

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ТЕХНОЛОГИИ, ТЕХНИКА
И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ КООРДИНАТНОГО
(ТОЧНОГО) ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Учебник для высших учебных заведений

Учебник содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке магистров по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 35.00.00 - Сельское, лесное и рыбное хозяйство и рекомендуется

Научно-методическим советом по технологиям, средствам механизации и энергетическому оборудованию в сельском хозяйстве для использования в учебном процессе

Москва 2016

УДК 631.58: 681.5 (075,8)

ББК 41.4: 40.72

Т 38

Авторы:

**Балабанов В. И., Федоренко В. Ф., Гольяпин В. Я.,
Железова С. В., Куликов В. Ю., Петрушин А. В.,
Прокофьев Н. А., Таркинский В. Е., Трубицын Н. В.,
Худяков А. В.**

Рецензенты:

Б.Г. Рунов, акад. РАН, д-р техн. наук, проф.;
М.А. Мазиров, д-р биол. наук, проф.,
зав. кафедрой земледелия и методики опытного дела
ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;

Под общей редакцией проф. **В.И. Балабанова** и чл.-корр. РАН,
проф. **В.Ф. Федоренко**

**Технологии, машины и оборудование для координатного (точного)
земледелия:** учеб. / В.И. Балабанов, В.Ф. Федоренко и др. – М.: ФГБНУ
«Росинформагротех», 2016. – 240 с.: ил.

ISBN 978-5-7367-1170-3

Приведены исторические аспекты развития координатного (точного) земледелия; рассмотрены основные направления этого вида земледелия; раскрыты основы создания и функционирования глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), а также принципы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ); представлено описание навигационного оборудования, в том числе при параллельном и автоматическом вождении автотракторной техники; рассмотрено применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и оптических сенсоров; раскрыта сущность дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений, а также картографирования плодородия полей и урожайности. В приложении представлены описание и технические характеристики наиболее распространенных моделей курсоуказателей и систем параллельного вождения для сельскохозяйственной техники. Содержание учебника соответствует положениям ФГОС ВО 3-го поколения, современным требованиям техники, экономики, рынка труда и позволит успешно осуществлять подготовку магистров по направлениям 35.03.04 - Агрономия и 35.03.06 - Агроинженерия.

УДК 631.58: 681.5 (075,8)

ББК 41.4: 40.72

ISBN 978-5-7367-1170-3

© Балабанов В.И. и др., 2016

© ФГБНУ «Росинформагротех»,
оригинал-макет, верстка, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
Список сокращений и обозначений	9
1. Возникновение и развитие координатного земледелия	13
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	22
2. Глобальные навигационные спутниковые системы	23
2.1. Исторические сведения	23
2.2. Принципы построения глобальных навигационных спутнико- вых систем	25
2.2.1. Структура глобальных навигационных спутниковых систем.....	25
2.2.2. Подсистема космических аппаратов.....	27
2.2.3. Наземный комплекс управления космическими аппаратами.....	27
2.2.4. Навигационная аппаратура потребителей	29
2.2.5. Особенности глобальных навигационных спутниковых сис- тем: ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, BEIDOU	30
2.2.6. Совместное использование различных спутниковых систем	34
2.2.7. Точностные характеристики	35
2.2.8. Контроль целостности навигационного поля	37
2.3. Решение навигационной задачи в навигационной аппаратуре потребителей	38
2.4. Дифференциальный режим работы глобальных навигационных спутниковых систем	42
2.4.1. Принцип организации дифференциального режима.....	43
2.4.2. Точностные характеристики навигации в дифференциальном режиме	44
2.4.3. Каналы доведения дифференциальных поправок	45
2.4.4. Дифференциальные подсистемы.....	46
2.5. Фазовые измерения в глобальных навигационных спутниковых системах	48
2.6. Комплексная обработка измерений от глобальных навигацион- ных спутниковых систем и инерциальных датчиков.....	49
2.7. Области применения навигационной аппаратуры потребителей ..	50
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	53
3. Дистанционное зондирование Земли	55
3.1. Общие сведения	55
3.2. Электромагнитное излучение	56
3.3. Спектр электромагнитного излучения.....	57
3.4. Взаимодействие излучения с атмосферой.....	61
3.5. Взаимодействие излучения с объектом исследования.....	63
3.6. Характеристики цифровых изображений.....	65
3.7. Базовые сведения о фотограмметрии.....	69

