подобно хорошо известному методу, применяемому как вспомогательное средство для водителя при парковке автомобиля. Ультразвуковой преобразователь, который направлен вертикально вниз от передней стойки транспортного средства, одновременно может определять расстояние и к поверхности почвы, и к верхней части растительного покрова. Благодаря разности этих расстояний он может контролировать высоту растений, которая коррелирует с их биомассой.

Ряд технических подходов к созданию систем управления внесением азотных удобрений при движении машины с использованием сенсорных систем предложен фирмами Amazone, Agri Con, WTK Elektronik и Fritzmeier (Германия). Применяемые сенсоры анализируют сразу несколько визуальных параметров, включая цвет растений, густоту посевов и т.д., учет которых помогает определить характер и степень развития возделываемых культур и точно вносить удобрения.

**Разбрасыватели удобрений.** Ведущие производители разбрасывателей минеральных удобрений предлагают усовершенствованные системы управления, позволяющие учитывать вид удобрений, дозировку и трехмерный шлейф разбрасывания на основе расчета картины разбрасывания. В разбрасывателях находят все большее применение базирующиеся на GPS автоматические системы дозированной подачи удобрений с учетом характеристик обрабатываемых участков поля и особенностей движения машины.

Фирма Rauch (Австрия) разработала систему управления Spread Control для дискового разбрасывателя удобрений, которая обеспечивает автоматизацию и одновременно оптимизацию открывания и закрывания дозирующих задвижек на поворотных полосах и клиньях (рис. 2.34). Система позволяет производить расчет оптимальных положений переключения в зависимости от доз и вида минеральных удобрений, а также с

учетом картины пространственного распределения удобрений из-за их аэродинамических свойств.

Таким образом, разработанная система не зависит от неточных, основанных на личном опыте тракториста данных по включению и отключению дозирующих щитков. Вместе с тем она создает базу для оптимального распределения удобрений на клиньях поля (посегментное подключение ширины захвата) при несоответствующей колее ширине захвата или кривых колеях. Благодаря оптимальным точкам переключения в поле становится возможным сэкономить удобрения, избежать чрезмерного или недостаточного внесения удобрений, повысить качество и сберечь окружающую среду.

Фирма Amazone разработала систему контроля WindControl для компенсации воздействия ветра при использовании центробежных разбрасывателей. Разбрасыватель оснащен метеостанцией, регистрирующей силу и направление ветра в каждый конкретный момент в зоне шлейфа разбрасывания. Переключающий механизм, управляемый компьютерной программой, изменяет число оборотов разбрасывающих тарелок и точку подачи на них удобрений с учетом различия используемых видов удобрений по размерам гранул.

На основе измеренных метеостанцией данных в процессоре рассчитываются необходимые корректировки и производятся соответствующие регулировки разбрасывающего механизма разбрасывателя, в результате чего достигается стабильное поперечное распределение удобрений даже при воздействии ветра.

**Опрыскиватели.** Фирмы, производящие опрыскиватели, постоянно вносят в конструкцию машин различные интеллектуальные системы, повышающие эффективность из работы.

Фирмой John Deere предложен ряд технических решений по совершенствованию прицепных опрыскивателей, способствующих росту производительности, минимизации ошибок оператора, снижению затрат и защите окружающей среды на всех стадиях процесса опрыскивания – от заполнения емкостей и разбавления химических удобрений водой до собственно опрыскивания.

В том числе разработаны счетчик резервуара Sprayer Pro и технология разбавления Auto Dilute, благодаря чему стало возможным более точно заполнять опрыскиватель водой и удобрениями, опрыскивать посеы и разбавлять остатки удобрений.

Счетчик Sprayer Pro, используя систему GPS навигации, автоматически контролирует главный клапан управления штангой опрыскивателя и отдельные клапаны на каждую секцию, отключая и включая секции по мере того, как эти секции оказываются востребованными для работы или наоборот.

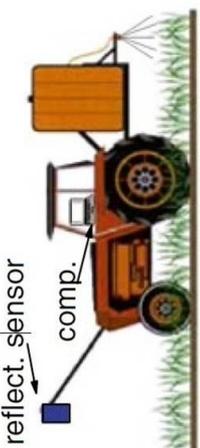
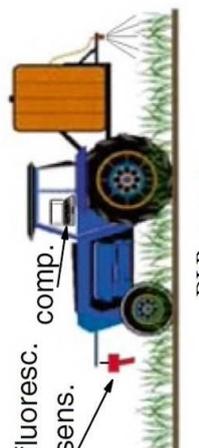
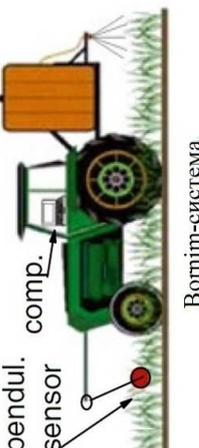
Система	Физические критерии	Физические критерии
 <p>Kiel-система</p>	<p>Длины волн видимого и ближнего инфракрасного излучения, отражаемого растительным покровом</p>	<p>Концентрация хлорофилла в листьях + индекс листовой поверхности</p>
 <p>DLR-система</p>	<p>Флуоресценция хлорофилла, растений, индуцируемая лазерным излучением</p>	<p>Концентрация хлорофилла в листьях + площадь растительного покрова</p>
 <p>Voimim-система</p>	<p>Угол отклонения маятника, который тянется по верхней части растительного покрова</p>	<p>Растительная масса, Устойчивость урожая к полеганию</p>

Рисунок 2.32 - Системы для внесения азотных удобрений на конкретные участки, основанные на использовании сенсоров



Рисунок 2.33 - Контроль сопротивления покрова злаковых культур изгибам с помощью маятника, который установлен перед трактором



Рисунок 2.34 - Разбрасыватель удобрений с системой управления Spread Control

Эта функция становится особенно актуальной, когда опрыскиватель приближается к краям поля или к тем его участкам, которые по каким-либо причинам не надо обрабатывать – в таких случаях соответствующая секция автоматически отключается и включается лишь тогда, когда она опять заходит в рабочую зону.

Технология разбавления Auto Dilute контролирует остатки жидких удобрений в опрыскивателе после их применения. В зависимости от вида удобрений, использовавшихся ранее, а также вида культур, которые необходимо опрыскивать далее, оператор может выбрать предустановленное программное меню, позволяющее обеспечить максимально эффективный процесс разбавления удобрений.

Используемая в опрыскивателях система управления в зависимости от интенсивности опрыскивания и размера оставшейся территории способна сама рассчитывать необходимое количество воды для разбавления химикатов, предупреждать оператора, хватит ли ему раствора для обработки всего предстоящего участка, чтобы не возвращаться для дозаправки с полпути.

Фирма Amazone разработала для опрыскивателей систему дистанционного контроля Distance Control. С помощью сенсоров штанга идет точно по поверхности растений, автоматически поднимается на разворотах в конце гона и регулируется по высоте и наклону.

Компания Лемкен предложила встраиваемую в опрыскиватели автоматическую систему ведения пути на основе использования GPS-навигаторов. До начала работы в компьютер записываются очертания обрабатываемого поля. Затем система с учетом особенностей траектории следования машины автоматически включает требуемую часть рабочей ширины распыления жидкости. Таким образом, работа опрыскивателя может быть оптимизирована под различные траектории движения: по прямой или кривой линии, по кругу, по следу последнего прохода.

Компания Berthoud (США) ввела в конструкцию опрыскивателей систему управления Slant Control. Она использует встроенные в штангу ультразвуковые сенсоры, благодаря чему обеспечивается автоматическая

регулировка штанги, в частности, высоты ее расположения от поверхности земли или верхушек растений.

**Техника для химической обработки.** Важным условием получения хорошего урожая является рациональная обработка полей химическими средствами защиты культурных растений – пестицидами (сельскохозяйственными ядохимикатами). Существуют различные виды пестицидов в зависимости от их назначения: они применяются для борьбы с сорняками (гербициды), вредителями (инсектициды, акарициды, зооциды и др.) и болезнями (фунгициды, бактерициды и др.) культурных растений.

Большинство пестицидов – это синтетические органические вещества, обладающие токсичными свойствами. При систематическом применении стойких высокотоксичных пестицидов, особенно в завышенных дозах, происходит загрязнение ими окружающей среды, что приводит к уничтожению полезных насекомых, птиц, рыб, зверей, а также отравлению людей непосредственно пестицидами или продуктами, в которых они способны накапливаться. Поэтому использование пестицидов строго регламентируется законодательством во всех странах.

Существуют нормы расхода пестицидов, под которыми понимаются весовые количества препарата, вносимого на единицу обрабатываемой площади. Эти нормы зависят от концентрации пестицида, способа его применения, а также от вида и возраста растения или от фазы развития насекомого-вредителя.

В зависимости от свойств пестицидов для обработки одного гектара обычно требуется от 0,5 до 2 кг пестицидов в пересчете на активное вещество. Чтобы равномерно распределить такое небольшое количество пестицидов по обрабатываемой площади, их применяют в соответствующей препаративной форме – в виде порошков, эмульсий, растворов, аэрозолей и др.

Обработку сельскохозяйственных культур пестицидами проводят с помощью различных устройств – опрыскивателей, опыливателей и др.

Пестициды при завышенных дозах, несоответствующих способах, сроках и условиях применения вызывают ожог растений, снижение жизнеспособности пыльцы, гибель пестиков и тем самым значительно снижают урожай. Растения могут загрязняться пестицидами, приобретать неприятный запах и вкус, а также накапливать пестициды на поверхности в виде ядовитых остатков, опасных для человека и животных.

При использовании пестицидов в точном земледелии важнейшей задачей является обеспечить их оптимальное распределение на разных участках поля с учетом свойств почвы и особенностей развития растений. Так, дифференцированное внесение гербицидов с учетом внутрипольной неоднородности фитосанитарного состояния посевов обеспечивает снижение расхода гербицидов на 30–70 % и опасности за-

грязнения окружающей среды, повышение окупаемости гербицидов на 70–80 %, получение запрограммированной урожайности сельскохозяйственных культур.

Дифференцированное внесение гербицидов осуществляется использованием одноэтапных технологий в режиме реального времени с помощью сенсорной техники или двухэтапных с помощью цифровых карт, а также комбинации одно- и двухэтапных технологий – сенсорный подход с дополнением данными от цифровых карт.

При двухэтапном подходе предварительно собирается и анализируется исходная информация, составляются электронные карты-задания, которые затем переносятся в бортовые компьютеры опрыскивателей, оснащенных GPS-приемниками. Двухэтапные технологии, благодаря использованию цифровых карт, дают возможность обрабатывать довольно сложную информацию, однако они весьма затратны и продолжительны во времени. Поэтому на практике преимущественное распространение получают одноэтапные технологии дифференцированного внесения гербицидов в режиме реального времени, позволяющие в сжатые сроки проводить борьбу с сорной растительностью.

При одноэтапном подходе информация о состоянии засоренности посевов собирается с помощью различных датчиков. Затем информация обрабатывается с учетом агротехнических требований, заложенных в программу бортового компьютера, и преобразуется в сигналы управления работой сельскохозяйственной машины.

Так, в случае применения гербицидов необходимо контролировать наличие сорняков. Для выявления сорняков используются три вида оптических сенсоров: спектрометры, флуоресцентные сенсоры и цифровые камеры с последующим анализом изображений.

Применение спектрометров основано на способности неповрежденных зеленых растений преобразовывать падающий свет с помощью своих хлорофильных пигментов, которые поглощают преимущественно красный, а также фиолетовый и голубой свет. Только некоторая часть зеленого и большинство ближнего инфракрасного света отражается. Спектральный коэффициент отражения растений имеет минимум в видимой области длин волн и значительно увеличивается в направлении невидимого ближнего инфракрасного диапазона.

Флуоресцентные сенсоры регистрируют флуоресцентное излучение, которое испускают листья зеленых растений после воздействия на них в течение определенного времени обычного светового излучения (флуоресцентное излучение обладает большей длиной волны, чем падающее излучение). Интенсивность флуоресценции сильно зависит от свойств листьев и физиологического состояния растений.

Анализ изображений растений, получаемых с помощью цифровых камер, позволяют довольно просто выявлять и идентифицировать

сорняки, поскольку разные виды сорняков, а также сельскохозяйственных культур могут идентифицироваться и подсчитываться на основе автоматической классификации особенностей их формы. Как правило, сорняки и сельскохозяйственные культуры сегментируются из цифровых изображений в реальном времени с использованием биспектральной видеокамеры, соединенной с системой повышения точности сигналов.

Другой пример – применение фунгицидов. Опыт показывает, что густо растущие растения более восприимчивы к грибковым заболеваниям, чем редкий и плохо развитый растительный покров. Концентрация биомассы варьируется на различных участках поля. В обычной практике фунгициды равномерно распределяются без учета каких-либо различий в густоте растений на разных участках. Но поскольку объектом действия фунгицидов является, прежде всего, поверхность листьев, то логически правильно вносить одно и то же количество фунгицидов на единицу площади поверхности листьев. Такое использование фунгицидов является рациональным с учетом неравномерного распределения растений на разных участках поля по густоте растительного покрова, которую можно оценивать по таким параметрам, как концентрация биомассы или индекс листовой поверхности (определяемый как отношение поверхности листьев к поверхности почвы).

На практике указанные параметры можно контролировать следующими методами (рассмотрены выше в данном разделе): оптическим – по коэффициенту отражения излучения радара; маятниковым – по сопротивлению растительного покрова изгибу; ультразвуковым – по коэффициенту отражения ультразвука (рис. 2.35).

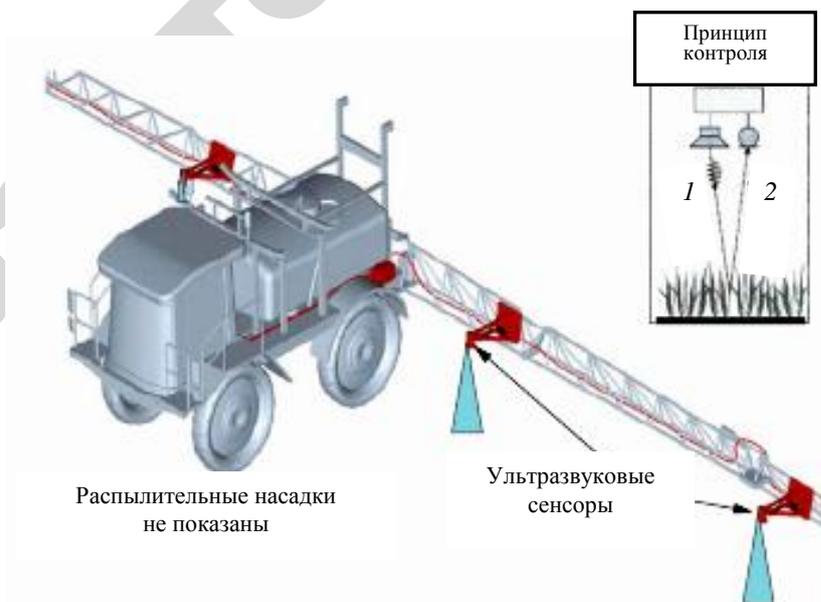


Рисунок 2.35 - Секционное управление распылителем путем ультразвукового контроля биомассы. Принцип контроля: 1 – излучение, 2 – отражение

Во Всероссийском научно-исследовательском институте механизации сельского хозяйства оценивались возможности использования системы Green Seeker RT-200 фирмы Trimble (США) для учета засоренности поля с озимой пшеницей. Информация от оптического датчика (индекс вегетации биомассы) передавалась на полевой компьютер RECON, одновременно фиксировались GPS-приемником и записывались координаты отдельных участков поля. В результате испытаний была выявлена высокая засоренность выделенного контура поля и неравномерность распределения сорняков по площади, что доказывает необходимость дифференцированного внесения гербицидов.

Предварительно на этом же поле проводилась калибровка оптического датчика системы Green Seeker RT-200. Для этого на выровненном участке поля устанавливали ряд рамок размером 50×50 см, в пределах которых подсчитывали сорняки и культурные растения. Затем с помощью оптического датчика снимали значения вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetative Index) и записывали в полевой компьютер RECON. После удаления вручную сорняков с площади каждой рамки повторно измеряли значения NDVI и рассчитывали коэффициенты корреляции между показателями NDVI на делянках с сорной растительностью и без сорняков с их фактическим количеством на каждой площади делянки. Результаты исследований показали возможность использования оптического датчика для оценки состояния засоренности посевов, так как коэффициент корреляции между показателями NDVI на делянках с сорняками и без сорняков и фактическим их количеством составил 0,77.

Также была разработана карта-задание на выполнение технологической операции «дифференцированное внесение гербицидов». Норму внесения гербицида марки «гранстар» устанавливали с учетом показаний NDVI на каждом выделенном элементарном участке поля. Расчеты показали, что экономия гербицида при его дифференцированном внесении составила 32 % по сравнению со сплошным внесением средней дозы (0,02 кг/га).

**Уборочная и кормозаготовительная техника.** Одной из наиболее важных задач точного земледелия, решаемых на стадии выполнения уборочных работ, является обеспечение контроля урожая на основе геопозиционирования. При таком контроле становится возможным определять урожайность на разных участках поля.

С начала 1990-х гг. на зерноуборочных комбайнах начали устанавливать различные системы для регистрации в сочетании с позиционированием машин. Позднее такими системами стали оснащать кормозаготовительные машины, а также машины для уборки хлопка, зерна, помидоров, сахарной свеклы, арахиса, винограда, сахарного

тростника. Кроме того, делались подобные попытки определения урожая культур, убираемых вручную, таких как апельсины, яблоки и кофе.

Благодаря применению таких систем можно получать оперативную информацию о производительности уборки, объеме убранного урожая и неубранном остатке. Точный учет веса урожая, собранного каждым комбайном и перевезенного каждым грузовиком, позволяет более эффективно мотивировать персонал, а также предотвращает возможные потери или хищения урожая в процессе уборки.

Автоматический контроль убираемого урожая осуществляется с помощью устанавливаемых на уборочных комбайнах сенсоров уровня зерна, фиксирующих уровень зерна в бункере каждого комбайна. Обычно для этой цели используются емкостные датчики уровня сыпучих продуктов (рис. 2.36). Они позволяют эффективно контролировать динамику наполняемости бункера уборочного комбайна. При этом дополнительный используемый сигнализатор дает возможность определять среднюю влажность сырья при каждом заполнении бункера.

Датчики уровня сыпучих продуктов измеряют количество собранного в бункере зерна в единицах объема. При необходимости можно выполнять автоматический пересчет полученных данных и определять количество собранного в бункере зерна в единицах массы.

Документированным результатом контроля собираемого в поле урожая с использованием систем геопозиционирования являются карты урожайности, составляемые на основании данных по убраным участкам, и ее графическое отображение в виде распределения по площади поля с цветовым кодированием диапазонов урожайности.



Рисунок 2.36 - Сенсорный контроль уровня сыпучих материалов в бункере комбайна

Урожай также можно контролировать путем определения количества порции зерна, загружаемого на лопасти элеватора уборочного комбайна. Такой контроль можно проводить косвенным методом – с

помощью светового луча, который перекрывается грудой зерна, расположенной на лопасти: по длительности перекрытия луча определяется высота груды зерна, которая затем пересчитывается в объем. Для непосредственного определения массы зерна используется метод радиометрического измерения степени поглощения гамма-излучения зерном.

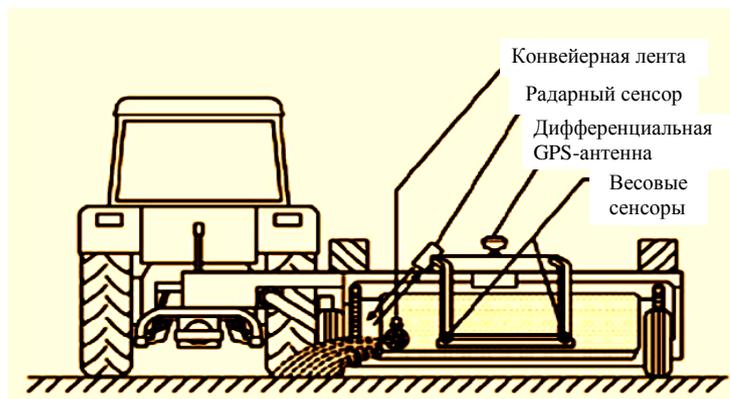


Рисунок 2.37 - Контроль уборки кормовых трав на основе техники конвейерных весов для травокосилки

Для геоинформационного контроля урожая кормовых растений травокосилки, агрегированные с тракторами, оснащают сенсорными системами, работа которых основана на использовании техники конвейерных весов (рис. 2.37). Подобные системы применяются для геоинформационного контроля урожая корнеплодов, таких как картофель и сахарная свекла.

Смесители-кормораздатчики серии Feeder VM фирмы JF-Stoll (Великобритания) оснащены беспроводной системой электронного взвешивания Feed Manager. Эта система содержит терминал с дисплеем, который по беспроводному каналу связи получает от кормосмесителя данные о загрузке. Терминал располагается в кабине погрузчика, чтобы можно было постоянно контролировать процесс загрузки. С дисплея терминала можно считывать дату, массу, время и текущее количество кормосмеси в бункере, а также создавать, запускать и/или пересылать на портативный терминал планы кормления.

## 2.5 Сельскохозяйственная роботехника

### 2.5.1 Посадочно-посевные роботы

**Картирование семян.** Под картированием высеваемых семян понимается регистрация местоположения каждого семени при его внесении в почву. На практике это осуществляется с помощью системы RTK GPS, сопряженной с посевным агрегатом, и инфракрасного сенсора, установленного ниже семенного желоба. Во время посева, когда семя

сбрасывается в почву, оно пересекает лазерный луч и приводит в действие регистратор данных, который записывает положение и ориентацию посевного агрегата, после чего с помощью простой кинематической модели рассчитывается местоположение семени. Координаты семени затем могут быть использованы для определения координат выращиваемого растения.

**Позиционирование семян.** Вместо того чтобы просто записывать положение каждого семени лучше управлять положением семян. Это позволяет регулировать пространственное распределение семян. Большинство семян высевается с высокой концентрацией в пределах каждого ряда, при этом пространство между рядами является относительно большим. Это создает не только пространственную дисперсию концентрации семян, но также предоставляет возможность изменять схемы высева. Исходя из главных агрономических принципов, каждое растение должно иметь равный доступ к пространственно распределенным ресурсам воздуха, света, влажности грунта и т.д. Возможно, в данном контексте будет более эффективной гексагональная или треугольная схема высева. Если соответствующие элементы управления будут обеспечивать синхронизацию между проходами, то станет возможным высевать семена на регулярную сетку, что позволит осуществлять ортогональную междурядную прополку. Испытания посевного робота, обеспечивающего регулируемое распределение семян по площади поля, были выполнены в Королевском университете ветеринарии и сельского хозяйства Дании (KVL).



Рисунок 2.38 - Робот фирмы Q Robotics для высадки рассады в горшках

**Высадка рассады.** Компания Q Robotics (США) разработала робота, предназначенный для высадки рассады]. Обычно рассада для сельскохозяйственных предприятий выращивается в пластмассовых горшках, расстановка которых в процессе высадки осуществляется вручную и сопряжена с определенными проблемами: слишком малое расстояние между горшками приводит к угнетению растений, а слишком большое –

к нерациональному использованию площади поля (пространства теплицы или оранжереи), и в дальнейшем – перерасходу удобрений и воды. Предложенный робот не только устраняет ручной труд, но и обеспечивает правильную расстановку горшков (рис. 2.38). Робот может переносить горшки и правильно их располагать (в соответствии со спецификацией сельхозпроизводителя) на поле. Он понимает, как установлены горшки, так как использует информацию от маячков, размещенных по периметру поля. У него также имеются инфракрасные датчики, служащие для обнаружения объектов, и оптический датчик, который помогает определять, захватил ли робот должным образом горшок.

Специалистами Японской национальной организации по исследованию сельского хозяйства NARO (National Agriculture and Food Research Organization) разработан робот RiceBot для высадки рассады риса, который является частью комплекса технических средств по выращиванию этой продовольственной культуры. Робот работает в полностью автономном режиме, чему способствует наличие модуля GPS и набора гироскопов. С целью управления роботом предлагаются три технологии его привязки к местности: с помощью системы спутникового определения координат, системы локальной сигнализации и системы визуальной ориентации на местности.



Рисунок 2.39 - Посевное (посадочное) устройство, приспособленное для работы с посевными (посадочными) матами (слева); посевной мат с рисовыми зернами и удобрениями, внедренными в перфокарту мата (в центре); рисовая рассада, готовая для пересаживания (справа)

**Селективный посев (пересадка).** Необходимость посева возникает, когда в каком-либо месте не было посеяно семя или же оно не проросло. В этих случаях посевной робот автоматически высевает в такое место другое семя. Концепция посева предусматривает возможность осуществлять не только посев семян, но и пересадку рассады, если окружающие растения уже достаточно подросли. Обычные сеялки не могут быть использованы для посева, поскольку они создают непрерывные борозды в почве. Для этих целей применяются специальные посевные (посадочные) роботы, которые способны высевать отдельные семена (высаживать отдельные саженцы), не повреждая окружающие растения. Особенно эффективно использовать такие ро-

боты, которые приспособлены для работы с посадочными матами – особым посадочным материалом типа коврика с трехмерной перфорированной структурой, ячейки которой могут содержать, кроме семян (рассады), также питательные вещества (рис. 2.39).

### 2.5.2 Роботы для ухода за растениями

**Контроль состояния растений.** Для того чтобы правильно организовать уход за растениями, необходимо проводить сбор и анализ информации об их состоянии. В частности, необходимо постоянно отслеживать влияние сельскохозяйственных вредителей (в основном насекомых) и показатели качества растений и на этой основе оценивать экономические риски заражения сельскохозяйственными вредителями и болезнями, а также определять потенциальную эффективность управляемого воздействия на них. Сбор такой информации является весьма дорогостоящим. Для уменьшения затрат по сбору данных применяются автоматические системы на основе сенсоров, контролирующих состояние растений. Для того чтобы перемещать сенсоры над растительным покровом и иметь возможность работы с GPS, необходимо использовать роботизированные платформы с высоким клиренсом (рис. 2.40, слева). Также возможен вариант создания роботов, высота которых меньше уровня растительного покрова (рис. 2.40, справа). Сенсоры, установленные на роботах, служат для автоматизированного контроля не только состояния сельскохозяйственных культур, но также видов и концентрации сорняков.



Рисунок 2.40 - Портальная платформа для автоматизированного контроля состояния растений (Датский технический университет) (слева); робот, расположенный ниже уровня растительного покрова (Гогенгеймский университет, Германия) (справа)

В Мадридском политехническом институте создан необычный по конструкции робот Rosphere, предназначенный для мониторинга сельскохозяйственных посадок (рис. 2.41). Робот использует необычный способ передвижения. У него нет колес и ног. Он имеет форму шара и перемещается, перекатываясь в нужном направлении. Чтобы перекатить

шар, не прилагая внешнюю силу, достаточно изменить положение его центра масс. Для этого внутри робота установлен маятниковый механизм, способный двигаться в двух независимых направлениях по команде электронной системы управления. Конструкция позволяет роботу не только катиться по прямой линии, но и совершать повороты. К такому техническому решению разработчики пришли, решая задачу создания роботов, приспособленных к движению по неровному грунту.



Рисунок 2.41 - Робот Rosphere

Робот оснащен встроенной системой спутниковой навигации, он может управляться удаленно, а также работать самостоятельно благодаря программным алгоритмам поведения и выполнения задач. Помимо визуального наблюдения, робот обеспечивает съем ряда параметров: состояние почвы и посевов, степень зрелости плодов, наличие/отсутствие вредителей и т.д.

В Университете Сиднея (Австралия) разработан многофункциональный робот Ladybird – «божья коровка», сходство с которой дают солнечные батареи, чем-то напоминающим крылья божьей коровки (рис. 2.42). Робот функционирует исключительно благодаря электричеству, которое поступает с солнечных батарей. Он способен автоматически обнаруживать овощи на грядке, отслеживать динамику роста сельскохозяйственных культур и даже удалять сорняки с помощью специальных манипуляторов. Робот оснащен системой лазерного наведения, интегрированным автоматизированным манипулятором, с помощью которого можно собирать урожай.



**Картирование сорняков.** Под картированием сорняков понимается регистрация их местоположения и концентрации (биомассы), которая проводится с помощью систем технического зрения. Один из методов картирования сорняков заключается в регистрации увеличения площади листьев в зонах развития сорняков, основанной на выявлении различий в характере пространственного распределения сорняков (прорастают отдельными пятнами) и сельскохозяйственных растений (посажены рядами). Другой, более точный метод заключается в распознавании признаков формы. Этот метод, первоначально разработанный для распознавания человеческих лиц, позволяет определять виды сорняков по форме их контура. Исследования показали, что около 20 видов сорняков могут быть распознаны таким образом. Также можно распознавать сорняки по характерным признакам их окраски. В конечном итоге составляется карта распределения сорняков, которая в дальнейшем может использоваться в качестве карты их обработки.

**Прополка.** Зная местоположение и степень вредности разных видов сорняков, можно с помощью различных методов уничтожить их или замедлить их развитие. Обычно эти методы основываются на физическом воздействии на сорняки. Типичный тому пример – это нарушения контактов между почвой и корнями сорняков путем пропахивания почвы, приводящего к увяданию сорняков. Это может быть легко достигнуто с помощью обычной пропалочной зубовой бороны. Однако прополку по рядам осуществлять сравнительно сложно, так как она требует знания местоположения сельскохозяйственных растений, поскольку обработка почвы вблизи растений может привести к их повреждению. Этого можно избежать, используя неконтактные методы физического воздействия на сорняки, такие как лазерная обработка или микрораспыление.

Основная задача, которая решается при осуществлении роботизированной прополки, состоит в том, чтобы обеспечить регулирование роста травы и сорняков с целью уменьшения конкурентного отбора влаги и питательных веществ.

В Швеции создан робот Lukas, предназначенный для прополки посевов сахарной свеклы. По подсчетам специалистов, его применение позволит сократить расходы фермеров на прополку на 50 % и вместе с тем внести вклад в охрану окружающей среды, исключив использование гербицидов. На днище робота установлена инфракрасная камера. Бортовой компьютер, анализируя снимки с изображением грядок, управляет колесами робота инструментом для прополки – вращающимся барабаном с проволочными «лезвиями». В пределах грядки робот отличает полезные растения от сорных с помощью другой камеры, цветные

изображения с которой анализирует специальная программа: фиксирует размер, цвет и форму, сравнивает с образцами из имеющейся базы.

В последние годы роботизированная прополка получила распространение при выращивании новогодних елок, которые рассматриваются как сельскохозяйственная культура, поскольку они выращиваются на сельскохозяйственных угодьях в течение 7–10 лет до уборки. Когда елки впервые пересаживаются, сорняки уничтожаются с помощью зубовой бороны, поскольку молодые побеги весьма эластичны.



Рисунок 2.43 - Молодые новогодние елочки с фрагментами сорняков (слева). Автономный пропольщик новогодних елок, оснащенный боковым резаком и системой управления на основе GPS (справа)

Спустя около двух лет они становятся более ломкими и нуждаются в особом уходе, так как подавление ростков сорняками может влиять на рост и форму и, таким образом, на качество зрелых деревьев. Когда деревья еще не достаточно подросли, для борьбы с сорняками можно использовать автономные пропольщики, в частности, стандартные газонокосилки, адаптированные для компьютерного управления (рис. 2.43). При этом система сопряжения человек – машина удаляется и заменяется линейным приводом движения, а вместо основного режущего инструмента используется боковой резак. Работа функциональных узлов транспортного средства (рулевое управление, сцепление, тормоз, коробка переключения передач и дроссель) контролируется с помощью центрального процессора.

Когда деревья малы, в качестве первичной навигационной системы используется GPS. Точность позиционирования может достигать до 2–3 см. Местоположение каждого дерева определяется перед началом обработки. С учетом местоположения деревьев определяется приемлемый план пути транспортного средства, который, в свою очередь, используется для управления движением машины. Также с учетом местоположения деревьев обеспечивается динамическое управление поворотной рукой роторного резака. Расстояние до деревьев рассчитывается и когда резак оказывается слишком близко, поворотная рука отодвигает его от дерева, обеспечивая проход.



Рисунок 2.44 - Робот картирует модельные деревья (слева); робот-пропольщик срезает траву под елками (в центре); роботизированный трактор сканирует зрелые деревья (справа)

Определение точного местоположения каждого дерева до начала работы пропольщика является одной из основных задач в процессе обработки. Эта задача решается с помощью автоматической системы на базе GPS (рис. 2.44), если стволы деревьев отчетливо видимы, и ручную – если они скрыты кроной деревьев. Навигационная система направляет движение пропольщика по определенному пути между рядами деревьев, а контроллер рассчитывает расстояние между резаком и деревьями. Благодаря этому обеспечивается высокая точность работы пропольщика, который срезает траву и сорняки, не вызывая существенного повреждения деревьев. Когда крона деревьев становится настолько большой, что препятствует прохождению GPS сигналов, необходимо применять другие методы навигации, чтобы управлять движением мобильных роботов между рядами деревьев. В частности, можно эффективно использовать лазерные сканеры, которые позволяют определять местоположение деревьев.

**Внесение удобрений.** Одним из наиболее распространенных способов внесения удобрений является их распыление в жидком виде, которое может быть особенно эффективным, когда охватывает большие по площади участки. Для его осуществления используются тракторы с навесными опрыскивателями. Однако при монтаже стрелы опрыскивателя нередко возникают проблемы, связанные с устойчивостью трактора, поскольку он имеет сравнительно небольшую колесную базу. Один из способов повысить стабильность – установить штангу с распылительными насадками между двумя роботами. Такой роботизированный порталный кран может распылять жидкие удобрения, регулируя режимы своего функционирования в соответствии с погодными условиями. Так, если распыл стал подвергаться действию ветра, то порталный кран останавливается до тех пор, пока погодные условия не улучшатся. Сенсорные системы устанавливаются на тележке, которая может перемещаться вдоль штанги с распылительными насадками.

**Орошение.** Роботизированный ирригатор, снабженный системой мехатронных спринклеров, обеспечивает управление расходом воды с

учетом площади обрабатываемых участков. Траектории и секторные углы подаваемой струи контролируются шаговыми двигателями и могут регулироваться в соответствии с погодными условиями и требуемыми схемами орошения с помощью компьютеров. Когда разбрызгиваемая вода относится ветром, направление подачи струи сразу же изменяется соответствующим образом с учетом направления и скорости ветра.

**Борьба с сорняками, вредителями и болезнями растений.** Благодаря совершенствованию спутниковой связи и развитию на ее базе технологий точного земледелия все большее распространение получают машины для дифференцированного внесения пестицидов, которые, используя геоинформационные системы, обеспечивают высокую точность выполнения операций для каждого квадратного метра поля. В режиме реального времени широко используются опрыскиватели, оборудованные устройствами распознавания сорняков, вредителей, болезней и управления расходом рабочей жидкости, а также процессорами с приемниками и спутниковой сетью ГЛОНАСС/GPS.

Первый опрыскиватель Hydroelectron с использованием электронных устройств выпустила фирма Теснома (Франция), которая продемонстрировала свою разработку на международной выставке SIMA-1976 в Париже. Этот опрыскиватель был оборудован электронным регулятором подачи раствора пропорционально скорости движения агрегата. Позднее аналогичные опрыскиватели стали выпускаться другими фирмами. Благодаря их использованию норма рабочих растворов ядохимикатов сократилась до 20 %, вследствие чего был достигнут экономический и экологический эффект – как за счет сокращения нормы пестицида, так и за счет их точного применения и отказа от излишней обработки почвы.

Фирма John Deere (США) разработала модели прицепных и самоходных опрыскивателей, отличительной особенностью конструкции которых является подвеска с электронной системой стабилизации положения штанги, вакуумная система автоматического заполнения трубопроводов, автоматическое сцепное устройство, позволяющее опрыскивателю копировать колею трактора. Кроме того, самоходные модели опрыскивателей 4710 и 4720 оснащены шумоизолированной кабиной с улучшенной обзорностью, гидравлической системой регулирования ширины колеи, ударобезопасными секциями штанги, складывающимися при встрече с препятствиями.

В России выпускается самоходный штанговый опрыскиватель АМО «Иртышанка» (ЗАО ТПК «Асгардплюс»), оснащенный автоматизированной системой управления расходом жидкости и спутниковой навигационной системой «Агронавигатор». Подобный самоходный универсальный опрыскиватель «Туман» производится ОАО «Оптрон» для химической защиты полевых культур от сорняков, вредителей и бо-

лезней. ОАО «Казанская сельхозтехника» выпускает полуприцепной опрыскиватель ОП-2500М-24 «Булгар», у которого технологический цикл (от заправки чистой водой и приготовления рабочего раствора и до подачи его по секциям штанги к щелевым распылителям) осуществляется автоматически, что обеспечивает высокую производительность и безопасность работы.

Специалисты Иллинойского университета создали робота, который осуществляет поиск и уничтожение сорняков. Для навигации робот применяет GPS и две видеокамеры, установленные на верхней части рамы, что обеспечивает восприятие глубины изображения: видя сорняк, он может определить дистанцию до него. Встроенный компьютер обеспечивает доступ к информации, представляющей собой морфологические характеристики растений, с помощью которой робот определяет, какое растение является сорняком, а какое – нет. Если растение идентифицировано как сорняк, то манипулятор, установленный в передней части машины, запускает специальное устройство, названное исследователями «специализированным рабочим органом». Это устройство действует на двух уровнях. На первом уровне оно срезает растение, а на втором – осуществляет гербицидную обработку срезанного растения. Важно отметить, что робот применяет гербицид непосредственно к растению вместо того, чтобы распылять его по всему полю, благодаря этому сокращаются требуемые дозы гербицида и уменьшается загрязнение окружающей среды химикатами.

Источником энергии для робота служат панели солнечных батарей, для крепления которых разработан специальный стеллаж, защищающий машину от влияния погодных условий и обеспечивающий тень для оптической системы. Робот работает под управлением операционной системы Windows и поддерживает беспроводное Интернет-соединение (модуль Wi-Fi).



Рисунок 2.45 - Робототехнические устройства фирмы Amazone: Amaizeing (слева) и Maizerati (справа)

Фирма Amazone создала два полевых робототехнических устройства – Amaizeing и Maizerati (рис. 2.45), служащих для борьбы с сорной растительностью. Оба устройства могут передвигаться по рядам растений, разворачиваться и начинать следующий ряд самостоятельно без

вмешательства человека. Кроме того, они распознают и считывают специальные маркированные части с помощью видеокамер и датчиков. Управляет устройствами микроконтроллер. Если датчики больше не видят рядков, то начинается разворот. Оба устройства также способны распознавать до восьми различных цветовых оттенков и одновременно поливать рабочей жидкостью растения из специальных емкостей. При полевых испытаниях была продемонстрирована возможность связи между этими двумя роботами. Данные передавались через беспроводную локальную сеть. В результате оба робота синхронно двигались по полю.

Для технологических операций по химической защите растений в садоводстве предложено использовать роботизированный опрыскиватель с интеллектуальной системой, обеспечивающий минимизацию вредного воздействия химикатов на человека за счет исключения его непосредственного участия в управлении агрегатом (рис. 2.46). Шасси опрыскивателя с двигателями на электрической тяге и с системой интеллектуального управления движением на основе использования сенсорной техники (датчики, 3D видеокамеры) обеспечивает возможность позиционирования относительно растений с помощью технологий спектральной фильтрации изображений.



Рисунок 2.46 - Роботизированный опрыскиватель для низкорастущих ягодных культур

Во Всероссийском научно-исследовательском институте механизации сельского хозяйства разработан высококликересный опрыскиватель для дифференцированного внесения жидких средств химизации в садоводства, в котором установлены системы бортового компьютера, контролера, подруливающих устройств и карты заданий для внесения средств защиты растений. Для обработки клубники и других низкорастущих ягодных культур разработан электроприводной опрыскиватель, который также оснащен всеми необходимыми приборами для работы по технологиям точного земледелия и, кроме того, имеет отличительную особенность – устройство регулировки высоты форсунок под высоту растения.

Одним из эффективных способов уничтожения сорняков, расположенных вблизи культурных растений, является использование роботизированного опрыскивателя.

зированных микрораспылителей, которые разбрызгивают обрабатывающие жидкости очень малыми количествами непосредственно на листья сорняков. Система технического зрения, которой оснащено распылительное оборудование, служит для определения местоположения индивидуального сорного растения, а набор насадок, установленных близко друг к другу, обеспечивает разбрызгивание жидких гербицидов на сорняки. Испытания показали, что разбрызгивание может быть уменьшено, если в качестве носителя использовать гель, а не воду. Также испытания показали, что если гербицид наносится точно и в нужное время, то его требуемое количество может быть гораздо меньше.

**Обрезка виноградной лозы.** Фирма Vision Robotics (США) разработала интеллектуальное робототехническое устройство для обрезки виноградной лозы (рис. 2.47). Робот способен работать круглосуточно при любой освещенности (и днем и ночью). Он выполняет качественную обрезку виноградной лозы, может агрегатироваться с трактором или быть самоходным.

Робот предназначен для использования на участках с не очень крутыми склонами. В основе его работы лежит стереоскопическое сканирование видеокамерами (15 кадров в секунду) всего ряда виноградной лозы впереди по движению робота – на длину выдвигающихся обрезных ножниц. Бортовой компьютер на основе полученных изображений создает трехмерные модели лозы. Затем происходит обрезка в соответствии с порядком, заложенным в программное обеспечение (рис. 2.48 и 2.49). Используемые технологии обрезки виноградной лозы могут также применяться для удаления листьев и прореживания растений, а бортовые камеры и информационные технологии – для сбора данных и картирования территории виноградника.



Рисунок 2.47 - Робот для обрезки виноградной лозы фирмы Vision Robotics



Рисунок 2.48 - Процесс роботизированной обрезки виноградной лозы выдвижными ножницами



Рисунок 2.49 - Виноградная лоза после роботизированной обрезки

**Роботы для уборки урожая.** Роботы применяются для селективной уборки урожая, под которой понимается уборка только той части урожая, которая соответствует определенным порогам качества. Например, это может быть уборка части урожая ячменя с фиксированным содержанием белка, уборка части зерна, которое является достаточно сухим (остальное остается высыхать), или уборка фруктов и овощей, которые соответствуют критериям размера [76].

Чтобы выполнять селективную уборку урожая эффективно, необходимо обеспечить возможности определять параметры качества до сбора урожая и собирать отобранные продукты, не повреждая остальной урожай. Большинство сельскохозяйственной техники имеет значительные размеры и, следовательно, не обеспечивает этих требований. Для селективной уборки урожая следует использовать небольшое по размерам оборудование, которое способно определять, какие из сельскохозяйственных продуктов подлежат уборке и где они локализованы. Такие функции способны выполнять роботизированные селективные уборочные комбайны, оснащенные сенсорами, анализирующими состояние продуктов. Они убирают часть готового урожая и оставляют ту его часть, которая должна дозреть, быть просушенной и т.п.



Рисунок 2.50 - Робот для выборочной уборки урожая фирмы Massey Ferguson

Фирмой Massey Ferguson (США) предложен робот для селективной уборки урожая в полевых условиях, в частности, початков кукурузы. Десятиколесная самоходная машина размером с мини-трактор состоит из двух соединенных друг с другом модулей: силового блока и накопителя (рис. 2.50). Спереди машины установлены световые датчики (они определяют зрелость растений), в нижней части – режущий аппарат, который срезает растения при получении соответствующего сигнала. Когда накопитель заполнен, он автоматически отсоединяется от силового блока и транспортирует собранный урожай в пункт централизованного сбора. Машина может управляться дистанционно посредством системы телеметрической связи.

Фирма Vision Robotics (США) разработала робот-сборщик апельсинов (рис. 2.51). Он может пройти через сад и собрать зрелые апельсины с деревьев. Для этого робот, используя стереоскопические камеры, высматривает и идентифицирует апельсины на деревьях. Фактически, он создает трехмерное изображение всего оранжевого дерева. Далее эта информация используется для того, чтобы мягкие захваты робота аккуратно снимали каждый апельсин. Созданная первоначально модель дерева может использоваться и в последующие дни уборки урожая. Робот может быть адаптирован для сбора и других видов плодов, например, яблок.



**Беспилотные летательные аппараты.** В последние годы в сельском хозяйстве, наряду с наземными мобильными роботами, все большее распространение приобретают роботизированные беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Наземные исследования не всегда позволяют в полной мере проанализировать и оценить состояние сельскохозяйственных угодий, контролировать процесс посева и уборки урожая. Значительные возможности в этом отношении дают съемки из космоса, однако они ведутся в основном для контроля состояния земель на больших территориях (на уровне крупных регионов). К тому же приобретение космических снимков в необходимом, например, для прогноза урожайности, количестве и качестве часто оказывается недоступным (ввиду их высокой стоимости) не только обычным сельхозпроизводителям, но и крупным агропромышленным холдингам. Кроме того, космические съемки в большей степени связаны со временем суток и погодными условиями.

Альтернативным методом получения интересующей информации о состоянии сельхозугодий, особенно на небольших площадях, является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), предназначенных для воздушной съемки и наблюдения в реальном времени за наземными объектами. Получаемые фото- и видеоизображения обрабатываются в специализированном программном обеспечении и формируют базу для создания цифровых моделей местности, они служат основой для принятия решений по рациональному использованию сельскохозяйственных ресурсов.

В современных БПЛА управление осуществляется с помощью компьютера. Для определения координат и скорости движения, что необходимо для того, чтобы ориентироваться в пространстве и выполнять полеты с высокой точностью по заданным маршрутам, используются спутниковые навигационные системы (GPS или ГЛОНАСС), при этом углы ориентации и перегрузки определяются посредством гироскопов и акселерометров. Для передачи на пункт управления фото- и видеоданных, полученных с бортовых сенсоров, в составе БПЛА имеется радиопередатчик, обеспечивающий радиосвязь с приемным оборудованием. Также в состав бортовых радиосредств БПЛА входит приемник команд управления и передатчик служебной (телеметрической) информации.

БПЛА используют в сельском хозяйстве для осуществления следующих функций, связанных с контролем состояния сельхозугодий:

- оперативный мониторинг полей (с высоты десятков и сотен метров);
- мониторинг роста сельскохозяйственных культур, оценка всхожести и степени спелости, прогнозирование урожайности;

- фитосанитарный мониторинг сельскохозяйственных культур, обнаружение очагов болезней и вредителей, наличия сорняков и оценка результатов воздействия на них;
- оценка состояния почвы, контроль качества ее обработки;
- контроль качества выполнения работ по посеву, орошению, внесению удобрений, обработке химикатами;
- обмер полей с учетом рельефа, определение площади используемых пахотных земель и пустующих участков;
- подсчет всходов и биологической урожайности;
- получение фотоматериалов в ближнем инфракрасном спектре с целью анализа показателя количества фотосинтетически активной биомассы – индекса NDVI;
- проведение разведки снежного покрова и прогнозирование уровня увлажнения почв, проектирование водоснабжения;
- оценка ущерба, наносимого сельскохозяйственным угодьям от различных погодных явлений (града, ветра, гроз), а также после стихийных явлений (пожаров, наводнений, засухи);
- планирование комплекса агротехнологических работ для достижения планируемого урожая.

БПЛА дают возможность получать снимки полей очень высокого разрешения. С их помощью можно вести наблюдение со специфических углов, которые недоступны спутникам, например, они могут опускаться в междурядья виноградников или садов.

БПЛА можно эффективно применять не только для контроля состояния сельхозугодий, но и для выполнения различных работ по их обработке, включая дифференцированное внесение удобрений и опыление растений, отпугивание птиц с полей и др. (рис. 2.52).

Как отмечалось выше, БПЛА наиболее подходят для проведения мониторинга и обработки полей, сравнительно небольших по размерам. При этом они позволяют проводить работы на полях с необходимой частотой, а также исключают риски возникновения опасных ситуаций для наблюдателя или оператора.



Рисунок 2.52 - Опыление посевов с помощью беспилотного летательного аппарата

БПЛА различного назначения разрабатываются уже много десятилетий: первыми БПЛА принято считать немецкие крылатые ракеты типа

ФАУ, созданные в конце Второй мировой войны. Однако только лишь с развитием и удешевлением микросистемной техники и вычислительной электроники стало возможным производить недорогие малогабаритные БПЛА.

Современные БПЛА называют «летающими роботами», однако роботами они стали не сразу. Сначала эти аппараты совершали полеты и выполняли операции либо по жестко заданной программе, либо непосредственно управлялись оператором. Позднее у них на борту появились бортовые компьютерные системы управления, способные реагировать изменения обстановки и условий полета, так что оператор стал не столько управлять аппаратом, сколько ставить ему полетные задания и контролировать их выполнение.

Наиболее перспективным направлением использования роботизированных БПЛА в сельском хозяйстве является выполнение тяжелых, вредных, утомительных и монотонных работ. К числу таких работ относится анализ проб грунта, который до сих пор обычно делается вручную. Между тем существуют различные способы косвенных измерений основных показателей плодородности почвы – путем измерения электрических сигналов, проходящих через водный раствор почвы (в лабораторных условиях более точный) и саму почву (локальные системы измерения). Основной проблемой данного направления анализа почвы является сложность получения информации из удаленных точек угодий, поскольку в процессе передвижения по полю происходит повреждения плодородного слоя в случае использования наземных транспортных средств. Решением данной проблемы является применение БПЛА, оснащенных необходимым полным набором сенсоров, позволяющих контролировать состояние почвы в автоматическом режиме в течение всего сезона возделывания.

В связи со сложностью некоторых процедур анализа почвы их реализация является невозможной вне лабораторных условий. Это влечет за собой необходимость получения образцов грунта с последующей транспортировкой их до места проведения анализа. Для реализации поставленной задачи во Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства спроектирован беспилотный летающий робот (квадрокоптер), способный перемещаться по воздуху на расстояние до 10 км.

Для проникновения в почву необходимо, чтобы грунтоотборник имел стреловидную (коническую) форму, благодаря чему снижается усилие, прикладываемое к нему для входа в верхние слои почвы. Также на грунтоотборнике предусмотрены ребра разрыхления почвы и режущая кромка, позволяющие проводить равномерный забор почвы. Для придания буру вращательной силы предлагается использовать бесколлекторный двигатель постоянного тока, который обладает высоким КПД

и позволяет использовать существующие средства питания квадрокоптера.

Для тестирования почвы возделываемых угодий (для измерения влажности, кислотности и температуры почвы) предлагается использовать мобильный комплекс, установленный на квадрокоптере. При постоянном использовании данного комплекса появляется возможность составлять карты полей с показаниями плодородности, влажности и кислотности почвы. Проводя последовательный анализ полученных данных, можно в рамках концепции точечного земледелия обеспечивать доставку каждому растению удобрений и воды согласно его потребностям.

## 2.6 Тепличное оборудование

**Интеллектуальные системы управления теплицами.** *Управление микроклиматом.* Для достижения высокой урожайности и качества продукции в теплицах необходимо обеспечивать оптимальные климатические условия для растений. Поскольку теплицы подвержены внешним климатическим воздействиям, то необходимо, чтобы постоянно проводились измерения всех климатических параметров и их поддержание на требуемом уровне. Это возможно осуществить благодаря автоматизированным системам управления микроклиматом теплиц. Известны различные типы таких систем, производимых в разных странах: в Голландии (PRIVA, HORTIMAX, SERCOM, HOOGENDORN), Израиле (ELDAR-GAL), Германии (KRIWAN, BRNKMANN) и др.

К важнейшим параметрам микроклимата в теплицах относятся влажность и температура воздуха и уровень естественной освещенности. Необходимость контроля и поддержания параметров микроклимата в теплице обусловлена агротехническими требованиями, а также требованиями энергосбережения.

Агротехнические требования предполагают обеспечение определенных параметров микроклимата в теплице в зависимости от времени суток и величины солнечной радиации с целью интенсификации усвоения растениями фотосинтетической радиации и повышения эффективности продукционного процесса. Кроме того, следует учитывать специфические требования к параметрам микроклимата в теплице для каждого из выращиваемых растений. В свою очередь, требования энергосбережения обуславливают необходимость контроля и учета основных параметров микроклимата в теплице. Таким образом, для создания благоприятных агротехнических условий развития растений и экономного использования энергоресурсов необхо-

дим непрерывный автоматический контроль параметров микроклимата в теплице.

Контроль параметров микроклимата теплиц характеризуется наличием большого числа непрогнозируемых помех, информационной недостаточностью и неопределенностью. Эта неопределенность обусловлена необходимостью обработки трудно поддающихся формализации (нечетких) данных. В частности, трудно поддается идентификации зависимость выходного сигнала системы контроля влажности воздуха в теплице от ее входных сигналов. Данное обстоятельство осложняет учет поправки на температуру воздуха в теплице при контроле его влажности системами контроля, основанными на использовании традиционных математических моделей. Это связано с тем, что применение традиционных математических моделей на основе теории вероятностей и математической статистики для обработки нечетких данных трудоемко и неэффективно.