3.8. Носители для аппаратуры дистанционного зондирования земли..	72
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	75
4. Беспилотные летательные аппараты	76
4.1. Общие сведения	76
4.2. Классификация беспилотных летательных аппаратов.....	77
4.3. Управление беспилотными летательными аппаратами	77
4.4. Беспилотная авиационная система.....	78
4.5. Предпосылки к применению беспилотных летательных аппара- тов для аэрофотосъемки.....	79
4.6. Обзор моделей беспилотных летательных аппаратов для аэро- фотосъемки.....	80
4.6.1. Беспилотная авиационная система «Птеро-G0»	81
4.6.2. Беспилотный самолет «ZALA 421-16E».....	83
4.6.3. Беспилотный летательный комплекс «Геоскан 201 Агро».....	85
4.6.4. Беспилотный летательный комплекс «Геоскан 401 Про»	86
4.7. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве.....	87
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	91
5. Системы параллельного и автоматического вождения сель- скохозяйственной техники	92
5.1. Системы параллельного вождения.....	92
5.2. Системы автоматического вождения.....	96
5.3. Испытания систем параллельного и автоматического вож- дения	103
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	113
6. Картографирование в координатном земледелии	114
6.1. Геоинформационные системы в сельском хозяйстве	114
6.2. Электронные карты полей.....	116
6.3. Структура электронных карт	119
6.4. Технологии создания электронных карт	121
6.5. Картографирование плодородия почв	124
6.6. Определение сопротивление пенетрации	134
6.7. Оценка электропроводности и теплопроводности почвы	138
6.8. Картографирование урожайности	143
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	150
7. Индексы растительности. Оптические датчики	151
7.1. Общие сведения	151
7.2. Дистанционные и наземные методы измерения индекса NDVI ..	153
7.3. Оптические датчики для координатного земледелия	157
7.4. Пространственно-временная оценка NDVI в координатном земледелии.....	164

<i>Контрольные вопросы и задания</i>	165
8. Дифференцированное внесения удобрений и средств защиты растений	166
8.1. Общие сведения	166
8.2. Режим дифференцированного внесения offline	167
8.3. Дифференцированное внесение в режиме реального времени (режим online)	169
8.4. Оборудование для дифференцированного внесения.....	170
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	174
9. Стандартизация в координатном земледелии	175
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	181
Заключение	182
Библиографический список	184
Словарь	188
Приложение	201

ПРЕДИСЛОВИЕ

Существующие во многих сельскохозяйственных предприятиях Российской Федерации методы ведения сельского хозяйства значительно устарели, а новые прогрессивные технологии, признанные и успешно применяемые во всем мире, еще не получили должного внимания и развития. Поэтому в настоящее время актуальна проблема реформирования аграрного комплекса страны, внедрения новых высокотехнологичных методов ведения сельского хозяйства, способствующих не только повышению плодородия почв и получению стабильных урожаев при оптимальных затратах, но и выходу агропромышленного комплекса России на новый инновационный путь развития, без чего невозможно обеспечение в полной мере её продовольственной безопасности.

Навигационные технологии на базе отечественной глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС – это катализатор инновационных процессов и ускоренного развития многих отраслей экономики Российской Федерации. Современные спутниковые навигационные технологии активно внедряются в интересах управления различными ресурсами субъектов Российской Федерации, в том числе агропромышленным комплексом. Расширение областей применения отечественных навигационных технологий создает необходимую инфраструктуру для развития малого и среднего бизнеса, способствует технологическому росту, созданию новых рабочих мест.