Оптимальным решением указанной задачи является разработка автоматических систем контроля параметров микроклимата теплиц, основанных на использовании современного математического аппарата нечеткой логики. Моделям, которые создаются на основе нечеткой логики, присущи такие свойства технического интеллекта, как самоадаптация и самообучение. Поэтому технические системы, осуществляющие обработку информации на основе нечеткой логики, являются интеллектуальными, что обеспечивает высокую эффективность их применения в условиях информационной неопределенности.

Важной и полностью не решенной до сих пор проблемой всех систем управления микроклиматом является повышенная инерционность исполнительных устройств. Это приводит к тому, что при изменении внешних воздействий на теплицу система запаздывает в ходе установления оптимальных параметров микроклимата как во всей теплице, так и (в случае большой площади теплицы) в отдельной ее части. В свою очередь, такое запаздывание вызывает повышенный расход электроэнергии, затрачиваемой на компенсацию перепадов климатических зон, также отрицательно сказывается на росте культур, что в конечном итоге приводит к росту издержек и снижению урожайности.

Для повышения энергоэффективности производства сельскохозяйственной продукции в теплицах разработана интеллектуальная система микроклимата (ИСМ), работа которой основана на обучаемых интеллектуальных алгоритмах управления микроклиматом теплиц.

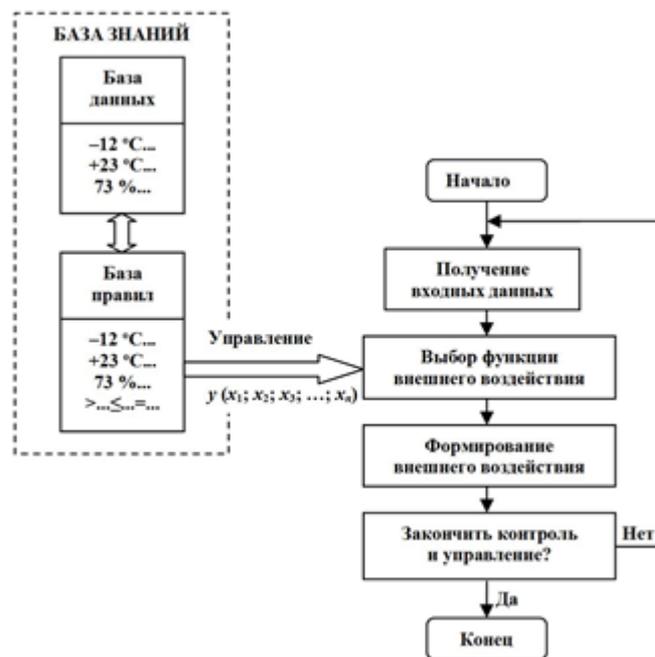


Рисунок 2.53 - Алгоритм функционирования интеллектуальной системы микроклимата

В концептуальном виде, алгоритм функционирования ИСМ показан на рис. 2.53. ИСМ содержит базу знаний, в которую входят база данных и база правил, обучение которой происходит с помощью нейросетевых алгоритмов. База данных заполняется актуальными параметрами состояния микроклимата. Одновременно, с помощью математической модели искусственной нейронной сети происходит сбор данных для обучения базы правил. После заполнения базы данных и базы правил система переходит в рабочий режим управления микроклиматом теплицы. Следует отметить, что в рабочем режиме сохраняется возможность обучения ИСМ за счет работы модели нейропроцессорной структуры обработки информации.

Таким образом, зная, как изменяется микроклимат теплицы при изменении внешних воздействий, можно спрогнозировать реакцию теплицы и заранее подать управляющее воздействие на исполнительные устройства, которые непосредственно формируют микроклимат. Такое опережающее управление позволяет программным путем снизить инерционность всей системы микроклимата, поскольку снизить инерционность непосредственно исполнительных устройств не представляется возможным.

Тепличное производство – это сложный технологический процесс выращивания растения, заключающийся в обеспечении его сбалансированным питанием, оптимальными условиями микроклимата, а также в уходе за растением. На сегодняшний день большинство процессов по обеспечению жизнедеятельности растений возложено на автоматические системы управления, но, несмотря на их быстрое развитие, по-

ка далеко не все процессы можно подвергнуть автоматическому управлению.

Современные тепличные комплексы оснащаются системами мониторинга параметров микроклимата (температура, влажность, концентрация CO<sub>2</sub>, освещенность и т.д.), полива (план полива, концентрация и кислотность раствора), дренажа (время первого дренажа, процент дренажа к поливу, параметры ЕС и pH), а также системами мониторинга физиологических процессов растения (сокодвижения, температуры листьев, динамики набора массы растения). Агроному в данной ситуации необходимо только проанализировать полученную от систем информацию и при необходимости скорректировать режимы работы. Однако как бы ни был высок профессионализм агронома, он не может круглосуточно пребывать на рабочем месте и, соответственно, не всегда может осуществлять оперативный контроль процесса выращивания.

Фирмой «ФИТО» (Россия) разработан программно-аппаратный комплекс, позволяющий удаленно, посредством сети Интернет или сотовых сетей осуществлять оперативный мониторинг и коррекцию процессов, происходящих в теплицах (рис. 2.54).

Функционально дистанционный мониторинг можно разбить на три уровня взаимодействия между пользователем (агрономом) и системой управления технологическими процессами в теплице. Пользователю в любой момент времени доступны все три уровня взаимодействия. Первый уровень взаимодействия – интеллектуальная самодиагностика, когда система на основе набора специальных правил сама анализирует процессы, происходящие в теплице, и с учетом сделанных выводов оперативно информирует пользователя о происходящем через SMS-сообщение или электронную почту.

Второй уровень взаимодействия – внесение пользователем корректив в работу автоматических систем теплицы через Интернет с помощью программного обеспечения, установленного на удаленном компьютере. Если при анализе данных, возникают вопросы агрономического либо технического характера, то пользователь может прибегнуть к третьему уровню взаимодействия – к обращению в информационный центр фирмы, специалисты которого удаленно соединяются со всеми системами теплицы, анализируют ситуацию и выдают ответ пользователю.

Таким образом, созданная трехуровневая модель контроля и управления технологическими процессами в теплице позволяет своевременно диагностировать, возникающие при осуществлении этих процессов исключительные ситуации и оперативно реагировать на их появление.

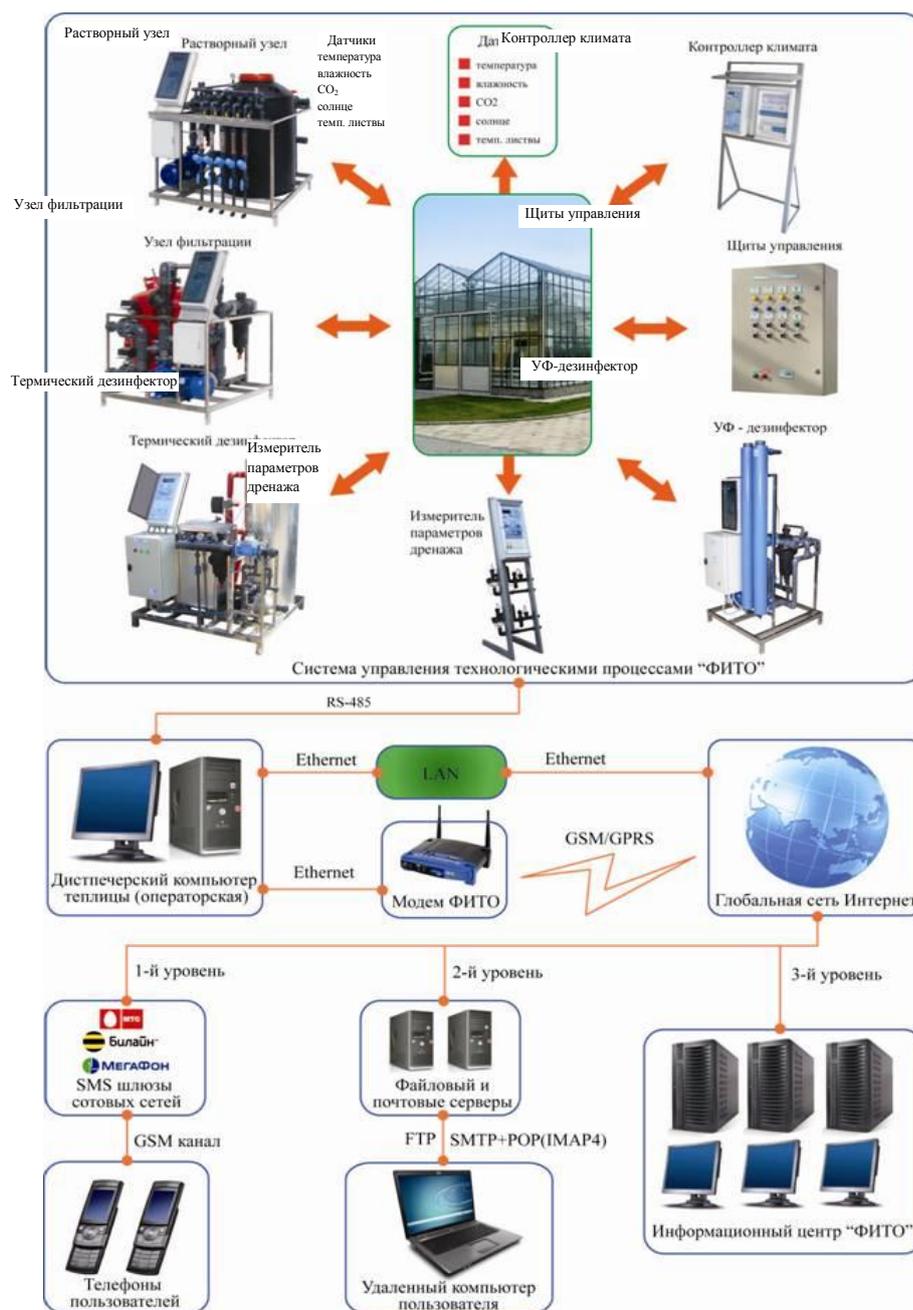


Рисунок 2.54 - Система управления микроклиматом теплицы фирмы «ФИТО»

В Омском государственном техническом университете разработана автоматизированная система «умная теплица» (рис. 2.55). Для реализации системы была выбрана технология 1-Wire, а роль мастера сети играл фирменный мастер для USB-порта: DS9490R. Благодаря наличию в составе любого устройства, снабженного сетевой версией 1-Wire-интерфейса, уникального индивидуального адреса, такая сеть имеет практически неограниченное адресное пространство. Одним из важнейших преимуществ технологии 1-Wire является простота настройки, отладки и обслуживания сети практически любой конфигурации, построенной по этому стандарту. В качестве сервера управ-

ления и хранения данных использовался миникомпьютер Raspberry PI, к которому непосредственно подключается мастер 1-Wire сети с соединенными с ним устройствами, входящими в систему автоматизированной теплицы.

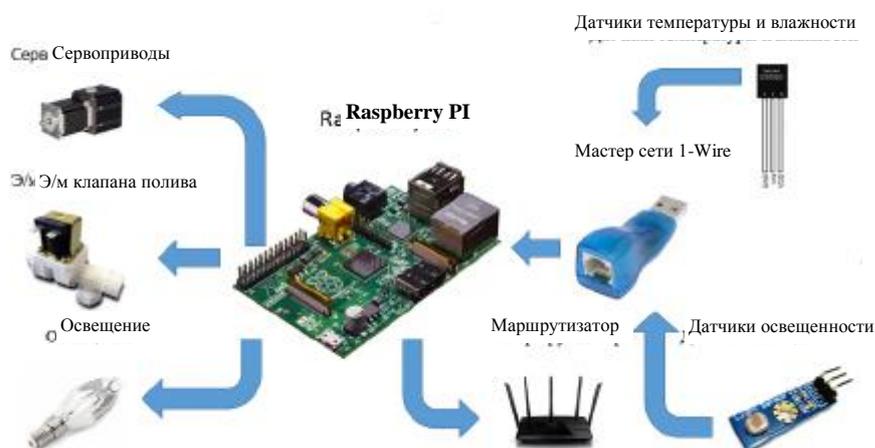


Рисунок 2.55 - Автоматизированная система «умная теплица»

Система автоматизированной теплицы представляет собой набор различных датчиков и исполнительных механизмов. Внутри теплицы и вне ее установлены датчики температуры и влажности. Данные, получаемые датчиками, обрабатываются миникомпьютером. Если температура и влажность превышают допустимую норму, то соответствующий сигнал отправляется на сервоприводы, которые в свою очередь открывают форточки для проветривания теплицы. Если температура становится ниже допустимой нормы, то включается система отопления. Также установлен датчик освещенности. При недостаточной освещенности внутри теплицы включаются специальные осветительные лампы для растений. Полив растений осуществляется по таймеру, запрограммированному для определенного вида растений, сигнал отправляется на электромагнитные клапаны, которые открывают поток воды. Полив ведется из резервуара, находящегося внутри теплицы. Заполнение резервуара водой управляется посредством двух поплавковых датчиков, расположенных в верхней и нижней его части, и миникомпьютера, обрабатывающего информацию датчиков. Работа охранной сигнализации заключается в непосредственном опрашивании датчиков открывания основных дверей, для предотвращения несанкционированного доступа в теплицу посторонних людей.

Так же в систему входит удаленный мониторинг «умной теплицы», для чего установлен маршрутизатор. Мониторинг осуществляется через веб-страницу, все данные передаваемые с миникомпьютера отображаются на веб-сайте. Имея доступ к веб-сайту можно с любого удаленного места и с любого устройства (смартфона, планшета, ноут-

бука) отслеживать и управлять ходом работы автоматизированной теплицы. Веб-сайт является веб-интерфейсом данной системы.

На рис. 2.56 представлена структурная схема работы системы.



Рисунок 2.56 - Блок-схема системы «умная теплица»

Основной задачей автоматизации теплицы является эффективное обслуживание всей техники, находящейся в ней и отвечающей за контроль и качество растений. Управление работой теплицы осуществляется при помощи системы, которая срабатывает при возникновении заданных программой условий.

Во Всероссийском институте механизации сельского хозяйства разработана климатическая установка ЛП-Про, оснащенная системой компьютерного регулирования микроклимата, а также доставки питательных веществ и воды. Специальная компьютерная программа обеспечивает полную автоматизацию процесса выращивания овощных культур и выводит на монитор оператора данные о влажности, освещенности, внутренней температуре воздуха, концентрации CO<sub>2</sub>. В установку встроена видеочамера, позволяющая в режиме реального времени отслеживать процесс роста растений. При подключении установки к интернету становится возможным наблюдать за ростом растений при помощи компьютера, смартфона или планшета.

Установка предусмотрена для выращивания растений в условиях защищенного грунта, что позволяет эффективно бороться со всевозможными видами болезней растений. Возможные направления использования установки:

- круглогодичное выращивание микро- и миниклубней картофеля;
- проращивание озимых в монолитах почвы для определения уровня гибели посевов;
- производство безвирусного посадочного материала вегетативно размножаемых культур посредством меристемной ткани (картофель, ягоды и др.);

- моделирование климатических условий природно-климатических зон в селекционном процессе различных культур;
- климатические испытания селекционного материала по фазам развития для определения уровня морозостойкости;
- подгонка фазы цветения сортов с различным вегетационным периодом для проведения гибридизации;
- гаплоидная селекция;
- оценка устойчивости селекционных достижений к болезням в различных климатических условиях;
- доращивание меристемных растений.

Гигантская теплица-сад оригинальной конструкции с регулируемым микроклиматом построена в Великобритании на территории Ботанического сада Уэльса (Wales Botanical Gardens) (рис. 2.57).



Рисунок 2.57 - Теплица-сад в Wales Botanical Gardens

Необыкновенное сооружение в виде стеклянного купола служит домом для растений более чем тысячи видов. В теплице нашли применение различные энергоэффективные технологии. В частности, она оснащена компьютерной системой управления отоплением, оптимизирующей расход энергии путем отслеживания температурных условий внутри и снаружи помещений, системой сбора дождевой воды и бойлером, работающим на биомассе.

Светопрозрачная крыша обеспечивает максимальное поступление естественного света. Стеклянные панели в крыше могут открываться для достижения требуемых уровней температуры, влажности и циркуляции воздуха.

При создании систем управления освещенностью теплицы следует учитывать, что растения адаптированы к тому спектральному составу излучения, который доходит до них в условиях их экологической ниши. Для правильного развития растений важно, чтобы они получали хорошо сбалансированный по спектру свет, поскольку разные спектральные диапазоны света оказывают различное физиологическое действие на растения. Например, красный свет оказывает ярко выраженное действие на фотосинтез, дальний красный – ярко выраженное регуляторное действие; зеленые лучи хорошо про-

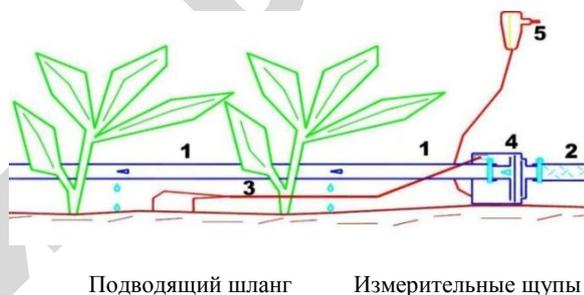
никают даже к листьям нижних ярусов, в то время как синие и красные лучи туда практически не доходят.

Из-за того что современные теплицы имеют значительные размеры, в них обычно применяются нерегулируемые системы освещения с фиксированным спектром и мощностью излучения, поскольку применение светодиодного освещения требует большого числа источников питания или проводов большого сечения для каждого цвета отдельно и отличается сложностью управления такой системой освещения.

В этой связи весьма эффективным может быть использование широкополосной системы, уникальность которой заключается в том, что она позволяет создавать регулируемое освещение растений, при этом регулировка спектра и уровня освещенности выполняется изменением частоты преобразователя напряжения.

В основу широкополосной системы освещения теплиц входят светильники на основе светодиодов различного спектра и резонансная система электропитания каждого цвета отдельно. Это обеспечивает требуемый спектральный состав потока света и освещенность на поверхности растений при минимальной потребляемой мощности.

Широкополосная система освещения с варьируемым спектром позволяет регулировать как общую величину светового потока, так и спектральный состав излучения. Это позволяет обеспечивать растениям для более эффективного их роста свет разного спектра в разные периоды развития.



Подводящий шланг

Измерительные щупы



Рисунок 2.58 - Автоматическая система полива IRROX

1 – капельная лента, 2 – подводящий шланг,  
3 – кабель с измерительными щупами, 4 – электроклапан, 5 – блок питания

Для контроля интенсивности светового потока служат специальные индикаторы, показывающие значения фотосинтеза активной радиации со спектральной чувствительностью, близкой к средней чувствительности листа.

Управление поливом. В ООО «Центр Теплиц» (Россия) разработана автоматическая система полива IRROX сельскохозяйственных культур в теплицах, которая правильно расходует воду и позволяет избежать пересушивания почвы (рис. 2.58). Контроллер определяет влажность почвы и управляет электроприводом клапана водопровода. Из корпуса клапана выходит кабель, на конце которого смонтированы щупы для определения влажности почвы. Последняя определяется на основе измерения электропроводности почвы, поскольку почва содержит соли и органические кислоты и ее электрическое сопротивление изменяется в соответствии с изменением влажности. Определяя влажность почвы щупами, контроллер выдает команду открыть или закрыть клапан для полива. Устройство настраивается на тип почвы, выполненные измерения позволяют определить требуемое время полива с учетом установленной нормы расхода воды.

**Роботы в теплицах.** Создание мобильных робототехнических устройств для тепличных комплексов сопряжено с определенными трудностями, обусловленными специфическим микроклиматом в теплицах (повышенная влажность, газообразование) и ограниченными размерами теплиц, не позволяющими применять серийную сельскохозяйственную технику. В то же время стандартные габаритные размеры, ровная, ограниченная контуром поверхность почвы, более широкая возможность использования направляющих рельсов и подводящих электрокабелей обеспечивают им заметные преимущества и широкие возможности роботизации.

Специалисты Массачусетского технологического института (США) спроектировали многофункциональный робот, предназначенный для выращивания помидоров сорта cherry в теплице (рис. 2.59). Робот оснащен манипулятором с мягкими захватами, позволяющими брать, не повреждая, помидоры, а также насосами для подачи воды. Он может вносить воду и питательные вещества в почву, следить за параметрами микроклимата в теплице, опылять помидоры, находить и снимать созревшие помидоры. При этом растения с помощью множества датчиков через сеть дают роботу сигналы, когда им нужна вода или питательные вещества. Программное обеспечение определяет спелость плода, сверяясь с элементарной моделью роста плодов cherry. Основной сложностью для создателей было конструирование манипулятора, так как плоды могут расти в самых неожиданных местах.



Рисунок 2.59 - Многофункциональный робот для выращивания помидоров (Массачусетский технологический институт)

Компьютерная система связывает робота с каждым растением благодаря множеству датчиков, сигнализирующих о недостатке воды или удобрений. По сигналу датчика робот подъезжает к растению и выполняет необходимые операции. При этом каждое конкретное растение способно контролировать собственное физическое состояние и по мере необходимости подавать роботу сигнал о необходимости полива или внесения питательных веществ, что позволяет сокращать объем их потребления, кроме того, роботы убирают урожай, уменьшая объем ручного труда.

У фермеров Голландии получил распространение робот, который выращивает салат в гидропонной теплице. Салат выращивается по технологии, известной как технология пленочного питания. Манипулятор робота помещает молодые растения салата в лотки, которые выстроены в ряды и в совокупности образуют искусственное «поле». В каждый лоток подается вода, обогащенная питательными веществами, благодаря чему все растения растут быстро и одновременно.

Японскими инженерами (Japan's National Agricultural and Food Research Organization) предложен робот для сбора земляники. Двигаясь по оранжерее вдоль грядки с садовой земляникой, он находит ягоды, аккуратно срезает их с ветки и укладывает в поддон. Видеокамеры позволяют роботу с большой точностью определять местонахождение ягод, а специально разработанная компьютерная программа помогает по цвету земляники определить степень ее зрелости, так что сбору подлежат только зрелые ягоды. Разработчики утверждают, что использование робота позволяет на сорок процентов сократить время уборки урожая (чтобы срезать одну ягоду роботу требуется в среднем около 10 секунд). Кроме того, робот, по мнению его создателей, может быть адаптирован для сбора самых разных сельхозпродуктов, произрастающих в оранжереях кустовым способом, например, помидоров или лимонов.



Рисунок 2.60 - Робот фирмы Romobility Youto для сбора клубники

Фирмой Romobility Youto (Япония) создан робот для сбора клубники в оранжереях (рис. 2.60). Он оснащен чувствительной к цвету видеокамерой, позволяющей ему не только идентифицировать ягоды среди листвы, но и определять степень их зрелости.

### **Часть 3 Умная техника для животноводства**

#### **3.1 Оборудование молочных ферм**

Молочное животноводство играет ведущую роль в животноводческой отрасли многих стран мира. Анализ современных мировых тенденций развития молочного животноводства показывает, что оно направлено на обеспечение высоких надоев, улучшение качества молока и снижение себестоимости его производства на основе полной автоматизации практически всего спектра оборудования для выполнения технологических процессов на молочных фермах.

Главной целью автоматизации молочного производства является совершенствование методов содержания, кормления и доения коров, формирование условий для поддержания на высоком уровне их физиологического состояния и молочной продуктивности.

Проектирование автоматизированных технологий производства молока следует осуществлять на основе соответствующих методологических подходов с учетом всей имеющейся нормативно-справочной информации, а также баз данных по технологическому оборудованию и производственным помещениям. При этом важным этапом проектирования является расчет производственно-технических параметров ферм при условии соблюдения зооветеринарных требований по формированию технологических групп животных и их обслуживанию в соответствии с фазами биологического цикла.

К основным факторам использования автоматизированных технологий в молочном производстве относятся оптимизация производственных процессов, сокращение затрат на рабочую силу, улучшение условий труда. Так, согласно расчетам компании GEA на коммерче-

ской молочной ферме, использующей традиционные технологии, около 39 % рабочего времени затрачивается на доение, 17 % – на кормление, 15 % – на решение управленческих задач, 7 % – на смену подстилки, 22 % – на другие процессы. Поэтому производство автоматизированного оборудования для нужд молочного животноводства растет с каждым годом. Так, по данным исследований Вагенингенского университета (Нидерланды), объем продаж автоматизированных систем доения на мировом рынке вырастет в ближайшие пять лет (к 2020 г.) почти в два раза.

В последние годы все большее внимание уделяется интеллектуализации молочного животноводства. Многие фирмы, выпускающие оборудование для молочного производства, разрабатывают разнообразные по своим функциональным возможностям интеллектуальные системы управления молочными фермами, а также робототехнические комплексы, способные выполнять различные виды работ на молочных фермах.

Особое значение имеет автоматизация доения, в частности, создание роботизированных доильных установок, что не только обеспечивает повышение эффективности доения, но также ведет к существенному изменению порядка управления стадом на молочных фермах.

Традиционно коров принято доить регулярно, с определенными интервалами. Однако такое строго регламентированное доение ограничивает время фермера. В последние годы, в связи с развитием автоматизации доения, получили распространение технологии добровольного доения, которое дает возможность каждой корове самой решать, когда ей надо доиться, а когда и сколько отдохнуть. Эти технологии получили свое практическое воплощение в роботах-доярах, которые фактически представляют собой автоматизированные системы добровольного доения.

На фермах, оснащенных доильными роботами и использующих схемы добровольного доения, коровы могут постоянно находиться в коровнике, отдыхая или питаясь в зоне свободного передвижения. Если коровы выходят из коровника на выпас, то на пастбище выпускают через селективные ворота только тех коров, которые уже выдоены. Чтобы корова зашла в роботизированную доильную установку, ее привлекают концентрированными кормами, которые размещают в специальной кормушке. В доильной установке коровы идентифицируются, благодаря чему те коровы, которых недавно выдоили, выпроживаются из доильной установки в зону свободного передвижения.

В молочном животноводстве применяют как привязное, так и беспривязное содержание коров.

Привязное содержание позволяет организовать кормление и доение коров, при которых более удобно учитывать физиологическое состояние каждой коровы. Однако при привязном содержании ограничиваются возможности автоматизации работ, выполняемых на молочных фермах.

Беспривязное содержание предусматривает содержание животных на ферме без фиксации в стойлах. Тем самым им предоставляется свободное перемещение как внутри помещения фермы, так и на выгульных площадках. Таким образом, для животных создаются условия, оптимально подходящие для их естественной жизнедеятельности и для промышленного производства молока. Главное преимущество беспривязного содержания – высокая производительность труда, которая достигается благодаря автоматизации всех трудоемких процессов, в том числе благодаря широкому применению роботизированного технологического оборудования.

### 3.1.1 Интеллектуальные системы управления стадом

Основное назначение систем управления стадом – контроль состояния здоровья животных, важным индикатором которого является их двигательная активность. В этой связи представляет интерес система мониторинга состояния здоровья жвачных животных RumiWatch фирмы ITIN+НОСН (Швейцария).