В мировом сельском хозяйстве в последнее время на базе навигационных технологий, в большей степени на основе развития технологий точного (координатного) земледелия, сформировалось новое научно-практическое направление хозяйствования – precision agriculture (точное сельское хозяйство), или precision farming (точное хозяйствование).

Координатное, или точное земледелие – это не только качественно новая система земледелия, но и новая стратегия ведения сельскохозяйственного производства, которая использует информационные технологии, извлекая данные из множества различных источников, обеспечивая принятие оптимальных решений по управлению сельскохозяйственным предприятием.

Главное отличие от традиционной концепции хозяйствования заключается в том, что precision farming привязано к конкретным навигационным координатам, рассматривая при этом как единицу учета, например, не всё поле в целом, а каждый его отдельный (сопоставимый с точностью глобального позиционирования) участок со значениями его рельефа, плодородия, растительного состава и других признаков. На основании собранных и обработанных данных оно подразумевает применение на каждом из этих участков строго определенных и обоснованных агротехнологических приемов выращивания конкретных сельскохозяйственных культур.

Такой вид земледелия и ведения сельского хозяйства стал возможным благодаря развитию средств связи, ГНСС, компьютеризации и использованию навигационных и информационных технологий в области автоматизации сельскохозяйственного производства.

Содержание учебника соответствует положениям ФГОС ВО 3-го поколения, современным требованиям техники, экономики, рынка труда и позволит успешно осуществлять подготовку магистров по направлениям 35.03.04 - Агрономия и 35.03.06 - Агроинженерия.

В учебнике приведены исторические аспекты развития координатного (точного) земледелия; рассмотрены основные направления этого вида земледелия; раскрыты основы создания и функционирования ГНСС, а также принципы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ); представлено описание навигационного оборудования, в том числе при параллельном и автоматическом вождении автотракторной техники; рассмотрено применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и оптических сенсоров; раскрыта сущность дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений, а также картографирования плодородия полей и урожайности. В приложении представлены технические характеристики наиболее распространенных моделей курсоуказателей и систем параллельного вождения для сельскохозяйственной техники.

В начале учебника приведен список основных сокращений и обозначений. После каждого раздела даны вопросы и задания для самоконтроля изучаемого материала, а в конце учебника – список литературы и краткий глоссарий по изучаемому направлению. В приложении представлены описание и технические характеристики наибо-

лее распространенных моделей курсоуказателей и систем параллельного вождения для сельскохозяйственной техники.

Учебник содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке магистров по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 35.00.00 - «Сельское, лесное и рыбное хозяйство» и рекомендуется Научно-методическим советом по технологиям, средствам механизации и энергетическому оборудованию в сельском хозяйстве для использования в учебном процессе.

Авторы выражают признательность за представление результатов исследований сотрудникам Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Список сокращений и обозначений

у, а	угол и азимут места наблюдения
АС	автоматизированная система
БД	база данных
БС	базовая станция
ВТ-код	код высокой точности в сигналах системы ГЛОНАСС
ГИС	геоинформационная система
ГНСС	Глобальная Навигационная Спутниковая Система
ДР	дифференциальный режим
ИНС	инерциальные навигационные системы
ИС	информационная система
ИСЗ	искусственный спутник Земли
Н	высота над земным эллипсоидом
КНС	космическая навигационная система
МЭК	многослойная электронная карта
МЭМС	микроэлектронные механические системы
НАП	навигационная аппаратура потребителей
НКА	навигационный космический аппарат
НКУ	наземный комплекс управления
НЧ	диапазон низких частот
ОВЧ	область высоких частот
ОЗУ	оперативно-запоминающее устройство
ООП	объектно-ориентированное программирование
ОС	операционная система (Windows, Unix и т.п.)
ПО	программное обеспечение
ПЭС	полное электронное содержание
СДКМ	система дифференциальной коррекции и мониторинга
СКО	среднеквадратичное отклонение
Скрипт	(от англ. script) файл-сценарий, интерпретируемый программой
СРНС	спутниковая радионавигационная система
СТ	код стандартной точности в сигналах системы ГЛОНАСС
СУБД	системы управления базами данных
СЧ	диапазон средних частот
УВЧ	диапазон ультравысоких частот
УКВ	ультракороткие волны
ADO.NET	модель доступа к данным для приложений

ASCII	American Standard Code for Information Interchange – Американский универсальный код для обмена информацией
AZI	азимут, град
B, L	геодезическая широта и долгота
C/A-код	Coarse Acquisition – код свободного доступа
CAD	Computer Aided Design – система автоматизированного проектирования
CAN (шина CAN)	Control Area Network – асинхронная последовательная коммуникационная шина
КОМПАКТ-КОМПАС	ASCII-файл, создаваемый программой TEQC
Compact RINEX	файл в формате RINEX сжатый по алгоритму Yuki Hatanaka
DLL	Dynamic Link Library – динамически подключаемая библиотека
DGPS	Differential GPS – дифференциальный способ наблюдений
DLT	Digital Linear Tape – устройство для хранения больших объемов информации на магнитной ленте
DOP	Dilution of Precision – потеря точности
DSP	Digital Signal Processing – цифровая обработка сигналов
ELE	угол возвышения спутников над GPS – станцией, град
ftp	file transfer protocol – протокол передачи файлов
GNSS Solutions	программный комплекс по обработке и анализу спутниковых измерений компании Magellan
GrafNav/Net	программный комплекс по обработке и анализу спутниковых измерений компании Novatel
GDI+	компонент Microsoft Windows, является улучшенной средой для 2D-графики
GDOP	Geometric Dilution of Precision – геометрический фактор понижения точности
GLOBDET	GLOBAL DETECTION – технология глобального детектирования и название программного комплекса ИСЗФ СО РАН
GDD	степень вегетации в днях (период предположительной возможности роста культуры)
GNU	GNU's Not Unix – проект в рамках которого разрабатывается «свободное» ПО, т.е. пользователь может копировать, видоизменять и распространять его без ограничений

GPS	Global Positioning System – система глобального позиционирования, спутниковая навигационная система 2-го поколения, разработанная в США
GUI	Graphics User Interface – графический интерфейс пользователя
IAG	Международная ассоциация геодезии
IDE	Integrated Drive Electronics – встроенный интерфейс накопителей
IGS	International GPS Service for Geodynamics – Международный GPS-сервис для геодинамики
IOD	производная ионосферной задержки, м/с
ION	ионосферная задержка, м
IRI	International Reference Ionosphere – Международная модель ионосферы
L1, L2	рабочие частоты системы GPS и ГЛОНАСС
M, Mw	магнитуда – безразмерная величина, используемая для энергетической оценки сейсмических событий
MP1, MP2	СКО на частотах L1 и L2, м
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный относительный индекс растительности (стандартизированный индекс вегетации биомассы)
NRS	полоса насыщения азотом
NUE	Nitrogen Use Efficiency – коэффициент использования азота
ODBC	Open Database Connectivity – драйвер для доступа к БД
OLE DB	Object Linking and Embedding, Database – набор интерфейсов, основанных на COM, для доступа к БД
P-код	Protected – код санкционированного доступа
Perl	Practical Extraction and Report Language – практический язык извлечений и отчетов
PRN	Pseudo Random Noise – уникальный идентификатор (номер) спутника системы GPS
RAID	Redundant Array of Independent Disks – матрица независимых дисковых накопителей с избыточностью
RI	индекс отзывчивости растительной массы на подкормку азотом
RTK	Real Time Kinematics – кинематический режим определения координат в реальном времени
SA	Selective Availability – режим избирательного доступа