Система RumiWatch определяет изменения в поведении коров при пережевывании жвачки, поедании кормов, потреблении воды, передвижении и отдыхе в режиме реального времени. Для этого используются два сенсора: один регистрирует жевательные движения коровы (закреплен на ее переносице), другой – перемещения коровы (закреплен на ее ноге) (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 - Система мониторинга состояния здоровья коров RumiWatch: сенсор жевательных движений (слева) и сенсор-шагомер

Принимаемая сенсорами информация передается беспроводным способом на компьютер. Сенсоры закрепляются на каждом животном, так что обеспечивается возможность постоянно наблюдать за состоянием здоровья каждого животного в отдельности. Так, установленное

снижение количества жевательных движений за определенный период времени свидетельствует о нарушениях в работе органов пищеварения коровы или об ошибках в подборе рациона кормления. О наличии проблем со здоровьем свидетельствует также снижение активности перемещений животного. Если же эта активность, наоборот, чрезмерно высокая, то это означает, что у животного наступил период охоты.

Для контроля состояния здоровья животных важно иметь сведения о динамике массы каждого животного (уменьшение массы является одним из симптомов заболевания животного). Эта задача может быть решена с помощью системы optiCOW фирмы Hlscher+Leuschner (Германия), служащей для автоматического определения размеров и веса коров.

Каждая корова распознается с помощью RFID-техники (radio-frequency identification – радиочастотная идентификация) в специальном проходном загоне для животных. Радиочастотное распознавание осуществляется с помощью специальных меток, несущих идентификационную информацию (обычно коровы носят RFID-бирки в ушах). Здесь же, в проходном загоне коровы снимаются на трехмерную камеру и автоматически взвешиваются. Математико-статистическая аналитическая программа создает трехмерную модель задней части животного и по полученным данным делается индекс кондиции тела коров BCS (Body Condition Score), т.е. делается оценка упитанности коров. По величине упитанности судят о том, имеется ли у коровы запас питательных веществ, которые она использует для производства молока.

Обрабатывающая трехмерные изображения программа позволяет представлять объективную информацию о динамике массы каждой коровы в течение всего периода лактации. Благодаря системе optiCOW фермер без дополнительных трудовых затрат получает необходимые сведения о физическом и физиологическом состоянии коровы и может оперативно управлять продуктивностью стада, внося коррективы в рацион кормления и условия содержания.

Системы управления стадом (подобные рассмотренным выше) создаются и другими фирмами.

Так, система управления стадом DMS 21 (Dairy Management System 21) фирмы Westfalia Surge (Германия) имеет программное обеспечение DairyPlan C21, благодаря которому в любой момент времени можно получать необходимые сведения о продуктивности животных, а также о производственных процессах посредством составления отчетов, базирующихся на автоматической регистрации или ручном вводе данных. В состав системы входит устройство Rescounter, служащее для идентификации животных, а также для определения их двигательной активности (через каждые 2 часа). Вся

собранный информация закладывается в базу данных компьютера и отображается на мониторе в виде таблиц и графиков.

Дополнительно, для контроля состояния здоровья животных, система DMS 21 оснащена высокоточными ( $\pm 1$  кг) автоматическими весами Taxatron и селекционными воротами Autoselect. Селекционные ворота, управляемые фотоэлементом и приводимые в действие вакуумной системой доильной установки, предназначены для организации прохода животного через весы, которые мгновенно передают результаты взвешивания на дисплей при наличии системы идентификации в базу данных системы управления стадом. После каждого взвешивания весы автоматически тарируются. Предельная масса взвешивания 1000 кг, в час взвешивают 240 коров. Автоматические весы с селективными воротами могут устанавливаться как перед доильной установкой, так и после нее.

Автоматические весы, селекционные ворота и система идентификации, включенные в общую систему управления стадом, позволяют отслеживать динамику массы животных и при необходимости (когда масса чрезмерно снижается) направлять животных в специально выделенную зону для обследования.

Фирма VouMatic Gascoigne Melotte (Ирландия) выпускает автоматическое устройство StepMetrix, которое позволяет на ранних стадиях распознавать скрытые проблемы с копытами у животных путем исследования их передвижения. При прохождении животных по платформе переходного бокса StepMetrix измеряется воздействие конечностей животного на его поверхность с помощью датчиков, установленных под полом. Полученные данные передаются в процессор SMX StepAnalyzer. С помощью процессора и аналитического устройства SMX Interpreter выполняется анализ переданных сведений и оценивается поведение коров при ходьбе. Оценка осуществляется исходя из того, что шаговая схема движения является в достаточной степени индивидуальной для каждого здорового животного, поэтому любые отклонения в движении коровы (например, хромота) свидетельствуют о проблемах со здоровьем.



Рисунок 3.2 - Идентификационный датчик системы Qwes, в ошейник коровы

Достоинством устройства StepMetrix является то, что оно проводит мониторинг состояния здоровья животных в автоматическом режиме ежедневно круглый год. Собранная информация сохраняется в компьютере.

Фирмой Lely (Нидерланды) предложена система распознавания животных Lely Qwes, основным компонентом которой является идентификационный датчик, встроенный в ошейник (рис. 3.2). Уровень активности животных определяется специальным датчиком, который измеряет интенсивность и длительность движения, а не просто регистрирует шаги. Система также позволяет определять состояние здоровья коровы путем измерения активности жевания.

Преимуществом системы является то, что устройства идентификации, которые загружают данные с датчика на ошейнике, могут быть установлены в различных местах молочной фермы, например в доильном зале или на кормовой станции. Благодаря применению этой системы может быть обеспечено проведение в требуемое время осеменения, оптимизировано воспроизводство, сокращение интервалов между отелами, а также своевременное выявление первых признаков заболеваний животных.

Одним из направлений совершенствования систем управления стадом является повышение удобства работы обслуживающего персонала молочной фермы. Как пример – беспроводная система взвешивания Feed Manager, которой оснащаются кормосмесители-кормораздатчики серии Feeder vm фирмы JF-Stoll (Дания).



Рисунок 3.3 - Схема беспроводной связи терминалов системы Feed Manager

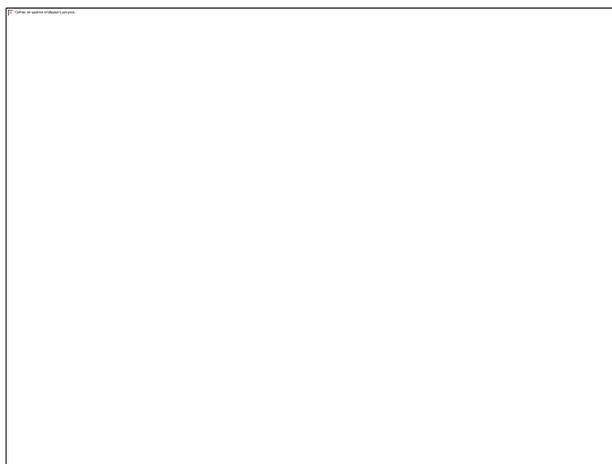


Рисунок 3.4 - Дисплей главного терминала системы Feed Manager, установленный в кабине смесителя-кормораздатчика Feeder VM

Система состоит из главного терминала и одного или нескольких портативных терминалов, которые по беспроводному каналу связи получают от кормосмесителя данные о загрузке и, кроме того, взаимодействуют между собой (рис. 3.3). Главный терминал с дисплеем обычно располагается в кабине погрузчика (рис. 3.4), чтобы можно было постоянно контролировать процесс загрузки – фиксировать дату и время загрузки, а также текущий вес загружаемых кормов. Кроме того, с помощью главного терминала можно создавать планы кормления и контролировать процесс их реализации, в частности, можно делить общий объем корма при выгрузке на порции с различным порядком их раздачи. Соответствующая информация пересылается с главного терминала на портативный терминал, который, при наличии в нем батареи питания, можно повсюду брать с собой.

Аналогичный технический подход к совершенствованию систем управления стадом предложен фирмой Westfalia Surge (Германия). Согласно этому подходу фермеры для расширения возможностей по оперативному управлению стадом снабжаются карманными персональными компьютерами – КПК (Personal Digital Assistant, PDA – «личный цифровой секретарь»). С помощью программного обеспечения DPMobil, загруженного КПК, фермер получает доступ к информации о продуктивности животных, о процессах их доения и кормления, об их физиологическом состоянии, осеменении и другим сведениям, хранящимся в центральном компьютере автоматизированной системы управления стадом DMS 21. Это помогает ему принимать те или иные управленческие решения, находясь непосредственно в животноводческом помещении. Вся информация с центрального компьютера передается на КПК по каналам беспроводной связи через специальный порт путем нажатия одной клавиши.

Следующим этапом развития компьютерных технологий на молочных фермах является создание фирмой Isagri (Франция) портативных компьютеров Agri-Pocket с управлением от голосовых команд. Для реализации этой функции портативные компьютеры снабжены специальным распознающим голосовые команды модулем и программой Isalait. Благодаря этому значительно сокращаются затраты времени на управление многочисленными стадами.

### 3.1.2. Роботы на молочных фермах

Анализ разработанных и поставляемых на рынок роботизированных систем для животноводства показывает, что в подавляющем большинстве они предназначены для использования на молочных фермах. Роботизируются в основном такие работы, обычное выполнение которых требует значительных затрат труда. К ним относятся, прежде всего, работы, связанные с кормлением и доением коров, а также очисткой коровников от навоза. Соответственно, разными фирмами выпускаются специализированные роботы, предназначенные для выполнения работ определенного вида: роботы-кормосмесители-кормораздатчики, роботы-пастухи, роботы-дояры, роботы-уборщики.

Вместе с тем предпринимаются отдельные попытки создания универсальных роботов, способных выполнять комплекс работ разных видов. Так, в Московском институте инженеров сельскохозяйственного производства им. В. П. Горячкина разработана робототехническая система для животноводческих ферм (робот-скотник), в функции которой входит: распознавать и маркировать животных, переводить их в те или иные помещения, раздавать им корм, следить за состоянием их здоровья, в том числе взвешивать их, а также контролировать температуру и влажность воздуха в помещениях и проводить уборку помещений, в том числе мыть стены.

В целом благодаря роботизации молочных ферм повышаются качество выполняемых работ и производительность труда, уменьшаются потери рабочего времени и электроэнергии, коровы приучаются изо дня в день к повторению одних и тех же действий, что существенно снижает риск возникновения стрессов, повышает продуктивность коров и продлевает их жизненный цикл. Также благодаря роботизации совершенствуется контроль соблюдения требований гигиены, что способствует улучшению здоровья животных и, как следствие, увеличению надоев и качества молока.

**Роботы-кормосмесители-кормораздатчики.** Фирма Pellonpaja OY (Финляндия) разработала несколько вариантов автоматизированных систем кормления животных на молочных фермах на основе использования робототехники.

Для кормления животных при беспривязном содержании предлагается использовать автоматизированную систему, главным функциональным узлом которой является робот Pellon TMR, способный выполнять как приготовление кормосмеси, так и раздачу корма. Он набирает из раздатчика заданные количества предварительно измельченных кормовых компонентов, необходимых для получения требуемой смеси, и смешивает их в момент подачи на кормовой стол. Комбинированное смешивание, осуществляемое с помощью шнека и цепного транспортера, обеспечивает быстрое получение однородной смеси.

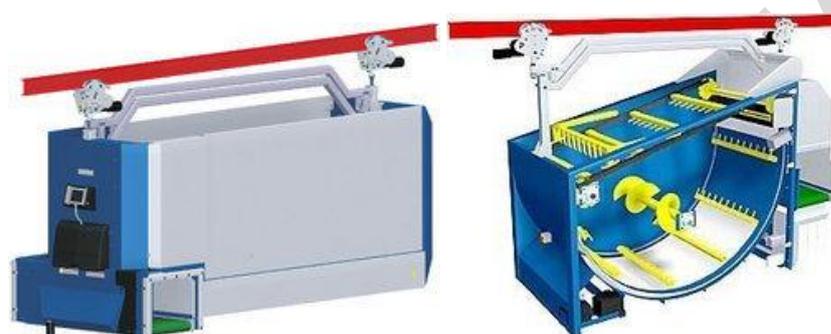


Рисунок 3.5 - Внешний вид и конструкция робота Pellon TMR

Робот-кормосмеситель-кормораздатчик выполнен в виде подвешенного бункера (рис. 3.5). Он совершает запрограммированные многократные перемещения по монорельсу вдоль боксов для содержания животных (монорельс закрепляется в верхней части помещения) (рис. 3.6). При его движении корм автоматически подается через выгрузной патрубок на кормовой стол непрерывным потоком. Робот подвешен на тензодатчике, что обеспечивает возможность подачи отмеренного по весу корма определенным группам животных.

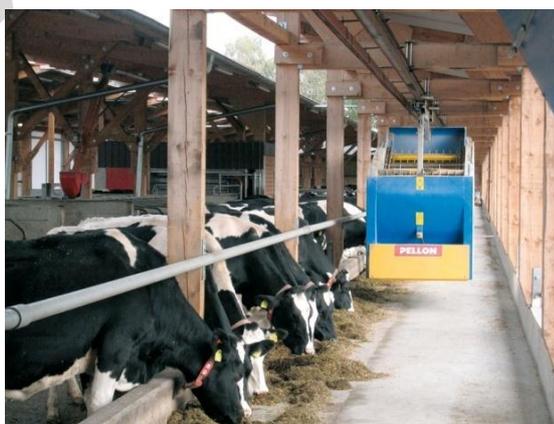


Рисунок 3.6 - Подача кормов в коровнике с помощью робота Pellon TMR

Загрузка компонентов, соблюдение заданной их комбинации, а также распределение корма зависит от весовых данных, управление

которыми осуществляет компьютерная система управления Graphics согласно установленному графику. Осуществляемое этой системой программирование количества животных, времени и частоты раздачи корма, а также состава кормосмеси для группового кормления обеспечивает постоянную подачу свежего корма в желаемых пропорциях для каждой коровы. Это оптимизирует процесс жевания, позволяя тем самым получать надои молока с учетом генотипа животных при одновременном поддержании их здоровья.

Для кормления животных при привязном содержании разработан робот-кормосмеситель-кормораздатчик Pellon Combi, позволяющий осуществлять индивидуальное кормление животных в соответствии с запрограммированным рецептом. Робот готовит кормосмеси с помощью поперечного раздаточного ленточного транспортера, оснащенного устройством электронного взвешивания. На транспортер дозаторами (работают в согласованном с устройством взвешивания режиме) из соответствующих бункеров подается запрограммированная порция грубых и концентрированных кормов. Исходные компоненты кормосмеси смешиваются в ходе их дозирования на поверхности транспортера. Готовая порция кормосмеси транспортером выгружается конкретному животному в кормушку или на кормовой стол.

Для раздачи предварительно приготовленной кормосмеси или грубых кормов предлагается робот-кормораздатчик Pellon Silage, который благодаря высокой точности дозирования можно использовать для кормления животных как при беспривязном, так и при привязном содержании.

Фирма Mullerup (Дания) также предлагает различные варианты автоматизированных систем кормления животных на молочных фермах (по назначению и исполнению они аналогичны рассмотренным выше системам Pellon). В частности, фирмой разработаны:

- робот-кормосмеситель-кормораздатчик Mix Feeder, который позволяет готовить кормосмеси и раздавать их в коровниках с различными системами содержания животных (беспривязной или привязной) в автоматическом режиме (под управлением компьютера) или вручную;

- типоразмерный ряд роботов-кормораздатчиков серии Free Stall Feeder с бункерами различной вместимости для раздачи предварительно приготовленной кормосмеси.

- система Mix&Carry для кормления молочного стада с большим поголовьем (до 1000 коров) при беспривязном содержании, состоящая из подвешенного робота-кормораздатчика Mix&Carry Feeder, способного обслуживать до 20 групп животных, выдавая до 30 типов рационов

кормосмесей, и кормосмесителя MVM, оснащенного электронной системой взвешивания.

Фирма Trioliet (Нидерланды) выпускает роботизированную систему кормления коров Triomatic. Для бесперебойной работы системы необходимо лишь поддерживать требуемый запас кормов – все остальные операции выполняются автоматически в соответствии с заданной программой кормления животных.

Система состоит из кормозаготовительного отделения и подвешенного робота-кормораздатчика, перемещающегося по монорельсу. В кормозаготовительном отделении установлены отсеки для накопления и хранения исходных компонентов кормосмеси (на несколько дней) в различном виде (тюки, рулоны и др.). Днище каждого отсека выполнено в виде транспортера, перемещающего размещенный на нем корм к передней торцевой части отделения, над которой установлена подвижная режущая система, производящая выемку заданного количества корма из указанного отсека. Отобранные компоненты кормосмеси подаются транспортером в бункер робота-кормораздатчика. Корма поступают в бункер дозировано, в соответствии с запрограммированным рецептом, благодаря наличию в работе электронной системы взвешивания. Кормосмесь готовится с помощью устройства для измельчения и смешивания, состоящего из двух шнеков.

Вся работа системы кормления управляется компьютером с помощью специально разработанной программы, которая позволяет выбирать рационы, время и периодичность кормления по группам животных и др.

Усовершенствованная модель системы Triomatic, помимо кормления коров, может разбрасывать солому на подстилку в боксах для отдыха животных или клетках для их группового содержания.

В последнее время получили распространение роботы для приготовления кормосмесей и раздачи кормов, движение которых осуществляется посредством не монорельса, а автомобильного шасси. Примером тому является разработанный фирмой Schuitemaker Machines B. V (Нидерланды) робот-кормосмеситель-кормораздатчик Innovado.

Все рабочие органы робота размещены на шасси, которое имеет четыре колеса с полным приводом и возможностью управления направлением движения каждого колеса в отдельности. Привод осуществляется от электродвигателя с аккумуляторной батареей.

Система управления робота обеспечивает выполнение в автоматическом режиме всех технологических операций выемки, приготовления и раздачи кормосмесей, а также перемещение робота по заданному маршруту, который задается с помощью специальных ин-

дукционных датчиков, размещенных под поверхностью дорожного полотна. При этом перемещение робота в заданном направлении осуществляется с помощью гироскопа.

Безопасная эксплуатация робота обеспечивается благодаря установленному на нем лазеру, который сканирует близлежащее пространство на предмет присутствия людей, животных и других объектов. Если они встречаются на пути движения робота, то он немедленно останавливается.

Программное обеспечение системы управления позволяет роботу осуществлять забор кормов из нескольких хранилищ, обслуживая при этом различные группы животных в разных помещениях и приготавливая им соответствующие каждой из групп рецепты кормосмесей.



Рисунок 3.7 - Роботизированная система смешивания и подачи корма Vector

Фирма Lely разработала автоматическую систему кормления коров, включающую кормовую кухню и робота для смешивания и подачи корма Vector. Исходные корма нескольких видов, приготовленные на кормовой кухне, передаются устройством захвата роботу, который их смешивает и подает смешанный рацион в нужное место кормовой аллеи коровника. Основные конструктивные элементы робота (рис. 3.7):

- вертикальный перемешивающий шнек (контрнож позволяет перемешивать сено, а также другие виды корма);
- антенна (служит для беспроводной связи между компонентами системы кормления);
- распределитель (распределяет корм вдоль кормового стола; количество корма определяется скоростью движения);
- тензодатчик (составляет правильную порцию и определяет правильное количество корма для дозирования);
- ультразвуковой датчик (обеспечивает следование робота вдоль кормового стола на заранее заданном расстоянии);
- аварийная остановка и кнопка паузы (служат для немедленной остановки или выключения системы в случае необходимости);
- бампер (гарантирует немедленную остановку системы в случае столкновения с препятствием);
- адаптер (обеспечивает соединение с зарядной станцией);
- датчик высоты слоя корма (измеряет количество корма на кормовом столе и определяет, где и когда требуется добавить свежий корм).

На молочных фермах с беспривязным содержанием животных раздача грубых кормов или кормосмесей осуществляется на кормовой стол, преимущества которого перед кормушкой заключаются в удобстве обслуживания и более низких затратах труда на его очистку от остатков корма. Вместе с тем из-за поведенческого стереотипа выборочного поедания корма коровами вскоре после начала кормления часть корма оказывается вне зоны их досягаемости. Поэтому приходится сдвигать корм ближе к кормовой решетке, что обычно делается несколько раз в сутки. Выполнение этой операции вручную требует значительных трудовых затрат. Поэтому для сдвигания корма в зону досягаемости его животными производится соответствующее робототехническое оборудование.



Рисунок 3.8 - Подравнивание кормов в коровнике с помощью робота Juno

Пример тому – роботизированная установка для сдвигания корма Butler фирмы Wasserbauer (Австрия). Рабочий орган установки выполнен в виде поперечного вертикального конвейера, привод которого осуществляется от электродвигателя. Установка перемещается по рельсовой направляющей, смонтированной на стойловом оборудовании над кормовыми решетками. В соответствии с заданной программой робот до 12 раз в сутки перемещается вдоль фронта кормовых решеток и за счет вращения конвейера сдвигает корм в зону досягаемости его животными.

Еще один подобный пример – роботизированный подравнитель кормов Juno фирмы Lely. Робот представляет собой самоходное устройство, размещенное на колесах. Робот автоматически перемещается по кормовому проходу, следуя вдоль ограждения у кормового стола. Во время движения он пододвигает корм к ограждению, не причиняя беспокойства коровам (рис. 3.8). Сдвигание корма в зону досягаемости его животными осуществляется путем вращения рабочего органа цилиндрической формы с приводом от электродвигателя, роль которого выполняет наружный кожух корпуса робота.

На основании анализа информации, поступающей от гироскопа, установленного в корпусе робота, бортовой компьютер определяет направление движения робота. Пройденное им расстояние вычисляется по результатам обработки информации, получаемой от размещенных на приводных колесах датчиков, которые подсчитывают число оборотов колес. Расстояние робота от кормовой решетки по мере его продвижения по кормовому проходу постоянно контролируется ультразвуковым датчиком.

Маршрут движения робота задается вручную путем программирования бортового компьютера. На маршруте движения робота размещается станция для подзарядки аккумулятора, путь к которой также программируется. Для обозначения направления движения по выбранному маршруту в начале и конце пути робота размещаются маркеры в виде металлических планок.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства разработан роботизированный кормосмеситель-кормораздатчик для работы на молочных фермах. Основное его преимущество – полная автономность. Для обеспечения бесперебойной работы кормораздатчика при отсутствии контроля со стороны оператора мобильному модулю необходим алгоритм самостоятельного принятия решений при возникновении препятствий на пути следования и прочих нештатных ситуациях. Задачи навигации предложено решать с помощью нечеткого контроллера.

В нечеткой логике используются 6 лингвистических переменных, выбранных в соответствии с общими представлениями человека о том, как пройти из точки А в точку Б, миновав препятствие:

1. «Расстояние до препятствия» («Близко», «Далеко»)
2. «Положение препятствия» («Спереди», «Слева», «Справа», «Сзади слева», «Сзади справа»)
3. «Расстояние до финиша» («Близко», «Далеко»)
4. «Положение финиша» («Спереди», «Слева»)
5. «Скорость» («Быстро», «Стоять», «Назад»)
6. «Угловая скорость» («Поворачивать налево», «Поворачивать направо», «Не поворачивать»).

Для более высокого интеллектуального уровня поведения робота лучше использовать сложные правила, состоящие из трех или четырех условий. Для решения этой задачи было составлено 45 правил. Так, если препятствие далеко (дальше 2-х метров), то робот движется с максимальной скоростью. Если препятствие перед роботом, а расстояние до него меньше 2-х метров, то робот начинает снижать скорость. Если препятствие непосредственно перед роботом, он остановится совсем. При этом если препятствие далеко сбоку, то робот проедет быстро, а если близко сбоку, то робот также снизит скорость, чтобы избежать столкновения.

**Роботы-пастухи.** Одним из эффективных способов снижения себестоимости молока за счет уменьшения издержек на корма является использование для кормления коров пастбищ. Однако выпас животных на обычном пастбище ведет к снижению эффективности использования кормовых ресурсов из-за вытаптывания и загрязнения фекалиями определенной части угодий. В связи с этим для выпаса целесообразно применять так называемые «фронтальные» пастбища (в виде фронтальной полосы). Ограничение участка со свежей порцией растительного корма под скормливание его животным на таком пастбище проводится с использованием электроизгородей. Это позволяет значительно повысить эффективность использования кормовых ресурсов пастбища, однако при этом существенно увеличиваются затраты труда, так как перестановку электроизгороди на новый участок пастбища проводят вручную.

Для минимизации затрат ручного труда при выпасе коров на «фронтальном» пастбище фирма Lely разработала автоматическую пастбищную систему Voyager, представляющую собой своеобразную мобильную электроизгородь.



Рисунок 3.9 - Схема функционирования автоматической пастбищной системы Voyager



Рисунок 3.10 - Робот-пастух автоматической пастбищной системы Voyager

Система состоит из двух мобильных роботов, соединенных друг с другом токопроводящей проволокой (электроизгородью), которая ограничивает участок для выпаса животных. Перемещаясь в автоматическом режиме на определенные расстояния через установленные промежутки времени по обе продольные стороны «фронтального» пастбища, роботы всякий раз освобождают новый участок для скармливания его коровам (рис. 3.9). Катушка натяжения, находящаяся у одного из роботов, поддерживает проволоку в постоянном напряжении, позволяя роботам по необходимости сближаться и расходиться в их следовании по неровным границам. Оба робота сообщаются посредством беспроводной связи Bluetooth.

Роботы имеют автономное электропитание благодаря оснащению каждого робота солнечной панелью (рис. 3.10). Каждый робот также оснащен: системой управления; следящим устройством для обеспечения движения робота параллельно направляющей продольной проволоки на определенном расстоянии от нее; шокowym устройством, удерживающим животных на определенном расстоянии от робота.

Режим движения роботов (расстояние и временные интервалы между перемещениями) программируется оператором в зависимости от размера стада, ширины «фронтального» пастбища и используемого кормового рациона. В частности, роботы могут быть запрограммированы на загон коров в стойло на дойку в установленное время суток.

Благодаря постоянному доступу животных к свежим порциям травы значительно уменьшается их конкуренция, поэтому стадо находится в спокойном состоянии, меньше подвергаясь стрессам, что способствует повышению продуктивности коров.



Рисунок 3.11 - Роботизированная доильная установка Astronaut A4

**Роботы-дояры.** Эффективность использования роботизированных систем для доения заключается не только в известных преимуществах роботизации, таких как исключение ручного труда, повышение интенсивности использования оборудования и др., но и в создании физиологически более благоприятных условий содержания скота.

Доильные роботы начали разрабатываться в конце 70-х гг. Одним из первых их разработчиков была фирма Lely. Промышленное производство доильных роботов было впервые освоено фирмой Lely, которая и сегодня занимает лидирующие позиции в их создании. Одна из последних разработок фирмы – роботизированная доильная установка Astronaut A4 (рис. 3.11).

Главная составная часть конструкции установки – доильный аппарат, который содержит центральный блок, подающий электропитание, воду, моющие и дезинфицирующие растворы, а также регулирующий подачу сжатого воздуха и вакуума, и два роботизированных блока, где происходит доение коров (непосредственно процесс доения осуществляется в доильном боксе роботизированного блока).

Порядок всей работы робота задается системой управления, которая оснащена программным обеспечением Т4С, позволяющим отражать все данные о процессе доения каждой коровы на экране компьютера, для того, чтобы фермер мог своевременно принять правильное управленческое решение. Программа оснащена системой предупреждения, которая при необходимости оповещает фермера о сбоях в технологическом процессе и реализует функцию дистанционного управления работой доильного робота.

Процесс доения включает следующие основные стадии:

- 1) вход коровы в доильный бокс;
- 2) обнаружение и идентификация коровы;

- 4) подготовка к доению;
- 5) доение;
- 6) выход коровы из бокса.



Рисунок 3.12 - Доильный бокс робота Astronaut A4

Доильный бокс имеет конструктивное исполнение «I-flow», которое обеспечивает быстрый вход/выход коровы благодаря тому, что корова заходит в бокс и выходит из него поступательно, без поворотов (рис. 3.12). Это облегчает и ускоряет процесс приучения коровы к доению. Корова входит в бокс через входные ворота, которые открываются в тех случаях, когда роботизированный блок находится в состоянии эксплуатации, бокс является пустым и не иницирован процессом очистки.

Система обнаружения коровы фиксирует вхождение коровы в бокс, а также координаты местоположения и все перемещения коровы в боксе, для чего применяется 3D-камера. При этом предоставляется возможность свободного перемещения коровы в боксе вместе с рукой-манипулятором доильного аппарата, что обеспечивает удобное позиционирование в доильном боксе животных разного размера.

После того как корова оказалась в боксе, устройство считывания меток идентифицирует корову по метке, прикрепленной к ее шее, уху или ноге. После идентификации коровы робот определяет, нужно ли доить эту корову. Для этого проверяется интервал времени между двумя доениями. Если этот интервал слишком короткий, то корова должна выйти из бокса.

Подготовительные операции к доению включают установку доильных стаканов и обработку вымени. Стаканы устанавливаются с помощью руки-манипулятора доильного аппарата, а вымя обрабатывается с помощью щеток, размещенных на манипуляторе (во время последующего доения щетки дезинфицируются).

Для размещения доильных стаканов точно под сосками манипулятор перемещается по горизонтали (вперед/назад и вбок) и по вертикали. Перемещение манипулятора происходит в два этапа. На первом этапе определяется положение вымени, для чего используется система обнаружения коровы, формирующая 3D-изображение животного. На втором этапе используется система обнаружения сосков, формирующая 3D-изображение вымени. Сначала манипулятор размещается таким образом, чтобы щетки могли очистить и предварительно помассировать соски. Затем манипулятор переходит в положение, необходимое для прикрепления доильных стаканов к соскам.

Доильные стаканы, прикрепленные к соскам, удерживаются на заданном месте посредством всасывания за счет вакуума, создаваемого в стаканах. Зазор между гильзой и вкладышем доильного стакана обеспечивается попеременно за счет вакуума (вкладыш сжимается) и атмосферного давления (вкладыш разжимается). Когда вкладыш сжимается, молоко вытекает из соска и, наоборот, когда вкладыш разжимается, молоко не вытекает. Изменение давления стимулирует сосок и массирует его во время доения. Периодичность использования вакуума контролируется пульсаторами 4Effekt. Рабочий вакуум в молокопроводе позволяет молоку течь по молокопроводу, в то время как в выпускные отверстия у основания доильных стаканов поступает воздух.

Робот оснащен системой контроля молока MQS, которая расположена в манипуляторе, рядом с выменем. Эта система при каждом доении коровы определяет объем (выход) молока, время сдаивания первых струек молока, время доения и скорость молокоотдачи из каждой четверти вымени. Одновременно она контролирует качество молока (по заборам проб с каждой четверти вымени), а именно: цвет, проводимость и температуру молока, содержание в нем белка/жира и лактозы, а также определяет категорию молока, в зависимости от количества соматических леток в молоке. Кроме того, система наделена функцией распознавания водянистого молока, наличие которого может быть признаком инфицирования бактериями E-coli, а также функцией распознавания мастита.

В начале процесса доения интегрированное в доильный аппарат устройство предварительного сдаивания собирает первое молоко и обеспечивает его утилизацию, не допуская попадание в молочную цистерну первых миллилитровых порций молока из каждого соска (отделение первых струек молока, содержащих наибольшее количество бактериальной микрофлоры, способствует продлению сыропригодности молока).

Благодаря системе MQS определяется нужный момент времени для снятия доильных стаканов при завершении доения, а также обес-

печивается оптимальное функционирование пульсаторов 4Effekt. Если система выявляет низкокачественное молоко, то оно может быть автоматически отделено.

Доильные установки Astronaut оборудованы весовым помостом Gravitor. На нем расположены датчики веса, посредством которых вес коровы измеряется до и после доения. Вес коровы используется в качестве информации о состоянии коровы. Программа T4C учитывает постепенное увеличение веса животного по отношению к первоначальному весу, так что при зафиксированной потере веса фермер может своевременно предпринять необходимые меры.

После окончания доения доильные стаканы отсоединяются по отдельности от сосков, соски опрыскиваются, передние ворота бокса открываются, и корова выходит из бокса.

В боксе осуществляется позиционирование коровы путем автоматического перемещения находящейся перед ней кормушки с учетом индивидуальных размеров животного (ввод данных о размерах проводится однократно при первом доении). Для того чтобы обеспечить выход коровы из бокса кормушка убирается.

Роботизированные доильные установки, аналогичные установкам Astronaut фирмы Lely, производятся рядом фирм. При этом каждая фирма, как правило, вносит в конструкцию создаваемых роботов-дояров свои инновационные технические решения.

Фирма Fullwood (Великобритания) выпускает робот Merlin, в котором для идентификации животных используются транспондеры, которые в сочетании с программой Crystal позволяют своевременно выявлять животных, находящихся в состоянии половой охоты. После распознавания коровы робот посредством программы определяет, следует ли доить ее или нет, исходя из того, что для выполнения дойки в вымени должно быть не нее 7 л молока.

Фирмы Insentec, Christensen и VouMatic (Франция) производят доильные роботы, имеющие общее концептуальное построение, которое заключается в следующем: манипулятор устанавливается не в доильном боксе, а за его пределами и может обслуживать как один бокс, так и два бокса, расположенных параллельно друг другу. В последнем случае обеспечивается повышенная пропускная способность доильной установки.

Компания GEA Westfalia Surge (Германия) разработала многобоксовый доильный робот Mlone, который может содержать до пяти доильных боксов (рис. 3.13). Процесс подключения доильных стаканов в таком роботе состоит из трех последовательных действий: 1) позиционирование доильного модуля (каждый доильный бокс оснащен собственным доильным модулем); 2) определение месторасположения сосков вымени; 3) подключение стаканов к соскам. При этом позици-

онирование доильного модуля осуществляется с помощью манипулятора, который поочередно обслуживает все доильные боксы системы.



Рисунок 3.13 - Многобоксовый доильный робот Mlone

Стремление объединить преимущества роботизированного доения (точность операций, избавление от ручного труда) и быстроту обслуживания больших поголовий (одновременное доение большого количества животных) привело к созданию роботизированных роторных доильных установок – так называемых роботизированных «каруселей», где животные доятся одновременно большими группами, но при этом операции по обработке вымени проводятся роботами-манипуляторами, смонтированными на «карусели».

Компания DeLaval (Швеция) разработала автоматизированную доильную установку типа «карусель» AMR (Automatic Milking Rotary) (рис. 3.14). Установка рассчитана на 24 места и оснащена пятью роботами. Она представляет собой набор стойл, расположенных по кругу под углом к центру, где установлены три поста с манипуляторами, осуществляющими доение. На первом посту, как только корова ступила на «карусель» и ридер считал ее идентификационный номер, проводится подготовка сосков к доению. Эту операцию выполняют последовательно два манипулятора: один обмывает вымя, стимулирует и сдаивает первые струйки молока из задних сосков, другой проделывает то же самое с передними сосками. Затем к обоим манипуляторам попарно прикрепляются доильные стаканы: первую пару ставит один манипулятор, предварительно просканировав вымя, вторую – другой. По завершении доения, когда корова почти подъехала к выходу из «карусели», эстафету перенимает третий манипулятор: он обрабатывает соски после доения дезинфицирующим раствором.

Подобная роботизированная доильная «карусель» DairyProQ предложена компанией GEA Farm Technologies (Германия) (рис. 3.15). Она отличается тем, что роботами-манипуляторами оснащены все доильные посты «карусели», так что на каждом посту отдельный манипулятор осуществляет все операции с выменем (обработка сосков перед доением, прикрепление стаканов, дезинфекция после доения и др.) – подобно тому, как это делается как в индивидуальных боксах. Главное достоинство установки DairyProQ – высокая производительность: «карусель» может содержать от 16 до 80 мест для доения.



Рисунок 3.14 - Роботизированная доильная «карусель» AMR



Рисунок 3.15 - Роботизированная «карусель» DairyProQ

Животноводческих помещений является необходимым условием получения высококачественной продукции животноводства, обеспечения требуемого микроклимата и санитарного состояния ферм, сохранения здоровья животных и обслуживающего персонал. Влага и навоз часто являются источником инфекций копыт. Коровы с заболеваниями копыт дают меньше молока, им труднее передвигаться, охота часто протекает у них без явных признаков. Кроме того, скопление влажного навоза на щелевом полу, особенно около стойл, является источником загрязнения, снижающего качество молока.

Удаление навоза из помещений фермы является довольно трудоемким процессом. В связи с этим рядом фирм разработаны различные по конструктивному исполнению роботизированные установки – роботы-уборщики, обеспечивающие качественную и своевременную уборку навоза в коровниках и значительно сокращающие затраты труда.

**Роботы-уборщики.** Регулярная и полная уборка навоза из особенности конструкции навозоуборочных роботов зависят от их функцио-

нального назначения, т.е. от того, какие навозные проходы они должны очищать – со сплошными или щелевыми полами.

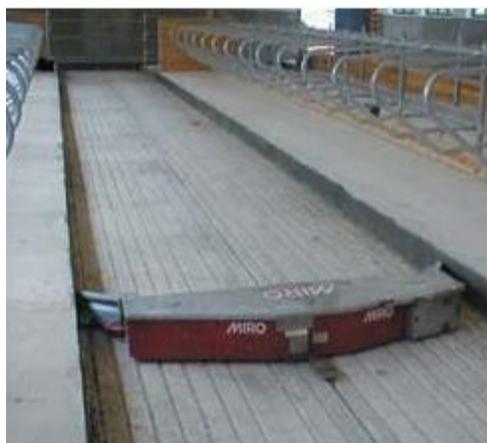


Рисунок 3.16 - Навозоуборочный робот Scarabeo

Для очистки навозных проходов со сплошными полами используются скреперные роботизированные установки, которые собирают навоз с их поверхности и транспортируют его к поперечному сборному навозному каналу.

Так, фирма Sermap Sa (торговая марка – MIRO, Франция) разработала навозоуборочный робот Scarabeo, предназначенный для уборки навоза из навозных проходов со сплошными полами (рис. 3.16).

Основными частями робота являются скрепер с регулируемыми боковыми лопастями, блок управления, зарядное устройство и направляющий профиль. Корпус скрепера установлен на колесах, приводимых в движение мотором-редуктором, питающимся от аккумуляторных батарей. При возврате в исходное положение скребки на корпусе скрепера и боковых лопастях автоматически приподнимаются. Направление перемещения робота задается за счет взаимодействия направляющих профиля скрепера с желобом, выполненным в навозном проходе помещения. При разветвлении навозных проходов предусмотрена возможность использования системы стрелок (по аналогии с железнодорожными путями) и уборки навоза поочередно из каждого из них. Блок управления обеспечивает работу установки в автоматическом режиме с возможностью дистанционного управления рабочим процессом. Безопасная эксплуатация робота обеспечивается благодаря функции его остановки при столкновении с препятствием.

При уборке навоза из навозных проходов, оборудованных щелевыми полами, основными функциями роботов-уборщиков являются сбор и проталкивание навозной массы через щели в подпольное пространство, где она накапливается или удаляется с помощью механических или гидравлических систем.

Так, фирма Lely разработала навозоуборочный робот Discovery предназначенный для уборки навоза из навозных проходов со щелевыми полами (рис. 3.17).



Рисунок 3.17 - Навозоуборочный робот Discovery

Робот питается от аккумуляторной батареи и после каждого цикла уборки возвращается к зарядной станции, которая расположена в удобном месте коровника. Эта зарядная станция также служит отправной точкой каждого маршрута. Рабочий орган – скребок, закрепленный в нижней части корпуса робота, проталкивает навоз в отверстия щелевого пола. Для перемещения робота используется два колеса. Маршруты движения программируются с дистанционного пульта управления E-link по беспроводным каналам связи. Гибкость маршрутов дает возможность тщательно убирать определенные части коровника (например, пространства за стойлами) в заданное время. Встроенный ультразвуковой датчик обеспечивает движение робота вдоль стен на заранее заданном расстоянии. Благодаря встроенному гироскопу робот может всегда определить свое местоположение. Специфический элемент конструкции робота – так называемое «кольцо» в его передней части – служит для предотвращения блокирования движения робота при его столкновении с препятствиями.

Навозоуборочные роботы также производятся другими фирмами, в частности, такими как Peter Prinzing (Германия), JOZ (Нидерланды), GEA Farm Technologies, DeLaval. Все эти роботы аналогичны по конструкции и функциональным возможностям рассмотренным выше роботам-уборщикам фирм Sermar Sa и Lely.

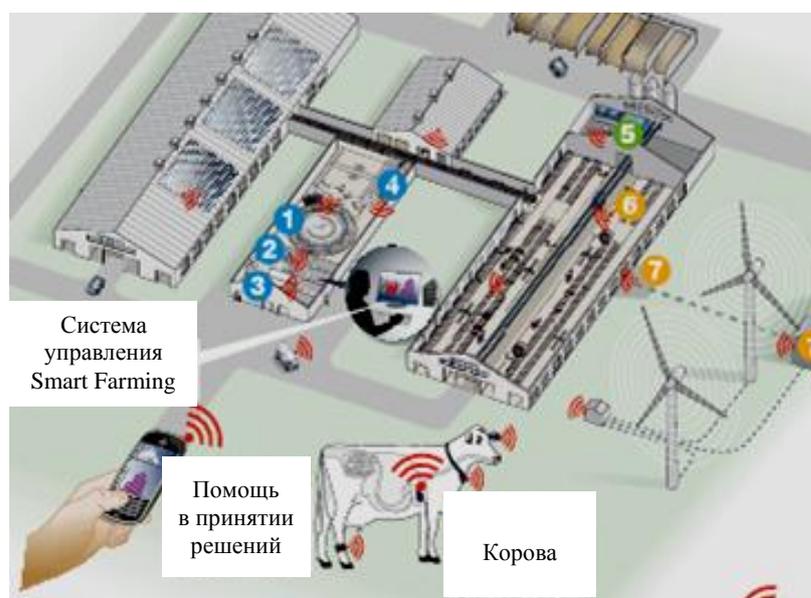


Рисунок. 3.18 - Схема реализации концепции Smart Farming

### 3.1.3 Интеллектуальные системы комплексного управления молочными фермами

Рядом фирм, к числу которых относятся крупнейшие производители автоматизированного оборудования для молочного производства Lely, GEA и DeLaval, разработаны и реализованы на практике инновационные подходы к комплексной интеллектуализации работы молочных ферм.

Ниже, в качестве примера, рассматриваются интеллектуальные системы комплексного управления молочными фермами, создаваемые компанией DeLaval.

Компания DeLaval предложила концепцию Smart Farming («Умная ферма»), суть которой заключается в том, чтобы предоставить владельцам современных молочных хозяйств технологии и средства автоматизации, оптимальным образом объединяющие продукты, знания и сервис с целью повышения качества молока, улучшения контроля над стадом, роста продуктивности животных и увеличения рентабельности производства.

Схема реализации концепции Smart Farming показана на рис. 3.18.

Система управления Smart Farming позволяет фермеру осуществлять контроль и управлять работой фермы, помогает в принятии решений.

Помощь в принятии решений оказывают мобильные беспроводные средства связи, с помощью которых фермер получает сигналы об аварийных ситуациях, регулирует работу с поставками, контролирует выполнение работ, контактирует с организациями, партнерами.

Корова как объект контроля находится под постоянным наблюдением благодаря применению беспроводной системы контроля с датчиками идентификации, активности, положения и физиологического состояния.

Основные виды работ, выполняемые в рамках реализации концепции Smart Farming:

– доение коров – осуществляется с помощью доильной установки, обеспечивающей автоматическое добровольное доение коров или доение партий коров в случае большого поголовья скота 1;

– контроль молока, полученного от каждой коровы, а также определение некачественного молока с целью определения и предотвращения производственных и репродуктивных нарушений 2;

– контроль процесса охлаждения молока, а также автоматическая промывка с целью сохранения высоких качеств молока 3;

– сортировка коров – оптимальная организация движения стада, которая осуществляется автоматически в зависимости от необходимого проведения мероприятий с животными 4;

– кормление – оптимизация кормления за счет автоматического составления рациона; автоматической раздачи кормов; анализа кормов в режиме реального времени 5;

– содержание коров – создание оптимальных условий содержания коров за счет автоматической вентиляции, которая реагирует на изменения погоды и климата, а также автоматического контроля освещения 6;

– очистка коровника от навоза – автоматический сбор навоза и его дальнейшая переработка для производства энергии 7.

Компания DeLaval предлагает два типа систем управления фермой: ALPRO – для любых доильных залов и роторных систем и DelPro – для роботов-дояров и коровников с привязным содержанием животных.

**Система DeLaval ALPRO.** Система управления фермой ALPRO упрощает повседневное управление молочной фермой, анализирует текущую работу фермы и предоставляет информацию для долгосрочного планирования.

Система ALPRO ежедневно в течение всех суток автоматически получает от подключенного к ней оборудования точные данные о каждом животном стада, объединяет и анализирует эти данные с помощью программы управления фермой, выдавая информацию, необходимую для принятия решений.

Программное приложение ALPRO для Windows выполняет обработку информации. Рабочая база данных содержит полные сведения о доении, кормлении, разведении и здоровье коров, а также архивные данные по отдельным коровам, стаду и ферме в целом. Программа

позволяет получать наглядные отчеты с представлением информации в графическом виде, списки технологических заданий.

Система ALPRO обеспечивает управление молочной фермой по следующим основным направлениям: доение, кормление, воспроизводство и здоровье стада. Ключом к управлению стадом является автоматическая идентификация животных, позволяющая управлять индивидуально каждой коровой даже в большом стаде.

Система ALPRO-Доение предоставляет информацию, необходимую для оптимизации процесса доения, – от управления доильным местом и контроля надоев до проверки соблюдения процедуры доения.

Контроллеры доильных мест MPC580 и MPC680 и доильное место MP780 предоставляют данные о состоянии здоровья и продуктивности по каждой корове, передают понятные сообщения и сигналы тревоги. Автоматическая регистрация данных сводит к минимуму необходимость ручного ввода, а возможность дистанционного управления с кнопочного пульта и функция Comfort Start снижают нагрузку на оператора доения.

Контроллер отображает номер коровы, время доения и надой, а также дополнительно он информирует оператора, требуется ли корове особое внимание. Контроллеры MPC680 и MPC780 выдают больше информации и сообщений, чем контроллер MPC580, который ориентирован в основном на управление доением. Система сигнализирует оператору о потенциальных проблемах со здоровьем коровы – низком надое, наличии крови в молоке, изменении проводимости молока, снижении аппетита коровы, а также о приходе коровы в охоту. Эти и другие параметры немедленно регистрируются в системе и выводятся на дисплей контроллера доильного места. Для дальнейшей оценки эти коровы могут быть отсечены на выходе из доильного зала.

Устройства автоматического снятия подвесной части доильного аппарата с вымени животного экономят время, снижают трудозатраты и улучшают организацию труда в доильном зале.

Программа ALPRO для Windows отслеживает соблюдение процедуры доения каждым оператором, измеряет результаты доения и предоставляет отчет в виде графика с указанием сессии и времени доения.

Система управления доением в зависимости от потока молока Duovac, которая предусматривает стимуляцию вымени для повышения эффективности доения, обеспечивает бережное доение с защитой от передаивания животных, помогает поддерживать соски в хорошем состоянии.

Взвешивающий счетчик молока MM15 регистрирует надои от каждой коровы и передает в систему ALPRO точные данные для их

дальнейшей обработки. Усовершенствованная модель счетчика молока ММ27ВС способна также обнаруживать наличие крови в молоке, изменения электропроводности молока и подсосы воздуха (рис. 3.19).



Рисунок 3.19 - Счетчики молока ММ27ВС

Полученные данные о надоях можно использовать для оценки и оптимизации рационов отдельных коров или групп животных, расчета фактических кривых лактации и выявления потенциальных проблем со здоровьем. Эти сведения пригодятся для группировки коров в соответствии с продуктивностью и будут способствовать снижению уровня вынужденной выбраковки.

При каждой дойке регистрируются надой, поток молока и продолжительность доения для каждой коровы. При снижении продуктивности на доильном месте загорается сигнальная лампа, что позволяет оператору немедленно идентифицировать проблемных коров. Также выдаются сигналы о соскальзывании сосковой резины, о наличии воздушных пробок, отчеты об эффективности доения в доильном зале, о работе оборудования и другие сведения.

*Система ALPRO-Кормление* оптимизирует рацион кормов для каждой коровы с учетом стадии лактации и уровня молочной продуктивности, помогая тем самым фермерам добиться максимальных надоев, снизить затраты на корма, повысить производительность труда и сократить потери. Система проводит мониторинг потребления корма с выдачей тревоги после 8, 24 и 72 часов; рассчитывает изменения рациона для кормовых столов; ведет учет изменения групп животных с проверкой режима кормления; готовит сведения о молочной продуктивности для стада, групп животных и индивидуально по животным, отчеты по низкопродуктивным коровам, контролирует отгрузку молока.

При кормлении животных индивидуальными концентрированными рационами система позволяет быстро выявлять снижение потребления. Она предупреждает о снижении потребления всего через восемь часов и затем выдает тревоги каждые 24 часа и за 3 дня. Си-

стема предоставляет данные о кормах для групп в целом, например, чтобы оценить эффект изменения рациона.

Система ALPRO может быть использована для кормления коров как в доильном зале, так и вне доильного зала.

При кормлении в доильном зале выдача индивидуальных рационов в доильном зале позволяет эффективно использовать время доения для индивидуальной корректировки кормления, особенно при пастбищном содержании животных, а также стимулировать коров ко входу в доильный зал роторного типа. На поедание концентрата во время доения выделяется мало времени, поэтому необходимо оптимизировать выдачу корма. Система кормления в доильном зале позволяет применять разные корма в зависимости от стадии лактации или уровня молочной продуктивности: высокопродуктивным коровам можно выдавать высокопитательный концентрат, а коровам в конце лактации во избежание перекармливания – сокращенный рацион.

Система кормления вне доильного зала позволяют корректировать рационы на протяжении всей лактации и достигать максимальной молочной продуктивности. Коровы получают концентрированные корма своего рациона частыми мелкими порциями из автоматических кормовых станций, установленных в коровнике. Благодаря этому достигается экономия на трудозатратах, исключается ненормированный рабочий день, выдаются уведомления в виде тревоги в случае, когда какое-либо животное отклоняется от своего нормального режима кормления.

Система ALPRO имеет ряд преимуществ при использовании для кормления телят. Чтобы телка выросла до высокопродуктивной коровы, за ней нужен особый уход. Ошейник с транспондером позволяет вести учет каждого теленка, контролировать индивидуальную программу его кормления. Подключенные к системе станции выпойки телят автоматически выдают молоко или заменитель цельного молока при требуемой температуре. Молоко выдается мелкими порциями в течение всего дня, имитируя естественное кормление. Раздаваемые кормосмеси могут дополняться витаминами и кормовыми добавками для улучшения роста и укрепления здоровья телят. Система определяет подходящий момент отлучения теленка от молока и производит отлучение в мягком режиме. Если по какой-либо причине теленок не ест или не пьет, система выдает соответствующее сообщение.

*Система ALPRO-Воспроизводство* содержит данные о коровах, позволяющие определить оптимальное время для осеменения. Это упрощает работу по воспроизводству, поскольку точно выбранное время осеменения повышает вероятность оплодотворения, снижает затраты на воспроизводство и увеличивает валовое производство молока и рентабельность фермы. Система формирует списки разведения,

готовит отчеты по воспроизводству (неоплодотворенные коровы), о случаях аборт, о сухостойных коровах, об ожидаемых датах отела, о коровах, требующих проверки на стельность, о нарушениях репродуктивных функций (репродуктивные проблемы).

Сокращение цикла разведения позволяет быстрее вернуть коров к максимальной лактации. Отслеживая массу тела, активность и другие данные о коровах, система позволяет определить наступление охоты для более успешного осеменения. Кроме того, внося в базу данных сведения о телятах непосредственно при рождении, можно сразу начинать планировать следующий цикл разведения.

Зная динамику веса каждой отдельной коровы и стада в целом, можно использовать эту информацию наряду с другими данными для получения более полного представления об уровне молочного производства. Система ALPRO, осуществляя ежедневный мониторинг веса животного в межсервисный период, позволяет увидеть динамику привеса, свидетельствующую о возможном восстановлении положительного баланса энергии, необходимого для успешного осеменения.

Система ALPRO отслеживает активность и репродуктивный статус каждой коровы с помощью датчика активности, закрепленного на ошейнике животного. Данные об активности передаются и отображаются на экране в удобном для чтения формате. Система отмечает повышенную активность, свидетельствующую об охоте, и пониженную активность, являющуюся предупреждением о возможном ухудшении здоровья.

Используя данные датчика, система ALPRO помогает обнаруживать «скрытую» охоту, а также охоту у нетелей. Система содержит интеллектуальный фильтр для анализа данных, позволяющий выявлять коров, требующих особого внимания. Она отправляет сигналы о повышенной активности на контроллер доильного места и формирует списки и графики, показывающие ожидаемое оптимальное время оплодотворения каждой коровы для планирования программы разведения.