SIP	Sub Ionospheric Point – подионосферная точка
SMS Advanced	SMS – Spatial Management System – геоинформационная программа для координатного земледелия
SN1, SN2	отношение сигнал/шум на частотах L1 и L2
SOPAC	Scripps Orbit and Permanent Array Center
SQL	Structured Query Language – структурированный язык запросов
TEC	Total Electron Count – величина ПЭС, равная 10^{16} м ²
TEQC	Translate / Edit / Quality Check – стандартная программа обработки данных GPS-приемников
User Interface	портативный компьютер и дисплей
UT, UTC	Universal Time (Coordinated) – универсальное время
WGS-84	World Geodetic System-84 – всемирная геодезическая система 1984 г.
VB.NET	Visual Basic.Net – объектно-ориентированный язык программирования
VI	Vegetation Index – вегетационный индекс
VRA	дифференцированное внесение
VRS	дифференцированный (точный) высев
ПЗ-90	Параметры Земли 1990 г. Российская геоцентрическая система координат
X, Y, Z	координаты потребителя в прямоугольной геоцентрической системе координат

1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ КООРДИНАТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Координатное (точное) земледелие в соответствии с ГОСТ Р 56084-2014 – совокупность технических средств, программно-аппаратных комплексов, навигационных, геоинформационных и телекоммуникационных технологий, позволяющих снимать, обрабатывать и применять информацию, привязанную к координатам с целью оптимизации агротехнологических решений производства продукции растениеводства.

Координатное земледелие часто называют «точным земледелием», а также «топоориентированным земледелием», «земледелием по предписанию», «точным сельским хозяйством» (англ. precision agriculture) или «точным хозяйствованием» (англ. precision farming), иногда «аккуратным сельским хозяйством» и т.д.

Главное отличие от традиционной концепции в том, что координатное земледелие привязано к конкретным навигационным координатам, рассматривая при этом как единицу учета не всё поле в целом, а каждый его отдельный (сопоставимый с точностью глобального позиционирования) участок со значениями его рельефа, плодородия, растительного состава и других признаков. На основании собранных и обработанных данных оно подразумевает применение на каждом из этих участков, строго определенных и обоснованных агротехнологических приемов выращивания конкретных сельскохозяйственных культур.

Координатное земледелие является одним из современных направлений в развитии ресурсосберегающего земледелия. Его суть – интегрированный процесс управления ростом растений в соответствии с их потребностями. Стратегия использования технологий координатного земледелия направлена на максимально полное привлечение и использование различной информации для выработки агротехнологических решений, их оптимизации применительно к конкретным почвенно-климатическим и хозяйственным условиям (в пределах поля) сельскохозяйственного предприятия и дифференцированного осуществления основных технологических операций для достижения максимальных количественных и качественных показателей.

Координатное земледелие обеспечивает улучшение состояния полей и повышение эффективности агроменеджмента вследствие реализации нескольких основных критериев:

- агрономического (с учётом реальных потребностей культуры в удобрениях, при этом не только совершенствуется агропроизводство, но и сохраняется почвенное плодородие полей);
- технологического (производимая продукция отличается более высоким качеством);
- технического (уменьшается тайм-менеджмент на уровне хозяйства, в том числе улучшается планирование сельскохозяйственных операций);
- экологического (сокращается вредное воздействие сельхозпроизводства на окружающую среду, например, более точная оценка потребностей культур в азоте приводит к ограничению применения азотных удобрений);
- экономического (отмечается рост производительности и/или сокращение затрат, что повышает эффективность агробизнеса).

Другим достоинством применения технологий координатного земледелия для агробизнеса является ведение электронной библиотеки и последующего хранения истории полевых работ и урожаев, что немаловажно для последующего планирования и принятия решений по севообороту, а также составления необходимой отчётности о производственном цикле.