Как только система обнаруживает, что корова приходит в состояние охоты, она отмечает ее для осеменения. Соответствующая отметка отображается на экране системы, а также на контроллере доильного места, когда корова входит в доильный зал для доения. При этом фермер с помощью карманного компьютера может быстро и точно регистрировать моменты осеменения.

Система ALPRO может анализировать большой набор данных для отслеживания эффективности разведения, включая интервал между отелами, коэффициент оплодотворения и коэффициент обнаружения охоты. Такой анализ предоставляет фермеру необходимую информа-

цию для анализа и оптимизации программы разведения с целью достижения максимальной финансовой эффективности.

*Система ALPRO-Здоровье стада* отслеживает и анализирует ключевые индикаторы, давая четкую картину о состоянии здоровья каждого животного и информируя о потенциальных проблемах для ранней диагностики и лечения заболеваний. Система готовит сводки событий и сводки заболеваний; предоставляет отчеты ветеринара, сведения о предполагаемых проблемах после отела, о проверке здоровья, о статусе коровы, о лечении, об активности и весе коров, о содержании крови в молоке и об электропроводности молока.

Любое уменьшение активности животных, сопровождающееся падением производства молока, потребления кормов и уменьшения веса, может быть первым свидетельством проблем со здоровьем. Система ALPRO выдает предупреждения о проблемах со здоровьем или сигналы о низкой активности, благодаря чему можно пометить корову для сортировки посредством контроллера доильного места и автоматических сортировочных ворот, либо отсортировать ее вручную.

Важным признаком проблем со здоровьем у первотелок является величина надоев. Падение надоя обычно является первым признаком мастита, проблем с обменом веществ и других нарушений. Система ALPRO контролирует надои и автоматически выдает сигнал об их падении свыше установленной вами величины.

Улучшению качества молока способствует контроль здоровья вымени. Используя счетчик соматических клеток, можно отслеживать их количество у каждой коровы и в танке-охладителе в целом. Благодаря этому становится возможным идентифицировать, лечить и контролировать коров с маститом; проверять всех коров перед переводом на сухостой и при необходимости проводить лечение; следить за состоянием первотелок; выполнять проверку коров при покупке или продаже во избежание распространения мастита.

В систему ALPRO интегрированы проходные весы AWS100 для взвешивания коров. Сопоставляя данные о весе, надоях и фазе лактации, система позволяет сформировать нормальную кривую веса для каждой коровы и сигнализировать о возможных отклонениях.

Система ALPRO позволяет регистрировать любые заболевания, их лечение и длительность, анализировать динамику состояния каждой коровы и стада в целом.

**Система DeLaval DelPro.** Система управления фермой DelPro предназначена для ферм, оборудованных роботизированными доильными установками VMS, а также ферм с привязным содержанием животных.

Автоматика системы DelPro обеспечивает управление производством молока, анализ эффективности кормления и корректировку ра-

ционов в зависимости от надоев, точное кормление при помощи кормовагонов или кормостанций, контроль состояния здоровья коров и успешное воспроизводство.

Важнейшим компонентом системы DelPro является программное обеспечение, которое реализует интеллектуальные функции для интегрированного управления молочной фермой. Беспроводная двусторонняя связь с доильными аппаратами позволяет автоматизировать получение информации в режиме реального времени для быстрого и точного составления отчетов и напоминания событий по животным, составление технологических заданий специалистам фермы, принятия соответствующих решений.

Входящие в состав системы DelPro доильные аппараты и оборудование для кормления в коровнике обмениваются автоматически по каналам беспроводной связи в режиме реального времени данными между собой, а также с компьютером с программным обеспечением DelPro, в котором получаемые данные собираются и анализируются.



Рисунок 3.20 - Доильный робот VMS

Доильная установка VMS (рис. 3.20) имеет ряд новшеств, направленных на совершенствование операций подготовки к доению и контроля качества молока в процессе доения.

Она оснащена манипулятором с гидравлическим приводом, обладающим более высокой надежностью и более простым техническим обслуживанием по сравнению с манипуляторами, в которых используется пневматический привод. Данный манипулятор рассчитан на работу в диапазоне движений человеческой руки, что позволяет ему легко обслуживать коров, у которых имеют место отклонения уровня расположения и формы вымени, а также формы сосков от стандартных требований.

Он выполняет подготовку сосков к доению, подсоединяет к ним доильные стаканы, выравнивает молочные шланги и обрабатывает соски после доения. Каждый сосок перед доением очищается теплой

водой, стимулируется и сушится, одновременно сдаиваются первые струйки молока. Тщательное ополаскивание доильных стаканов перед доением каждой коровы и обработка сосков дезинфицирующим раствором после доения позволяют поддерживать на высоком уровне гигиену коров.

В работе используется система визуализации сосков, которая имеет оптическую камеру, сопряженную с двумя лазерами. Такая система способствует повышению скорости и точности поиска сосков и, как следствие, более быстрому и надежному подсоединению к ним доильных стаканов. Специальное программное обеспечение позволяет выбирать подходящую схему поиска сосков для каждого животного, что важно при доении коров со сложной формой вымени.

В процессе доения уровень надоя, скорость молокоотдачи, продолжительность доения, электропроводность молока и содержание в нем крови контролируются четырьмя оптическими счетчиками молока (по одному на каждую четверть). Кроме того, контролируется содержание соматических клеток в молоке. Непригодное молоко автоматически сливается в отдельную емкость, а управляющее программное обеспечение регистрирует соответствующие данные о качестве молока каждой коровы.

Для обеспечения высоких гигиенических условий доения в установку интегрирован навозный лоток, который автоматически удаляет навоз и мочу из зоны доения, благодаря чему коровы во время доения всякий раз стоят на чистом полу.

При осуществлении управления доением в коровниках с привязным содержанием животных используется переносной автоматический доильный аппарат MU480, снабженный устройством идентификации коров. Как только аппарат идентифицирует корову, он сразу же уведомляет оператора о наличии тех или иных проблем в отношении животного во время подготовки к доению. Сведения о доении также отправляются оператору. Наибольшее значение имеют сведения о повседневных надоях молока, поскольку являются одним из самых важных факторов, влияющих на управление стадом, и служат для расчета и оценки рациона кормления, своевременного выявления потенциальных проблем со здоровьем, расчета фактической кривой лактации, оценки долгосрочного производства молока для отдельных коров, планирования размножения и выбраковки, выявления коров в охоте.

Для управления кормлением в системе DelPro используются автоматизированные подвесные кормовагоны, которые предназначены для многократной круглосуточной раздачи как грубых кормов, так и концентратов. Кормовые рационы рассчитываются автоматически. Точность кормления обеспечивается информацией, получаемой из

каждого цикла доения, так что можно корректировать требования в отношении кормления для каждой коровы. Данные по удоям от счетчика молока вместе с информацией о содержании жира и белка в отдельных пробах молока могут быть собраны, проанализированы и использованы при составлении рациона каждой коровы.

С целью повышения продуктивности стада система DelPro отслеживает, когда каждая корова должна быть готова к осеменению, и напоминает о необходимости осмотреть животное для выявления охоты, что позволяет подобрать оптимальное время для осеменения.

Система DelPro помогает сформировать полную картину состояния здоровья вашего стада, представляя соответствующую информацию по каждому животному. Сведения о состоянии здоровья животных открываются в удобном для чтения отдельном окне компьютера.

Интегрированный в систему DelPro модуль посещения ветеринара обеспечивает возможность подготовки плановых визитов ветеринара, включая своевременную отправку приглашений. Система генерирует распечатку полного набора сведений о животном для справки при ветеринарном осмотре. Модуль обеспечивает быструю и точную запись результатов ветеринарной проверки.



Рисунок 3.21 - Установка для кормления свиней Compufeder

### 3.2 Оборудование свиноферм

В последние годы технический уровень свиноводческого оборудования определяется степенью автоматизации, которая охватывает основные технологические процессы на свинофермах, такие как создание и поддержание микроклимата, кормление животных. Благодаря этому производство продукции на свинофермах может быть в полной

мере отнесено к интеллектуальному, обеспечивающему не только сокращение доли ручного труда, но и принятие управленческих решений, на основе собираемых и обрабатываемых данных.

Фирмой Insentec BV (Нидерланды) предлагаются установки Compufeeder, предназначенные для кормления свиней (рис. 3.21). Конструкция установок позволяет осуществлять идентификацию свиноматок, находящихся в группах, и добровольный проход животных к месту кормления, расположенному в изолированном боксе. Корм сухой (в рассыпанном или гранулированном виде) или жидкий выдается небольшими порциями и массой 100–150 г.

Установки оборудованы встроенными электронными весами, с помощью которых по результатам взвешивания свиней определяются оптимальный рацион и нормы выдачи, а также производится сортировка животных с целью сохранения выровненных по массе групп. Кроме того, предусмотрено устройство для диагностики (определяется температура тела животного) и профилактики заболеваний (через вакцинацию, проводимую с помощью добавления различных медикаментов как в воду, так и в кормосмесь).

### 3.3 Оборудование птицеферм

Птицефермы занимаются выращиванием птицы для обеспечения населения пищевыми яйцами и птичьим мясом. Пищевые яйца получают в основном от кур яичных пород. Главным источником получения мяса птицы является выращивание бройлеров. Для получения птичьего мяса также разводят мясные породы кур, уток, гусей, индеек и др. Для содержания и разведения птиц, прежде всего кур-несушек, широко используются клеточные батареи. Они состоят из клеток, установленных на многоярусном каркасе, а также содержат технологические модули для привода конвейерных лент и приспособлений для очистки помета и выгрузки птицы.

На современных птицефермах все основные технологические процессы автоматизированы. В последние годы в птицеводстве все большее распространение получают роботы, а также интеллектуальные системы управления.

Для вывода цыплят, утят и другой птицы применяются полностью автоматизированные инкубаторы, где автоматически поддерживаются постоянная температура и влажность воздуха, а яйца через определенные промежутки времени специальным механизмом переворачиваются с боку на бок.

Птичники оснащаются автоматическими установками искусственного освещения, которые продлевают световой день. Дополнительное освещение включается осенью и зимой до рассвета, днем при

пасмурной погоде и вечером, когда естественного освещения не хватает.

Развитие автоматизации в птицеводстве привело к созданию птицефабрик-автоматов, на которых осуществляется комплексная автоматизация управления технологическими процессами с помощью программно-аппаратных средств, включая процессы обеспечения требуемого микроклимата в производственных помещениях, процессы кормления и поения птиц, уборки помета и др.

Для управления микроклиматом в птичниках используется система автоматического управления компании Rotem Control & Management (Израиль). Система обеспечивает программируемое включение и отключение вентиляции. В частности, программа «Точная вентиляция» позволяет установить точный желаемый воздухообмен в птичнике при минимальной вентиляции, тем самым уменьшая расход электроэнергии, увеличивая срок службы вентиляционного оборудования и обеспечивая требуемые параметры среды в птичнике. Система включает контроллер с необходимыми силовыми элементами для управления исполнительными механизмами, а также датчики температуры, влажности, давления, CO<sub>2</sub> и т.д.

Автоматизированное оборудование для содержания кур-несушек производится компанией Тесно (Италия). Кормораздача осуществляется с помощью передвижного бункера, который оборудован дозатором корма, что обеспечивает равномерное распределение корма по всей длине кормового желоба. Поение осуществляется с помощью подвесной линии поения, в которой можно регулировать давление подаваемой воды.

В последние годы увеличилось количество хозяйств, разводящих уток. Как следствие, вырос спрос на оборудование для инкубирования утиных яиц. С целью удовлетворения потребностей на рынке в инкубаторах для утиных яиц, компания XINGYI Electronic Equipment (Китай) запустила в производство интеллектуальные одноступенчатые инкубаторы. Основные параметры процесса инкубирования, такие как температура, влажность и газовый состав воздуха в помещении, могут быть настроены с помощью системы компьютерного управления инкубатором. В инкубатор встроен увлажняющий спрей, что позволяет оперативно управлять влажностью. Также инкубатор оборудован регулируемой системой водяного охлаждения, что позволяет адаптировать его к любой рабочей среде.

В современном птицеводстве роботы выполняют различные функции: кормление птиц; транспортировка, обработка и упаковка яйца; управление микроклиматом. При производстве куриного мяса роботы обеспечивают автоматическую передачу туш и обнаружение дефектных туш.

Примером роботизированного процесса в производстве яиц является сбор и транспортировка яиц в упаковочные помещения с помощью конвейерных лент, которые исключают необходимость использования для этого ручного труда (рис. 3.22). Это особенно актуально в современных птицефермах с многоуровневыми клетками, поскольку сбор яиц с помощью конвейерных лент исключает риски, связанные с ручным сбором яиц на высоте, а также при низких уровнях освещенности.



Рисунок 3.22 - Роботизированная шестиуровневая установка с лифтовой системой для сбора яиц

В традиционном птицеводстве многие производственные процессы являются низкоинтенсивными, а их реализация требует от птицеводов выполнения повторяющихся и вызывающих напряжение действий, например, кормление и проверка состояния здоровья птиц, сбор яиц и уборка помета. Некоторые виды работ также связаны с поднятием тяжестей. Механизация существенно облегчает труд. Кроме того, ряд производственных процессов может быть полностью автоматизирован.

Например, в современном производстве яиц полностью автоматизируются процессы кормления птиц, удаления помета, а также сбора, подсчета, сортировки и упаковки яиц. В производстве бройлеров цыплят можно автоматически переводить из инкубатора в бройлерный сектор, рост птицы можно контролировать с помощью автоматических весовых платформ. Данные взвешивания учитываются при совершенствовании процесса кормления птиц. Робототехника применяется для управления микроклиматом в помещениях птицеферм. Полностью автоматизированные технологические системы управляются с помощью компьютера, который отслеживает показания датчиков температуры, влажности, концентрации газов и т.д.

Роботы могут быть как полуавтоматическими, так и полностью автоматическими. Примером полуавтоматической системы является система сбора яиц с помощью ленточного конвейера. Система хотя и может автоматически подсчитать количество яиц, проходящих определенные места при движении на конвейере, но она не в состоянии сама принимать решения о том, как она должна работать в тех или иных проблемных ситуациях, связанных со сбором яиц. Поэтому при возникновении таких ситуаций оператор должен брать их под свой контроль и принимать соответствующие меры.

В свою очередь, полностью автоматическая система сбора яиц обладает автономией в принятии решений. Она снабжена датчиками, которые контролируют вес яиц в определенных местах и передают соответствующие данные в компьютерную систему управления робота, который запрограммирована так, чтобы оценивать количество яиц в зависимости от веса. Если количество яиц возрастает, так что возникает риск того, что дополнительные яйца, добавленные в общую кучу, могут растрескаться, снижая, таким образом, качество или количество продукции. Робот запрограммирован так, что способен реагировать на увеличение веса яиц путем перераспределения их на конвейере, чтобы предотвращать их скатывание в чрезмерно большие кучи.

Наиболее перспективные робототехнические системы включают элементы искусственного интеллекта, используя возможности компьютерного зрения (рис. 3.23). Так, одна или несколько камер передают цифровые изображения яиц на конвейере компьютеру робота, который обрабатывает полученную информацию, чтобы использовать ее при принятии решений. Благодаря этому обеспечивается возможность предотвращать блокировки яиц на конвейере. Подобным образом, используя возможности компьютерного зрения, можно подсчитывать кур в клетках.



Рисунок 3.23 - Система компьютерного зрения для контроля яиц во избежание их возможных блокировок при движении на конвейере

Для определения биологических параметров птиц можно весьма эффективно использовать технологии дистанционного зондирования. Соответствующие данные передаются в компьютерную систему управления, которая анализирует их и выдает требования по совершенствованию процесса кормления или микроклимата с целью повышения производительности птиц.



Рисунок 3.24 - Робот-штаблер Cobot для загрузки яиц в лотки

Робот-штаблер Cobot фирмы Jansen Poultry Equipment (Нидерланды) для загрузки яиц в лотки (для последующей отправки потребителям) гарантирует точное размещение лотков в контейнерах и на паллетах (рис. 3.24). Полностью автоматическое управление осуществляется при помощи сенсорного экрана.

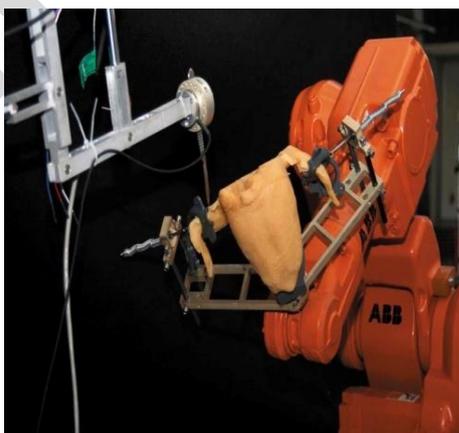


Рисунок 3.25 - Робот для разделки курицы

В Технологическом институте Джорджии (США) разработана роботизированная установка для разделки курицы (рис. 3.25). Робот визуально (с помощью 3D-камеры) ищет фиксированные точки на курице и использует их как часть алгоритма, который оценивает внут-

ренное строение курицы и определяет, где нужно делать разрезы. Для максимизации количества отделенного мяса используются два манипулятора: один манипулятор (с шестью степенями подвижности) держит птицу, другой (с двумя степенями подвижности) – режет ее. Таким образом, два синхронно действующих манипулятора позволяют роботу правильно расположить курицу и сделать необходимые разрезы. Робот оснащен системой обратной связи, которая сообщает роботу, когда он встречает сопротивление, например, кость или сухожилие. Если сопротивление жесткое, то это воспринимается роботом как кость и учитывается в траектории режущего инструмента. Если же сопротивление растет постепенно, то алгоритм робота подсказывает, что это сухожилия или связки.

Фирмой «Дэйтамикро» (Россия) разработан масштабируемый комплекс автоматизации и управления scalaPACS (scalable Poultry-farm Automation & Control System), предназначенный для комплексной автоматизации птицефермы с целью обеспечения требуемых условий содержания различных технологических групп поголовья на всех фазах выращивания птицы.

Комплекс обеспечивает: поддержание требуемого микроклимата и светового режима в производственных помещениях; нормативный прирост птицы за счет дозирования кормления и оптимального соотношения количеств потребляемых воды и корма; контроль всех производственных параметров.

В рамках комплекса все здания (структурные подразделения) птицефермы, задействованные в технологическом процессе содержания птицы, объединены в единое информационное пространство посредством локальных сетей Ethernet или CAN (Controller Area Network – сеть контроллеров; стандарт промышленной сети, ориентированный на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков).

Комплекс базируется на распределенной многоуровневой управляющей сетевой платформе DDCNP, основной образующей сетью которой является CAN-шина (система цифровой связи устройств автоматики, датчиков и исполнительных механизмов, позволяющая собирать данные от всех устройств, обмениваться информацией между ними и управлять ими в соответствии со стандартом CAN).

Функционирование комплекса обеспечивается набором программно-аппаратных средств. Управление и мониторинг состояния комплекса осуществляется единым интегрированным набором программного обеспечения. Контроль комплекса может осуществляться с различных автоматизированных рабочих мест с разграничением зон контроля (например, набор птичников) и прав на выполнения тех или иных действий.

Система управления микроклиматом обеспечивает:

- автоматическое поддержание параметров микроклимата (температура, влажность, загазованность воздуха);
- возможность программирования посуточных параметров микроклимата на полный цикл выращивания птицы;
- автоматический воздухообмен с учетом температуры наружного воздуха и концентрации вредных газов внутри помещения;
- возможность программирования параметров воздухообмена на полный цикл выращивания птицы;
- плавное управление вентиляторами;
- контроль параметров микроклимата посредством датчиков.

Система управления хранением, подачи и додачи корма обеспечивает:

- отслеживание степени текущего заполнения внешнего бункера, хранение корма и контроль состояния загрузочного люка;
- выдачу предупреждающего сигнала о необходимости пополнения внешнего бункера хранения;
- автоматическую транспортировку корма из внешнего бункера, хранения в весовой бункер посредством шнекового транспортера;
- взвешивание необходимого для кормления количества корма;
- контроль переполнения весового бункера;
- автоматическую додачу корма из весового бункера в буферные бункеры линий кормления;
- возможность программирования посуточных режимов кормления на полный цикл выращивания птицы;
- возможность корректировки среднесуточной нормы кормления при отклонении среднего веса птицы от планового веса;
- автоматический учет расхода корма;
- взаимодействие с системой управления кормлением.

Система управления кормлением обеспечивает:

- автоматическое манипулирование лебедками линии кормления;
- автоматическое включение контуров кормления;
- возможность программирования посуточных режимов кормления на полный цикл выращивания для птицы;
- контроль переполнения и опустошения кормушек;
- взаимодействие с системой управления хранением, подачи и додачи корма.

Система управления поением обеспечивает:

- автоматическое манипулирование лебедками поения;
- возможность программирования посуточных режимов поения на полный цикл выращивания птицы;
- корректировка посуточных режимов поения в зависимости от температуры окружающего воздуха;

- автоматическое управление станцией водоподготовки;
- учет расхода воды;
- контроль температуры подаваемой воды.

Система управления внутренним и внешним освещением обеспечивает:

- автоматическое включение и выключение разных групп освещения;
- возможность программирования посуточных режимов освещения на полный цикл выращивания птицы;
- плавное регулирование освещения.

Все системы комплекса scalaPACS внутри одного птичника строятся на базе единой инфраструктуры сетей и устройств. Внутренние коммуникации состоят из трех CAN-сетей: одна проложена внутри служебного помещения (тамбура птичника), две – внутри служебного помещения (тамбура птичника), две другие – по левой и правой стороне помещения, в котором содержится птица. Объединение корпусов в общую сеть птицефермы осуществляется через CAN-сеть всей птицефермы.

На CAN-сети внутри птичника подключаются разнообразные устройства, обеспечивающие функционирование систем. Число и номенклатура подключаемых устройств зависит от набора требуемых систем, а также числа датчиков и исполнительных механизмов, установленных на птичнике. Расширение номенклатуры или числа систем/устройств не требует прокладки новых коммуникаций.

Все базовые системы комплекса имеют три общих устройства, расположенных в тамбуре каждого птичника:

- устройства управления освещением, обеспечивающие плавное регулирование светом птичника;
- графический пульт отображения и ввода параметров процесса с сенсорным экраном, который служит для отображения и корректировки текущих параметров функционирования птичника и оперативного управления;
- шлюз CAN-сети, обеспечивающий подключение/развязку птичника к/от CAN-сети всей птицефермы.

Кроме указанных трех общих устройств, установленных в каждом птичнике, и участвующих в циклах управления любой системы, в комплекс также входят:

- устройства управления приводами приточных жалюзи, которые обеспечивают запуск/остановку электроприводов;
- устройства управления вытяжными и дополнительными вентиляторами (электромоторами), которые обеспечивают плавный старт и оптимальное регулирование оборотов электромотора, а также позво-

ляют управлять группой электромоторов (с учетом их совокупной мощности);

- устройства управления термогенераторами, которые обеспечивают плавный старт и регулирование температуры на выходе термогенератора;

- устройство управления освещением, обеспечивающее плавное регулирование светом птичника;

- устройство контроля расхода воды (расходомер воды);

- устройство контроля состояния бункера, обеспечивающее контроль уровня корма в бункере и загрузочного люка с помощью датчиков;

- блок контроля веса, обеспечивающий посредством тензочувствительных датчиков взвешивание корма и другие функции, например, управление двигателями лебедок для регулирования высоты подъема кормушек и поилок.

Данные устройства участвуют в цикле управления птичника, используя необходимую информацию от задатчика режима работы птичника (задается оператором через пульт) и первичной информации от сетевых датчиков (температуры, разрежения (вакуума), воздуха, влажности, аммиака, освещенности). Датчики обеспечивают съем и выдачу в локальную CAN-сеть значений измеряемых параметров как внутри помещения, так и снаружи птичника. Кроме того, по мере необходимости в комплекс могут быть включены сетевые датчики углекислого газа, сероводорода, кислорода, атмосферного давления и др.

Все используемые в системе устройства являются сетевыми, что позволяет проводить поэтапное подключение и плавное количественное наращивание устройств с целью повышения точности регулирования конечных параметров (температуры, газовой среды и др.).

Состав интегрированного программного обеспечения для базовых систем scalaPACS состоит из трех программ:

- графическое отображение процессов, протекающих в системах комплекса, оперативное управление состоянием систем, оперативное отображение всех измеряемых параметров, накопление информации по всем регистрируемым параметрам, регистрация аварийных ситуаций и другие функции;

- составление статистических отчетов и графиков;

- разработка режимов работы систем комплекса (задание различных параметров и графиков содержания птицы на цикл выращивания птицы).

Использование сетевых технологий при реализации комплекса scalaPACS позволяет поэтапно наделять его новыми функциональными возможностями, внедрять новые технологические решения, интегрировать с другими уже существующими комплексами с целью

создания глобальной системы автоматизированного управления сельскохозяйственными предприятиями. Так, если для повышения точности управления технологическим циклом во всех птичниках необходимо знать глобальные атмосферные параметры в месте расположения птицефермы (температура, атмосферное давление, скорость и направление ветра, влажность, освещенность и т.д.), то достаточно выбрать компактный измеритель метеоусловий или метеостанцию, и, если прибор не имеет сетевого CAN- или Ethernet-интерфейса, подключить его в scalaPACS через шлюз. Тем самым, все устройства, реализующие технологический алгоритм управления во всех птичниках, получают необходимые дополнительные параметры.

## **Часть 4 Умное техническое обслуживание сельскохозяйственной техники**

### **4.1. Умные системы технического обслуживания**

В агропромышленном производстве применяются разнообразные по конструкции и функциональному назначению технические средства, эксплуатация которых сопровождается естественным изнашиванием и ухудшением технико-экономических показателей. Для поддержания машин в исправном состоянии необходимо управлять их техническим состоянием, своевременно и качественно проводить их техническое обслуживание.

Техническое обслуживание (ТО) – это комплекс мероприятий по поддержанию работоспособности или исправности производственного оборудования в процессе эксплуатации, хранения и транспортировки. Оно включает определенные виды работ: собственно техническое обслуживание, ремонт, модернизацию и замену.

Эффективность ТО зависит от уровня развития инженерно-технической сервисной инфраструктуры. В экономически развитых странах объем работ, выполняемых различными организациями сервисной инфраструктуры АПК, в стоимостном выражении составляет более 40 % стоимости производимой отраслью продукции (для сравнения в Беларуси этот показатель не превышает 25 %).

При организации ТО важная роль отводится мероприятиям по повышению качества ремонта деталей и узлов машин на основе использования новых технологии ремонта, высокоэффективного технологического оборудования. При этом особое внимание уделяется совершенствованию технологий восстановления изношенных или поврежденных деталей. Это обусловлено тем, что, как показывает практика, при ремонте техники затраты на запасные части составляют 50–70 % от стоимости ремонта, в то время как себестоимость восстанов-

ления изношенных деталей не превышает 30–50 % цены новых. Таким образом, цена отремонтированных машин, в которых используют восстановленные детали, оказывается на 30–40 % ниже цены новых при сопоставимом ресурсе работы.

В последние годы в экономически развитых странах прослеживается тенденция модернизации техники, бывшей в эксплуатации. В основном модернизации при ремонте подвергаются дизельные двигатели, компрессоры, электрооборудование, агрегаты трансмиссии, гидроагрегаты, системы топливоподачи. Характерным примером в этом отношении является деятельность компании Caterpillar (США), которая занимается модернизацией дизельных двигателей в процессе их ремонта с максимальным использованием изношенных деталей путем их восстановления. Если в новом дизельном двигателе на комплектующие и материалы приходится 70 % стоимости двигателя, то в восстановленном двигателе (цена на который составляет около половины цены нового) – 40 %. Ввиду значительных доходов от ремонта и модернизации дизельных двигателей компания создала специальное подразделение, осуществляющее модернизацию изношенной техники. Подобную деятельность развивают и многие другие ремонтные предприятия в разных странах. При этом следует отметить, что для этих предприятий является практически важным обеспечивать ремонт и модернизацию не только изношенной техники, но и технологического (прежде всего, металлообрабатывающего) оборудования, с помощью которого проводятся работы по ремонту и модернизации.

Существуют три вида ТО:

- 1) внеплановое обслуживание (обслуживание по мере необходимости, текущий ремонт);
- 2) планово-предупредительное обслуживание (регламентное профилактическое обслуживание);
- 3) диагностическое обслуживание (обслуживание по текущему состоянию, основанное на прогнозировании запаса надежности).

При внеплановом обслуживании не предусматриваются меры по постоянному поддержанию машин в исправном состоянии и, как следствие, не планируются затраты на мониторинг их состояния. Вместе с тем внеплановое обслуживание имеет недостатки: высокий риск возникновения сопутствующих и вторичных повреждений; большие простои производства, вызываемые поломкой оборудования; необходимость выполнения сверхурочных ремонтных работ; высокая стоимость запасных частей.

Планово-предупредительное обслуживание проводится периодически, через определенные интервалы времени, исходя из предположения, что в противном случае машины будут выходить из строя. При планово-предупредительном обслуживании возникает гораздо меньше

катастрофических поломок и сопутствующих повреждений, улучшается учет рабочего времени и запасных частей. Однако при этом машины согласно установленному графику подвергаются обязательному обслуживанию, даже если они являются полностью исправными и, кроме того, не исключается их неожиданный выход из строя и, как следствие, внеплановое техобслуживание.

Диагностическое обслуживание, являясь альтернативой двум рассмотренным выше видам обслуживания, предполагает упреждающий анализ деталей машин, который осуществляется по результатам контроля в реальном времени отклонений в функциональных параметрах и выявления аномалий, потенциально ведущих к повреждениям. Это позволяет предвидеть возможные аварии задолго до того, когда они произойдут. Диагностическое обслуживание имеет ряд достоинств: уменьшение или полное исключение неожиданных поломок; упорядочение в обеспечении необходимыми деталями; увеличение времени жизни машин. Однако такое обслуживание является довольно дорогостоящим и для его проведения требуются высококвалифицированные специалисты.

В последние годы все более широкое распространение получают интеллектуальные системы ТО, которые применяются на различных ремонтно-обслуживающих предприятиях, в том числе в сфере АПК.

Развитие интеллектуальных систем ТО является следствием развития автоматизации управления ТО на основе широкого использования информационных технологий.

Информационная система управления ТО включает три уровня:

1) сбор данных – осуществляется путем мониторинга основных показателей, характеризующих состояние контролируемой машины;

2) аналитическая обработка данных – проводится в автоматизированном режиме с помощью методов статистической обработки, математического моделирования, нечеткой логики, экспертных систем, нейросетевых и генетических алгоритмов (все эти методы составляют базу современных технологий прогнозирования);

3) управление информацией – интеграция и актуализация потоков информации, согласование внутренней информации ремонтного предприятия с информацией, поступающей от других организаций, в частности, консалтинговых служб, информационных агентств и др.

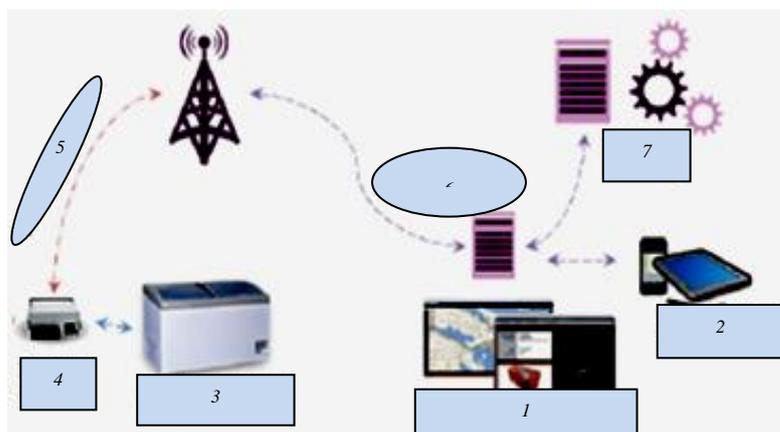


Рисунок 4.1 - Система диагностического обслуживания, использующая сенсоры и телематику:

1 – центр контроля и управления, 2 – удаленное управление, 3 – внутренние сенсоры, 4 – внешние сенсоры, 5 – поток данных сенсоров в реальном времени, 6 – сбор данных, 7 – аналитическая обработка данных

Интеллектуальные системы находят наибольшее применение в диагностическом обслуживании, которое осуществляется в сочетании с телематикой, основанной на использовании сенсоров (рис. 4.1), благодаря чему обеспечивается глубокое проникновение в особенности работы машин и, как следствие, оптимизация процедур обслуживания с целью повышения работоспособности машин.

Сенсоры, с помощью которых осуществляется диагностическое обслуживание, устанавливаются на удаленных машинах (мобильных или стационарных). Они передают потоки данных об условиях функционирования машин на станцию контроля, которая затем анализирует их в реальном времени, используя методы упреждающего анализа, и выявляет проблемы в поведении машин. При обнаружении таких проблем выполняются соответствующие действия, направленные на то, чтобы уведомить оператора о необходимости принятия корректирующих мер.

Станция контроля может работать в той же коммуникационной сети, что и сенсоры. Она также может быть соединена с сенсорами через глобальную сеть или посредством спутниковой связи.

Сенсоры в системе диагностического обслуживания выполняют следующие основные измерительные процедуры:

1) контроль температуры: тепловые индикаторы, такие как термочувствительные краски или термографы, помогают определять потенциальные повреждения, вызываемые изменениями температуры оборудования; типичные проблемы, которые могут определяться с помощью данного вида измерений: чрезмерное трение, теплообмен, плохие электрические соединения;

2) контроль движения: методы спектрального анализа, а также анализа импульсных ударных воздействий позволяют определять энергию, излучаемую оборудованием в форме волн, вибрации, импульсов и аку-

стических эффектов; типичные проблемы, которые могут определяться с помощью данного вида измерений: износ и разрыв, разбалансировка, несоосность, смещения, внутренние повреждения поверхности.

3) анализ жидкостей: ферроанализ и счетчики частиц-загрязнителей обеспечивают контроль состояния различных масел (смазочных, гидравлических, трансформаторных) и, как следствие, выявляют потенциальные проблемы, вызывающие износ и повреждение машин; типичные проблемы такого рода: загрязнение масел, неподходящая консистенция и ухудшение их качества (при этом контролю подлежат внешний вид и вязкость масел, наличие примесей, загрязнений, растворенных газов и другие параметры);

4) контроль коррозии: методы коррометрии позволяют определять площадь распространения коррозии, ее скорость и состояние (активная или пассивная коррозия) для материалов, используемых в машинах;

5) неразрушающий контроль: основан на рентгеновских, ультразвуковых и других методах неразрушающего контроля, обеспечивающих определение роста потенциальных аномалий в машинах, в том числе в условиях их эксплуатации.

б) электрические испытания: высоковольтные испытания, анализ мощных сигналов и другие методы электрических испытаний позволяют определять изменения таких свойств компонентов машин, как электрическое сопротивление, индуктивность, диэлектрическая прочность и другие; типичные проблемы, которые могут определяться с помощью данного вида контроля: ухудшение электрической изоляции, повреждение электрических проводников двигателя и др.

После того как все измерительные процедуры завершены, следует определить, что в поведении машины является приемлемым, и что аномальным. С учетом того, что диагностическое обслуживание является дорогостоящим, его целесообразно проводить в тех случаях, когда затраты, связанные с последствиями аномалий, гораздо больше, чем стоимость обнаружения этих аномалий.

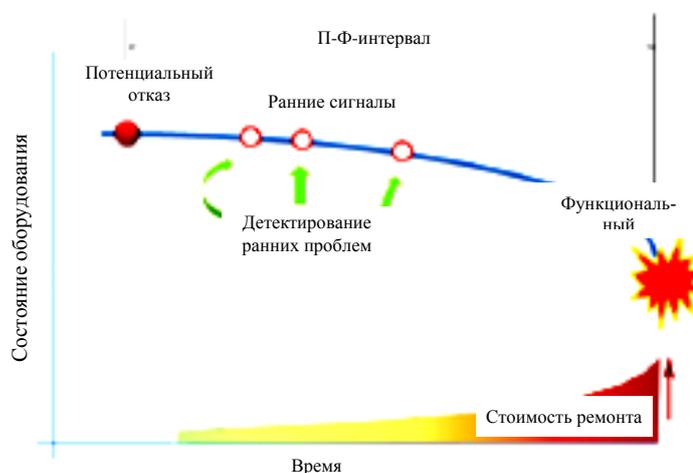


Рисунок 4.2 - Развитие повреждения в процессе функционирования машины

При проведении диагностического обслуживания важно установить частоту выполняемых измерений. При этом следует учитывать тот факт, что большинство повреждений оборудования не случаются внезапно и часто можно определить их на финальной стадии их развития. Если становится ясным, что какие-либо части машины находятся на финальной стадии развития повреждений, то имеется возможность предотвратить эти разрушения полностью или избежать их последствий.

Характер развития повреждения в процессе функционирования большинства машин показан на рис. 4.2. В ходе работы, спустя какой-то период времени, машина входит в фазу потенциального отказа (П) и начинают проявляться ранние признаки износа и разрушения или иного стрессового поведения и, если не принять соответствующих мер, то, в конце концов, наступит полный функциональный отказ (Ф). Как правило, интервал между точками П и Ф достаточно большой, что позволяет своевременно установить и предотвратить разрушение.

При разработке экономически эффективной стратегии диагностического обслуживания желательно, чтобы П–Ф-интервал был, по возможности, максимальным. Он может составлять часы или дни, недели или месяцы в зависимости от сложности машины. Однако независимо от длительности П–Ф-интервала система диагностического обслуживания должна быть способной определить ранние сигналы после момента П и ответить на них до момента Ф. Ответные действия обычно включают ряд шагов и должны осуществляться в пределах П–Ф-интервала.

В пределах каждого такого интервала система диагностического обслуживания собирает данные от сенсоров и использует один из следующих методов для определения состояния машины, подвергаемой мониторингу:

- трендовый анализ (сравнение значений одного и того же показателя за несколько периодов времени для выявления основной тенденции изменения показателя);
- распознавание образов (установление соотношения между определенными типами повреждений и конкретными повреждениями машины);
- критические интервалы (проверка наличия данных в пределах критических интервалов);
- статистический анализ процесса (данные о существующих повреждениях подвергаются аналитическим процедурам, чтобы найти точную модель кривой разрушения, и новые данные сравниваются с этой моделью для идентификации какого-либо потенциального повреждения).

Системы диагностического обслуживания машин, построенные на основе использования сенсорного мониторинга в реальном времени и

телематических технологий, обладают высокой гибкостью и обеспечивают значительные экономические выгоды. Основные преимущества диагностического обслуживания по сравнению с традиционными видами ТО: удаленный сенсорный мониторинг и сбор данных, обработка сенсорных данных в режиме реального времени, упреждающий анализ.

Типичная архитектура системы удаленного контроля и диагностики машин включает три основные части: модуль получения и обработки данных, модуль представления данных и сайт клиента.

Модуль получения и обработка данных включает программу, которая анализирует данные с приборов удаленного контроля (сенсоров), веб- или видеокамер, микрофонов, усилителей или формирователей сигналов, карт приема данных-карт и т.д. Сенсоры собирают текущие вибрационные сигналы с контролируемых машин и затем передают собранные сигналы на усилители. Усилители переводят сигналы в приемлемый формат, так что карты приема данных могут преобразовывать их в цифровые сигналы для дальнейшего анализа дефектов. Диагностическая программа на сервере анализирует цифровые сигналы и затем определяет состояние контролируемой машины.

Работа системы основана на использовании Интернет-технологий и мобильных коммуникационных технологиях. Система работает на языке XML, служащем для шифровки диагностических данных. Система представляет данные не только в WEB (Интернет-пространство), но и в WAP (Wireless Application Protocol – беспроводной протокол передачи данных, созданный специально для сетей GSM, где нужно устанавливать связь портативных устройств, таких как мобильные телефоны, пейджеры, устройства двусторонней радиосвязи, смартфоны и другие терминалы, с Интернет). Пользователи могут проверять состояние машины, включая данные, изображение и видео, через Интернет и мобильные терминалы. Автоматический компонент тревоги, разработанный на основе оперативной системы Microsoft Smartphone, может активно посылать тревожные сообщения на мобильные телефоны операторов о том, что состояние машины ненормальное.

#### **4.2. Техническое обслуживание сельскохозяйственных машин**

##### **Дистанционная диагностика сельскохозяйственных машин.**

Одним из основных направлений интеллектуализации ТО сельскохозяйственных машин, служащих для выполнения полевых работ, является разработка систем дистанционной диагностики их технического состояния на основе использования информационных технологий и устройств телематики. Особенно эффективным является комплексный подход к управлению работающими на поле сельскохозяйственными машинами, при котором работники сельхозпредприятий получают возможность, не

выходя из кабинета, отслеживать в реальном времени все аспекты функционирования машин – не только их техническое состояние, но также местоположение, расход топлива, производительность, текущий объем выполненных полевых работ (например, намолот). Все это осуществляется путем анализа соответствующей информации, поступающей по беспроводным каналам связи от машин на офисный компьютер и отображающейся на его экране.

Такого рода подход к управлению сельскохозяйственными машинами реализован фирмой Claas в системе ClaasTelematics (рис. 4.3). Установленный в машине сенсорный модуль собирает требуемые данные (в том числе GPS) и с помощью мобильной связи отправляет их на сервер Telematics. Таким образом, ремонтно-техническая служба сельхозпредприятия может провести первичный удаленный анализ технического состояния машин, оперативно определить причины сбоев в работе машин, провести соответствующие подготовительные работы и в кратчайшие сроки оказать помощь на месте.

Фирмой Claas также разработано программное обеспечение UT App. Оно предназначено для iPad или планшетов на базе Android, которая превращает их в терминал ISOBUS для управления машинами. Таким образом, с помощью обычного планшета можно удаленно контролировать работу машин, в том числе осуществлять диагностику их технического состояния.

Компания John Deere предложила систему удаленного доступа к терминалам сельскохозяйственных машин Remote Display Access, пользуясь которой специалист по обслуживанию машин может видеть на дисплее компьютера, находящегося в офисе сельхозпредприятия, то же самое, что видит комбайнер или тракторист на дисплее компьютера, который установлен на машине и управляет ее рабочими органами. Благодаря этому он может оказать оператору машины своевременную помощь в настройке узлов машины, исправить ошибки программного обеспечения, а также дать рекомендации по проведению полевых работ, например, по внесению удобрений или средств защиты растений.

Сравнительно новым продуктом деятельности компании John Deere является система интеллектуального управления сельскохозяйственным производством John Deere FarmSight, призванная содействовать оптимизации работы машин и сельхозпредприятий. Система предусматривает широкое применение беспроводной связи на земледельческих и животноводческих фермах. Она соединяет в единую сеть машины, операторов и владельцев в интересах повышения эффективности производства за счет совместного пользования информацией.

Телематическая система Link Ultimate компании John Deere осуществляет дистанционный контроль местоположения машины и расхода топлива, а также дистанционную диагностику и планирование преду-

предупредительного ТО или ремонта. При этом машина автоматически генерирует и посылает сообщения по электронной почте или мобильному телефону (SMS) при возникновении потребности в ТО или ремонте. Благодаря применению такой системы повышается эффективность диагностирования и устранения неисправностей машин и, как следствие, снижается простой машин.

Практическая реализация дистанционной диагностики сельскохозяйственных машин в режиме реального времени сопряжена с рядом трудностей, обусловленных большой номенклатурой различных по исполнению машин, низкой приспособленностью машин к контролю, разнообразием физических величин контроля, значительной вариацией режимов работы и состояния машин.

Так, из диагностических параметров тракторных дизелей целесообразно достоверно и непрерывно контролировать следующие:

- текущий расход топлива, например, по динамике снижения зеркала топлива в баке или уменьшения давления столба топлива на придонный датчик;
- эффективную мощность, например, по расходу топлива с коррективкой на плотность топлива и эффективный КПД дизеля;
- параметры картерных газов (температура, пульсации давления на микрофон);
- оптическую плотность, удельное сопротивление, обводненность масла;
- цвет, уровень звука и температуру отработавших газов;
- давление наддува турбокомпрессором и разрежение за воздухоочистителем;
- виброускорения на блоке цилиндров в зонах газораспределительного механизма и коренных подшипников.

При разработке системы дистанционной диагностики сельскохозяйственных машин необходимо учитывать определенные требования. Контроль технического состояния машин в режиме реального времени должен охватывать основные параметры функционирования узлов, в том числе ресурсные параметры, а также показатели выполнения полевых работ. В бортовой системе контроля должны накапливаться сигналы о совместной работе тракторов и агрегированных с ними сельхозмашин, другие технико-эксплуатационные данные для автоматического диагностирования машин с выдачей рекомендаций о проведении ТО по фактической потребности. Также необходимо принять меры по оснащению тракторов и мобильных сельхозмашин системой датчиков и нормативов для контроля функционирования их узлов и рабочих органов.

По мере реализации предупредительной диагностики с использованием мониторинга в системе ГЛОНАСС/GPS могут быть предложены мероприятия по модернизации всей системы технического сервиса ма-

шин АПК, благодаря чему станет возможным вести историю технического состояния машин за весь жизненный цикл от ввода в эксплуатацию до утилизации.

Для моделирования процессов принятия решений при эксплуатации современных сельскохозяйственных машин нового, интеллектуального типа разработан метод организации ТО, отличительной особенностью которого является использование эвристик и нечетких знаний. Данный метод основан на использовании экспертных систем.

Моделирование процессов принятия решений при технологической регулировке и поиске неисправностей основано на теории искусственного интеллекта и теории нечетких множеств. Практическая реализация этих процессов связана с решением задач по проектированию экспертных систем, а именно: по разработке информационно-логической модели предметной области; разработке архитектуры экспертной системы; формировании базы знаний экспертной системы; создании программных средств.

Экспертная система работает в двух режимах: приобретение знаний и решение задачи.

В режиме приобретения знаний формируется база знаний. При этом главная роль отводится входящему в состав системы блоку приобретения знаний, который реализуется как самостоятельная программа, позволяющая эксперту в автоматизированном режиме формировать базу знаний, в том числе дополнять, удалять и редактировать знания.

В режиме решения задачи в системе включаются в действие следующие блоки:

- диалоговый блок ввода информации обеспечивает естественно-языковой интерфейс с пользователем;
- блок поиска причин неисправностей содержит перечень возможных неисправностей и методов их устранения;
- блок настройки содержит описание технологических регулировок рабочих органов для различных условий функционирования;
- блок анализа ситуации содержит описание условий уборки;
- блок поиска причин появления отклонений показателей качества технологического процесса от допустимых значений содержит перечень возможных отклонений и методов их устранения;
- блок механизмов вывода формирует решение задачи на основе текущей информации, полученной от пользователя (либо от датчиков), правил и фактов о предметной области;
- блок объяснения решений позволяет разъяснить пользователю, каким образом получено то или иное решение, какие правила и почему при этом использовались;
- блок синтеза ответа является конечным звеном в работе экспертной системы;

– блок обучения включает подсистемы мультимедиа для наглядного представления протекающих процессов и устройства различных элементов систем и агрегатов комбайна.

Главное преимущество построения экспертной системы заключается в компактном и адекватном представлении реальных ситуаций функционирования уборочных машин. Система обеспечивает возможность учета признаков внешней среды, параметров технического машины и показателей качества работы.

**Техническое обслуживание молочно-доильного оборудования.** Процесс ТО и ремонта молочно-доильного оборудования включает следующие этапы:

– определение зависимости скорости молокоотдачи от технических параметров оборудования с учетом типа и конструктивных особенностей оборудования, а также физиологических параметров коровы (давление молока в вымени, обхват вымени, глубина вымени, разовый удой и индекс вымени);

– разработка плана ТО и ремонта оборудования на основе результатов технического осмотра согласно методике прогнозирования ресурса узлов оборудования;

– проведение ТО и ремонта оборудования, необходимых для восстановления узлов оборудования и его технических параметров.

При проведении ТО и ремонта оборудования следует руководствоваться следующими положениями:

– исходя из требования повышения эффективности машинного доения, скорость молокоотдачи должна быть максимальной, что возможно при соблюдении оптимальных значений технических параметров оборудования.

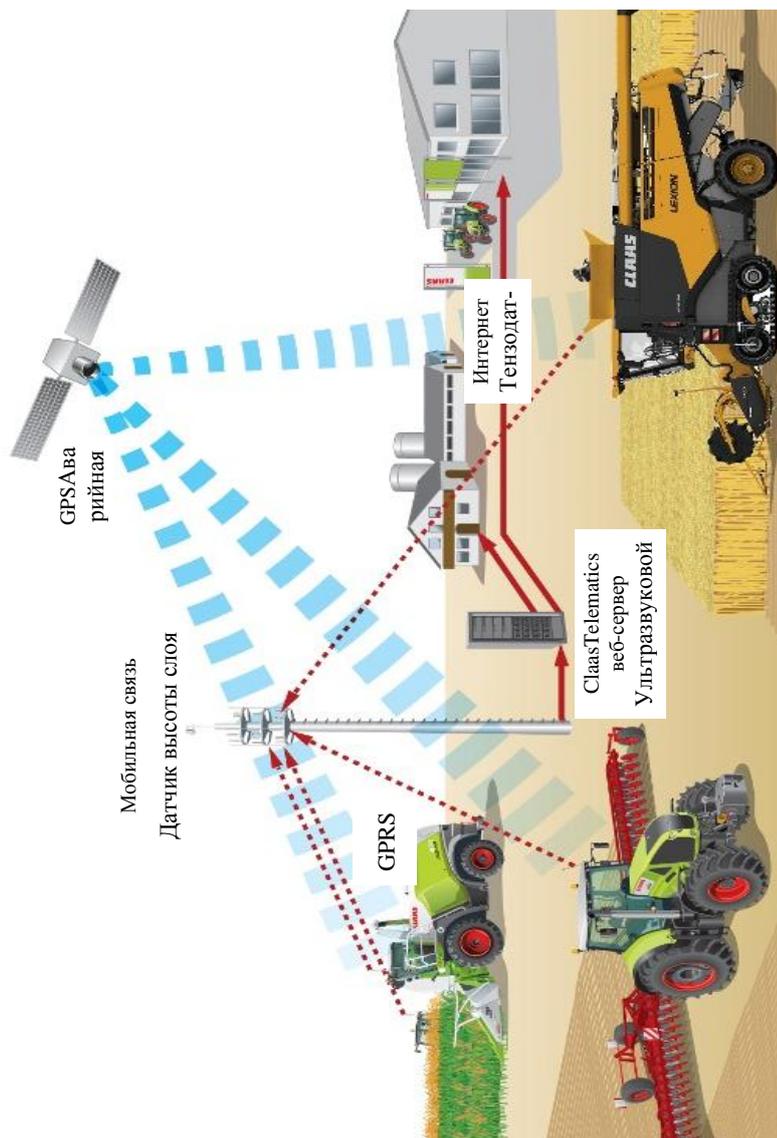


Рисунок 4.3 - Система управления сельскохозяйственными машинами ClaasTelematics

– при эксплуатации оборудования его технические параметры со временем изменяются, поэтому оценка технического состояния оборудования должна проводиться периодически.

– технический осмотр оборудования следует проводить только с использованием специального комплекта контрольно-измерительных приборов, которые должны работать в динамическом режиме.

Современные средства диагностики молочно-доильного оборудования, выпускаемые ведущими фирмами (DeLaval, GEA и др.), способны определять регламентированные международными стандартами основные технические параметры оборудования, однако их стоимость довольно высока. В связи с этим в Институте механизации животноводства НАН Украины предложен приборный комплект для контроля технических параметров молочно-доильного оборудования, включающего блок питания, клавиатуру управления, цифровой индикатор, датчики давления и датчик расхода воздуха, которые соединены с автоматизированной системой управления. Автоматизированная система управления пред-

ставляет собой микроконтроллер с аналого-цифровым преобразователем и внешним запоминающим устройством. Цифровой индикатор выполнен в виде графического LCD-дисплея (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 - Общий вид комплекта приборов для контроля технических параметров молочно-доильного оборудования



Рисунок. 4.5 - Применение комплекта приборов для контроля технических параметров молочно-доильного оборудования.

Также разработана методика прогнозирования ресурса вакуумной системы молочно-доильного оборудования, которая вошла в состав программного пакета «Altviewer 1.0», предназначенного для отображения и автоматической обработки результатов измерений технических параметров оборудования, осуществляемых с помощью разработанного комплекта контрольно-измерительных приборов.

Разработанный программный пакет, методика прогнозирования ресурса и приборный комплект применяются на практике для проведения ТО молочно-доильного оборудования (рис. 4.5).

### **4.3. Техническое обслуживание транспортных машин**

В АПК широко применяется автомобильный транспорт, который представляет собой довольно сложную технику, характеризующуюся высокой степенью автоматизации и компьютеризации. В современных

автомобилях создан ряд нетрадиционных для автомобиля еще в недалеком прошлом систем автоматического управления, таких, как электронная система управления двигателем, электронная система управления трансмиссией, антиблокировочная система, система автоматического контроля пробуксовывания и другие. Главной особенностью таких систем является обязательное наличие в их составе электронного блока, который управляет всеми остальными составными частями системы.

Включение в конструкцию автомобиля сложных электронных устройств управления различными системами на базе бортового компьютера привело к необходимости развития различных форм и методов оказания услуг по диагностике, ремонту и настройке компонентов бортовой электроники на этапе эксплуатации автомобиля.

В последние годы особенно большое распространение получила компьютерная диагностика автомобиля – комплексная проверка электронных устройств и исполнительных механизмов автомобиля на наличие в них неисправностей с целью их последующего устранения. В процессе эксплуатации автомобиля важная роль отводится бортовым системам самодиагностики.

**Компьютерная диагностика автомобиля.** Компьютерная диагностика может проводиться непосредственно на автомобиле (на открытых площадках), а также в сервисных центрах и мастерских по ремонту автомобилей, цехах, отделах технического контроля и лабораториях производственных предприятий. Для обеспечения контроля работы систем на автомобиле в дорожных условиях, например при обкатке автомобиля, обычно используется персональный компьютер (ноутбук).

Принято выделять следующие основные стадии компьютерной диагностики:

- создание и передача под управлением персонального компьютера через диагностический интерфейс (адаптер), выполненный в соответствии со стандартом ISO 9141, электрических сигналов, инициализирующих связь с конкретным электронным блоком;
- прием информации от электронного блока, поступающей по диагностическому каналу;
- преобразование информации в сигналы стандарта RS 232C;
- обработка полученных данных по заданной программе и отображение результатов на экране персонального компьютера.

Диагностическая программа позволяет получать информацию о текущих неисправностях системы, если они имеются, а также о тех неисправностях, которые были ранее, но в данный момент отсутствуют. Кроме того, с ее помощью могут быть получены сведения о номере электронного блока, его изготовителе и дате изготовления, версии программного обеспечения, дате последнего изменения параметров.

С электронного блока системы управления двигателем могут быть считаны данные об общей наработке двигателя (суммарное число полных оборотов коленчатого вала, моточасы работы), об общем пробеге автомобиля и пробеге после последнего ТО и т.д.

Обычно в автомобиле компьютерной диагностике подвергаются двигатели (бензиновые и дизельные), а также разнообразные электронные системы: система удержания при столкновении, антиблокировочная система, система курсовой устойчивости, парковочный ассистент, пневматическая или гидравлическая система регулирования дорожного просвета, система контроля давления в шинах, климатическая установка, коммуникационная система и др.



Рисунок 4.6 - Компьютерная диагностика двигателя в сервисном центре

Особое внимание отводится компьютерной диагностике двигателя автомобиля (рис. 4.6), которая состоит из следующих операций:

- считывание кодов неисправностей из памяти электронного блока управления двигателем;
- анализ считанных кодов неисправностей;
- проверка параметров работы датчиков при помощи диагностического компьютера;
- проверка формы сигналов датчиков при помощи осциллоскопа;
- тестирование исполнительных механизмов;
- диагностика системы зажигания бензинового двигателя;
- проверка топливного давления;
- электронный замер компрессии;
- механический замер компрессии;
- визуальный осмотр свечей зажигания и воздушных фильтров;
- заполнение электронной формы результатов диагностики.

**Вибродиагностика автомобиля.** Одним из путей повышения эффективности диагностирования автомобилей является совершенствование используемых в целях диагностики методов неразрушающего контроля, в частности, виброакустического метода, основанного на косвенных виброакустических признаках неисправностей.

Преимущество использования косвенных параметров при диагностировании состоит в их доступности, а также в технической простоте, поскольку контроль косвенных параметров не требует разборки механизмов и может осуществляться с минимальными подготовительными операциями. Однако обработка результатов косвенных измерений требует детального анализа получаемой при этом информации, систематизации и комплексной оценки всей совокупности диагностических данных.

Виброакустический метод диагностирования хорош тем, что позволяет определять дефекты автомобиля дистанционно. Однако, несмотря на длительную историю своего развития, этот метод применительно к автомобилям до недавних пор характеризовался сравнительно невысокой степенью объективности. Дело в том, что механизмы автомобиля издают широкий спектр звуков, колеблющиеся поверхности корпусных деталей распространяют акустические волны в примыкающей к ним окружающей среде – как в воздухе, так и в других деталях автомобиля. Поэтому распознать и правильно интерпретировать информативный сигнал на фоне значительных помех, определить его параметры и сделать правильный прогноз – довольно сложная задача даже для высококвалифицированного специалиста.

Возможности вибродиагностики могут быть значительно расширены благодаря использованию современных программно-аппаратных средств. Однако эти средства не в состоянии полностью заменить субъективные ощущения эксперта. Поэтому представляется перспективным применение комбинированных экспертных систем, в которых эксперт и программно-аппаратные средства взаимно дополняют друг друга.

С целью повышения эффективности таких систем практически важно установить закономерности, связывающие субъективно воспринимаемые «на слух» и объективно отображаемые виброакустические сигналы с параметрами технического состояния автомобиля. Для решения задач формализации трудно вербализуемых (интуитивных или нечетких для самого эксперта) представлений предлагаются следующие пути:

- учет в базе знаний интуитивных представлений эксперта, например, проявляющихся в форме ассоциаций;
- отображение в формализмах базы знаний степени уверенности эксперта в сообщаемых представлениях;
- отражение на входе системы того, что можно характеризовать термином «сомнения» в воспринимаемых экспертом объективных и/или субъективных признаках.

Для того чтобы улучшить возможности учета сложных взаимосвязей признаков, которые в явной или неявной субъективной форме принимаются во внимание экспертами в процессе диагностирования,

перспективно использовать современные экспертные системы, основанные на теории нечетких множеств.

Степень практической применимости вибродиагностики автомобилей, ее достоверность и содержательность могут быть существенно повышены по мере развития компьютерных методов преобразования и обработки виброакустических сигналов, все более широкого использования компьютерных средств для сбора и анализа информации, а также экспертных систем, создаваемых на их основе.

**Бортовые системы контроля и диагностики.** Для постоянного отслеживания режима движения и технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации служат бортовые системы контроля и диагностики.

В автомобилях применяются различные по назначению контрольно-измерительные приборы, различающиеся конструкцией и принципом действия.

С помощью датчиков положения (перемещение/угол) контролируются такие параметры, как: положение дроссельной заслонки, положение педали управления подачи топлива, перемещение сервомеханизма капота двигателя, дистанция до другого автомобиля или препятствия, угол поворота рулевого колеса; угла поворота колеса; угол наклона подрессоренной массы при повороте, курсовой угол и угол положения педали тормоза и др.

С помощью электроизмерительных приборов осуществляется контроль параметров системы электроснабжения. Приборы измерения давления и разряжения служат для контроля давления масла в двигателе и в гидромеханической передаче, воздуха в пневматической тормозной системе, разряжения во впускном коллекторе. Термометры используются для измерения температуры охлаждающей жидкости, а также температурных режимов работы узлов и агрегатов, спидометры – для контроля режима движения, а тахометры – для контроля частоты вращения вала двигателя. Специальные приборы разных типов контролируют уровень топлива в баке, уровень эксплуатационных жидкостей в заправочных емкостях, а также техническое состояние тормозных накладок, фильтров и других частей автомобиля.

Особое значение имеют приборы диагностики, которые предназначены для информирования водителя о возникновении неисправностей или нарушении рабочих функций узлов или агрегатов, определения оптимальных действий по выбору режимов функционирования. При этом основными параметрами контроля являются: уровень масла в двигателе; уровни охлаждающей и тормозной жидкостей, а также жидкости в бачке стеклоомывателя; износ тормозных накладок; исправность ламп системы освещения и сигнализации. Кроме того, с помощью встроенных датчиков определяются: напряжение аккумуляторной батареи;

регулируемое напряжение генератора; исправность диодов выпрямителя генератора; напряжение на катушке зажигания при включении замка зажигания и стартера; напряжение на контактах прерывателя; угол замкнутого состояния контактов прерывателя при контрольных значениях частоты вращения вала двигателя; асинхронизм искрообразования по цилиндрам; угол опережения зажигания при контрольных значениях частоты вращения двигателя; падение частоты вращения двигателя при отключении цилиндров.

В современных автомобилях находят широкое применение бортовые персональные компьютеры, предназначенные для оказания всесторонней помощи водителю. В компьютер поступают сигналы, характеризующие работу систем регулирования подачи топлива, скорости автомобиля, уровня топлива в баке, напряжения аккумуляторной батареи, включения подсветки приборной панели и др. Кроме того, бортовой компьютер может выполнять функции противоугонного устройства, управлять антиблокировочной системой, выбирать оптимальный маршрут.

Электронные информационные устройства и индикаторы, устанавливаемые на приборную панель, могут предоставлять водителю информацию о состоянии автомобиля в цифровой, графической и текстовой форме, также возможен синтез человеческой речи.

Например, панель приборов автомобилей марки Mercedes-Benz отражает следующие параметры: температура двигателя; уровень и давление масла; уровень тормозной, охлаждающей и омывающей жидкостей; толщина тормозных накладок; степень засоренности воздушного фильтра; напряжение аккумуляторной батареи. Также на панели предоставляются сведения о состоянии антиблокировочной системы, гидропривода тормозов, гидроподвески, стояночного тормоза, ремней безопасности, замков дверей, ламп сигнальной аппаратуры. Кроме того, на ней указываются скорость движения автомобиля, частота вращения вала двигателя, пробег, расход топлива, текущее время, время в пути и время простоя, температура наружного воздуха, интервалы технического обслуживания и др.

Главной задачей бортовой диагностики является определение изменений параметров электрооборудования (электронных систем) автомобиля с учетом их влияния на его работу. Для этого каждая электронная система имеет разъем для присоединения диагностической аппаратуры или же имеет выход на центральный пункт бортовой диагностики – бортовой компьютер. Для бортовой диагностики электронных систем применяют испытательное специальное оборудование, созданное с возможностью совмещения с бортовой системой диагностики.

Наличие большого числа электронных устройств в автомобиле, от работы которых сильно зависит работа автомобиля в целом, обуслови-

вают необходимость ужесточения требований к их надежности, что, в свою очередь, заставляет уделять повышенное внимание вопросам их технического обслуживания, прежде всего, диагностики их технического состояния. Наиболее эффективный путь решения этих вопросов – наделение электронных устройств функциями самодиагностики.

Бортовые системы самодиагностики, которыми оснащаются электронные устройства современных автомобилей, не только снабжают водителя сведениями о работе автомобиля в целом, но также информируют его о возникающих неисправностях узлов и агрегатов, отслеживают межсервисные интервалы, напоминая о необходимости своевременно пройти ТО автомобиля.

Так, на приборном щитке автомобилей обычно имеется многофункциональный индикатор – лампочка CheckEngine, которая загорается при включении зажигания и гаснет, спустя некоторое время после запуска двигателя. Если в результате самодиагностики обнаруживаются неисправные компоненты, то индикатор не погасает. Индикатор также загорается при возникновении некоторых неисправностей во время движения. Если имеют место мелкие, возникающие однократно неисправности, то индикатор может погаснуть, сохранив при этом данные о неисправностях в памяти для последующего считывания.

К основным функциям бортовых систем самодиагностики относятся:

- контроль работы наиболее сложных узлов, прежде всего, двигателя;
- контроль технического состояния узлов и деталей, подвергающихся особому риску в случае появления неисправностей (например, функция защиты каталитического нейтрализатора заключается в реагировании на пропуски зажигания в двигателе путем отключения подачи топлива в неисправный цилиндр для предотвращения перегрева нейтрализатора);
- контроль аварийных ситуаций (например, при выходе из строя датчика нагрузки, определяющего массовый расход воздуха, генерируется сигнал его замены – по результатам контроля частоты вращения коленчатого вала и положения дроссельной заслонки).

Бортовые системы самодиагностики обеспечивают хранение информации о контролируемых параметрах и выявленных неисправностях.

В последние годы в автомобилях получают все большее распространение интеллектуальные датчики, которые имеют собственные встроенные микропроцессорные устройства для первичной обработки сигнала, например для аналого-цифрового преобразования, амплитудно-частотного анализа, интегрирования или внесения поправок с учетом характеристик датчика. При этом большое значение имеет возможность предсказания поведения исследуемой системы на как можно большем

отрезке времени. Особое значение в алгоритмах предсказания имеет проблема раннего обнаружения начала опасного или аварийного развития событий путем выявления и регистрации сбойных состояний.

В этой связи приобретает особую важность совершенствование методов диагностирования различных датчиков указанного типа. Это обусловлено в основном двумя обстоятельствами: интеллектуализацией процесса диагностирования и обнаружением отклонений характеристик датчиков на ранних стадиях возникновения, связанных с их скрытыми дефектами, проявляемыми, например, в виде сбойных и предсбойных состояний. Одним из путей решения данной проблемы является использование методов программно-алгоритмического контроля, получивших распространение в последнее время из-за широкого внедрения микропроцессорной техники в автомобильный транспорт.

**Бортовые телематические системы техобслуживания.** Большое значение в осуществлении процедур ТО имеют устанавливаемые на автомобилях системы телематики. Они применяются для дистанционной диагностики технического состояния автомобиля, а также выполняют следующие функции:

- определение местоположения автомобиля;
- навигация;
- информирование о состоянии дорожного трафика;
- обеспечение связи при аварийных остановках и оказании технической помощи;
- обеспечение безопасности транспортных средств и их владельцев.

Для фирм, занимающихся автоперевозками и прокатом автомобилей, а также передающих свою автотранспортную технику в лизинг, системы телематики позволяют проследить в режиме реального времени транспортировку грузов, соблюдение водителем предписанных маршрутов и режима движения, «санитарных профессиональных» норм труда и отдыха.

В Москве существует система скорой автопомощи «Ангел», которая функционирует на основе взаимодействия датчиков на автомобиле с устройствами спутниковой навигации, что позволяет по данным картографии осуществлять выбор машин техобслуживания, которые находятся ближе к автомобилю, оказавшемуся в неисправном состоянии. При этом также возможен быстрый переход на беспроводную связь.

Примером эффективного применения средств телематики для решения задач ТО автомобилей является интеллектуальная система контроля давления в шинах автомобилей TPMS, которая предложена фирмой TireStamp (Канада).

Главное достоинство системы TPMS состоит в том, что она может подавать сигналы о падении давления в шине и отправлять уведомления тем, кто за это отвечает. Система TPMS интегрирована с телематической

системой и GPS. Телематика обеспечивает передачу данных в службу технической поддержки посредством спутниковой, сотовой, Wi-Fi или другой беспроводной связи. Таким образом, система TPMS дает возможность проводить дистанционную диагностику шин. Она отправляет информацию о состоянии всех шин в базу данных, где эта информация накапливается, хранится и анализируется. Это позволяет контролировать как одну конкретную шину, так и все шины одного автомобиля или группы автомобилей.

Так как данные о шинах хранятся в базе данных, то необходимые отчеты и уведомления о техническом обслуживании шин можно получать регулярно в удобное время. Например, каждое утро автомеханикам может приходиться плановое задание со списком транспортных средств, шины которых нуждаются в обслуживании, которое необходимо провести прежде, чем прибудут водители. Благодаря этому все проблемы с шинами можно решать еще до начала поездок, предотвращая простои.

Сочетание систем TPMS и GPS позволяет также определять местоположение автотранспортных средств. Если в дороге возникает проблема с шинами, то можно отследить маршрут движения автомобиля и направить инструкции ближайшему к нему поставщику услуг или точке техобслуживания. Еще одно важное преимущество системы TPMS заключается в том, что она может сообщать точный пробег, а также расстояние, пройденное с перегретыми или недостаточно накаченными шинами, что помогает определить, следует ли сменить покрышку. Кроме того, во избежание соскакивания колеса, она напоминает проверить момент затяжки гайки колеса после его сборки.

Система TPMS управляется компьютерной программой, с помощью которой можно легко настраивать пороги предупреждения и параметры отчетов в соответствии с требованиями заказчика, планировать автоматическую доставку отчетов и иметь доступ к необходимой информации в любое время через Интернет. Для повышения эффективности ТО шин система TPMS объединяется с системой автоматического накачивания шин.

**Интеллектуальное прогнозирование неисправностей.** С появлением Интернета и беспроводных систем связи возникли существенные изменения в методологии проведения ТО, а именно: наметился переход от традиционного ТО, осуществляемому по принципу «выявление и устранение неисправности», к ТО, которое проводится по принципу «предсказание и предотвращение неисправности». Соответственно, появилась все возрастающая потребность в применении интеллектуальных средств, которые в большей мере отслеживают процесс ухудшения технического состояния эксплуатируемых машин, чем выявляют уже возникшие неисправности. Такое интеллектуальное прогнозирование рассматривается как перспективный системный подход к ТО, в рамках

которого становится возможным не просто контролировать техническое состояние машин, но, что особенно важно, определять возможные изменения показателей технического состояния с течением времени, предсказывать риски неприемлемого поведения машин по мере их эксплуатации, выявлять детали и узлы машин, которые могут выходить из строя в первую очередь.

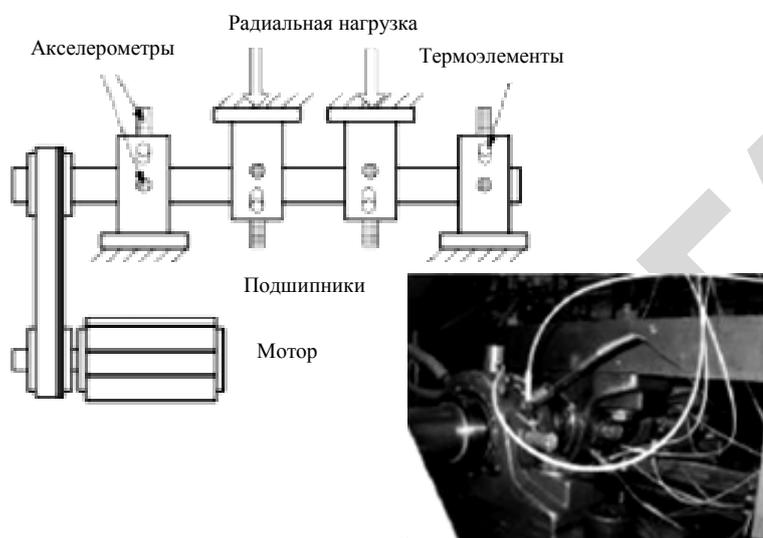


Рисунок 4.7 - Установка для испытания подшипников

В Университете Цинциннати и Университете Мичигана (США) разработана интеллектуальная система Watch-dog Agent, предназначенная для контроля и прогнозирования технического состояния машин, которая позволяет количественно оценивать техническое состояние основных деталей и узлов машин и предсказывать его возможное ухудшение. Действие системы можно пояснить на примере стендовых испытаний подшипников (рис. 4.7). Четыре подшипника устанавливали на одном валу, который вращался с постоянной скоростью. На вал и подшипники налагалась радиальная нагрузка при помощи пружинного механизма. На корпусе каждого подшипника размещали высокочувствительные акселерометры. К внешнему кольцу каждого подшипника были прикреплены термоэлементы, регистрирующие температуру подшипников, по которой можно было судить о состоянии смазки. Магнитный коллектор собирал частицы износа из смазочного масла, наличие которых свидетельствовало о том, что имеет место процесс изнашивания подшипников. Испытания прекращались, когда количество собранных частиц износа достигало определенной величины.

Испытания показали, что в течение большей части времени работы подшипников в их материале идет накопление повреждений, в то время как период распространения трещин является относительно коротким. На рис. 4.8, а показана волнообразная кривая сигнала, полученная от одного из подшипников на последней стадии испытаний. Сигнал пред-

ставляет собой последовательность ярко выраженных импульсов, что обусловлено ударными воздействиями, генерируемыми образующимися дефектами дорожки качения подшипника. Для сравнения на рис. 4.8, б показана кривая сигнала, полученная от этого же подшипника на ранней стадии испытаний. На данной кривой импульсы весьма незначительны и практически перекрываются шумовым фоном.

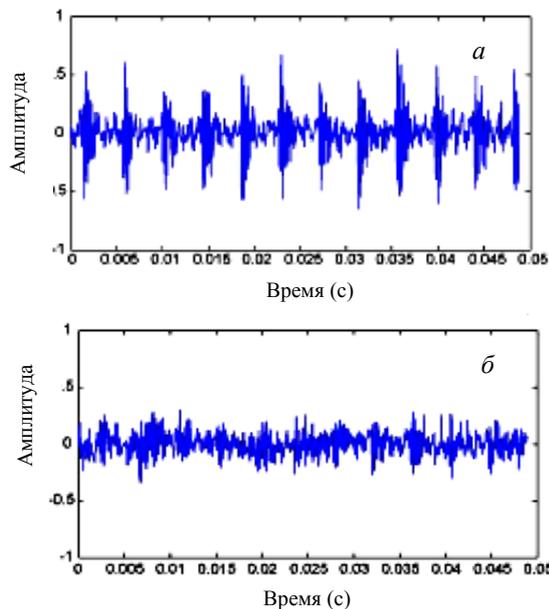


Рисунок 4.8 - Кривые сигналов от испытуемых подшипников

Таким образом, если в традиционном ТО дефекты выявляются на завершающей стадии их развития – по фактам сбоев в работе машин, вызванных этими дефектами, то в интеллектуальном ТО, основанном на прогностическом подходе, дефекты выявляются на ранней стадии их развития, так что имеется достаточно времени для проведения ТО с целью предотвращения возможных сбоев.

#### **4.4. Техническое обслуживание станочного и электроэнергетического оборудования**

**Станочное оборудование.** На предприятиях, занимающихся изготовлением и ремонтом сельхозтехники, применяются разнообразные по назначению металлообрабатывающие станки. Повышение эффективности их работы обеспечивается с помощью специально создаваемых интеллектуальных систем непрерывного контроля их технического состояния непосредственно в процессе работы. Встраивание таких систем в конструкцию станков приводит к повышению производительности и улучшению качества обработки, при этом вероятность поломок станков во время работы практически сводится к нулю.

Примером тому является интеллектуальная система контроля металлорежущего станка, содержащая разные модули, которые можно классифицировать по признакам их функциональности:

1) модуль контроля состояния режущего инструмента – включает контроль износа, поломки, отсутствия инструмента; контроль течения рабочей жидкости, исправности шпинделя; контроль технического обслуживания, а также адаптивный контроль, при котором параметры системы контроля пересматриваются по мере изменения параметров станка;

2) модуль контроля процесса обработки – обеспечивает обследование обрабатываемой на станке детали, в частности, осуществляет определение координат ее положения;

3) модуль планирования процесса обработки – обеспечивает задание, контроль и оптимизацию траектории движения режущего инструмента, выбор наиболее подходящего инструмента, оптимизацию режимов резания (скорости, подачи) с учетом требований к качеству обработки, включая шероховатость поверхности, силу резания, скорость удаления материала, срок службы инструмента;

4) модуль метрологии станка – устанавливает различия в задаваемом и реальном положении режущего инструмента; причинами таких различий могут быть ошибки, допущенные при изготовлении станка (отклонение от требуемых прямолинейности, прямоугольности, угла наклона и т.п.), или динамические ошибки (рост температуры, деформация под действием сил резания);

5) модуль контроля технического обслуживания станка – осуществляет оценку исправного состояния станка; оцениваемые данные, получаемые от сенсоров, анализируются с помощью прогнозных алгоритмов, которые способны прогнозировать деградацию эксплуатационных показателей, так что оборудование может быть отремонтировано, прежде чем наступят повреждения.

Интеллектуальная система контроля станка объединяет в себе все модули контроля и координирует их работу, накапливает все данные о состоянии станка, для того чтобы реализовать общее решение по обеспечению эффективной работы станка, повышению производительности и качества процесса обработки.

**Электроэнергетическое оборудование.** В условиях современного агропромышленного производства все большее внимание уделяется решению задач по повышению надежности электрооборудования технологических систем.

Одними из массовых типов промышленного электроэнергетического оборудования являются электроприводы и трансформаторы. Если данное оборудование находится в неудовлетворительном техническом состоянии, то его эксплуатация приводит как к прямым финан-

совым потерям, связанным с выходом из строя оборудования, так и к косвенным потерям из-за простоя производственного оборудования.

Проблемы сокращения потерь от неисправностей электрооборудования в промышленности в значительной степени решаются путем его диагностирования оборудования, в первую очередь за счет обнаружения в нем неисправностей на ранней стадии их возникновения.

Наиболее сложными задачами в ТО и ремонте электрооборудования являются процедуры оценки установленной ситуации и принятия соответствующего решения. Для решения этих задач весьма перспективно использовать интеллектуальные системы, разработанные на основе применения логических методов технической диагностики и технологии экспертных систем. Такие интеллектуальные системы дают возможность диагностировать разные типы электрооборудования и являются доступными для использования широкому кругу специалистов разной квалификации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шило И.Н. Интеллектуальные технологии в агропромышленном комплексе / И.Н. Шило, Н.К. Толочко, Н.Н. Романюк, С.О.Нукешев.– Минск: БГАТУ, 2016.– 336 с.
2. Черноиванов В.И. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства: науч. изд. / В.И.Черноиванов, А.А.Ежевский, В.Ф.Федоренко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012.– 284с.
3. Черноиванов В.И. Интеллектуальная сельскохозяйственная техника / В.И.Черноиванов, А.А.Ежевский, В.Ф.Федоренко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014.– 124 с.
4. Чинакал В.О. Интеллектуальные системы и технологии: учеб. пособие / В.О. Чинакал. – М.: РУДН, 2008.– 303 с.
5. Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие / Ю.Ф. Тельнов. – М.: Моск. междунар. ин-т эконометрики, информатики, финансов и права, 2002.– 118с.
6. Валетов В.А. Интеллектуальные технологии производства приборов и систем : учеб. пособие / В.А. Валетов, А.А. Орлова, С.Д. Третьяков. – СПб : СПб ГУИТ-МО, 2008.– 134 с.
7. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения / Ю.А. Соловьев.– М. : Эко-Трендз, 2003.– 326 с.
8. Тарасенко А.П. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства / А.П. Тарасенко [и др.]– М.: КолосС, 2002.– 552 с.
9. Воробьев В.А. Механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства / В.А. Воробьев [и др.]– М.: КолосС, 2004.– 541 с.
10. Быков В.Л. Компьютеризация сельскохозяйственного производства / В.Л. Быков // Минск: Ураджай, 1998. – 358 с.
11. Миклуш В.П. Организация технического сервиса в агропромышленном комплексе : учеб. пособие / В.П. Миклуш, А.С. Сайганов.– Минск : ИВЦ Минфина, 2014. – 607 с.

**Шило И.Н., Толочко Н.К., Нукешев С.О.,  
Романюк Н.Н., Есхожин К.Д.**

**УМНАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
ТЕХНИКА**

Сдано в набор 21.12.2017  
Формат 60\*84 1/16  
Усл.печ.л. 11.06

Подписанов печать 08.01.2018  
Заказ № 1417  
Тираж 100 экз.

---

Издательство Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина, 2018  
010011 г.Астана, пр.Женіс 62а, тел.: 39-39-17