Все эти мероприятия в конечном итоге направлены на получение с данного поля (массива) максимального количества качественной и наиболее дешевой продукции, когда для всех растений этого массива создаются одинаковые условия роста и развития без нарушения норм экологической безопасности. Координатное земледелие внедряется путем постепенного освоения агротехнологий на основе принципиально новых, высокоэффективных и экологически безопасных технических и агрохимических средств.

Координатное земледелие – быстроразвивающаяся система с применением наукоемких технологий, последних достижений техники, новейших методов управления. Фундаментальная часть координатного земледелия – развитие и адаптация стратегии и практики ведения сельского хозяйства в современных условиях. Главное при таком подходе – измерить, понять и использовать на практике факторы, влияющие на растения, такие как водно-физические

и химические свойства почвы, ландшафт, семена, применяемая технология, сроки сева и уборки, болезни и вредители, сорняки, агроклиматические условия.

Координатное земледелие позволяет обеспечивать усиленный контроль над проводимыми сельскохозяйственными операциями и отслеживать изменение ситуации во времени в каждой точке контура, проводя сравнительный анализ складывающейся обстановки с прогнозируемым вектором развития событий.

В основе координатного земледелия лежит управление продуктивностью посевов, учитывающее вариабельность среды обитания растений. Координатное земледелие рассматривается как неотделимая часть ресурсосберегающего экологического сельского хозяйства и подразумевает применение интегрированной системы управления, а не отдельных её разрозненных элементов.

Основными задачами и направлениями работ в этой области являются:

- автоматизация процессов управления техникой (параллельное вождение и автопилотирование) на базе системы навигации ГНСС при проведении технологических операций, обеспечивающая точность посева, выравненность рядков зерновых, картофельных гребней и т.д.;
- составление почвенных карт хозяйств с использованием автоматических пробоотборников;
- контроль над изменениями состояния полей и посевов на различных участках, что позволяет определить последовательность их обработки;
- внесение строго определенного количества удобрений и семян на различные участки одного и того же поля в зависимости от состояния почвы и посевов;
- автоматический мониторинг урожайности и составление карт урожайности, а в перспективе – карт рентабельности полей;
- мониторинг и контроль использования дорогостоящей техники (GPS/ГЛОНАСС);
- накопление и хранение данных в электронном виде, что позволяет отслеживать динамику процессов в наглядной и удобной для работы форме;
- многофакторный анализ и визуализация собранных данных, в том числе за несколько лет;

- информационная поддержка принятия решений и контроль над их исполнением.

Комплекс этих мероприятий значительно упрощает управление хозяйством, позволяет специалистам принимать обоснованные решения и оперативно корректировать ситуацию на полях. Все это приводит к экономии удобрений, средств защиты растений, топливно-смазочных материалов, так как используются ресурсосберегающие технологии, а в целом – к снижению себестоимости продукции, росту производительности и повышению эффективности сельского хозяйства.

Внедрением новых средств электроники в сельское хозяйство начали заниматься в 80-х годах прошлого столетия в Японии, Германии, Англии, Голландии и США. Понятие координатного (точного) земледелия зародилось в Великобритании, где на ферме в графстве Саффолк (англ. Suffolk) на протяжении трех лет проводились работы по предварительному координатному анализу почвы в проблемных зонах, дифференцированному внесению удобрений в строгой зависимости от уровня плодородия, а также последующего картографирования полученной урожайности. Удобрения вносились машиной Amazone-M-Tronic с возможностью их точного дозирования. Комплекс проведенных мероприятий по сравнению с внесением постоянных доз удобрений по всему полю позволил обеспечить годовую экономию средств в среднем 17,2 фунта стерлингов на каждый гектар пашни, обрабатываемой по новой технологии.

Эти и другие аналогичные работы способствовали тому, что первые значительные достижения по применению электронных средств автоматизации на сельскохозяйственной технике были получены разработчиками машин для внесения удобрений и защиты растений. Так, на международной агротехнической выставке «SIMA-1976» в Париже опрыскиватель Hydroelectron фирмы «Теснома», оснащенный электронным регулятором пропорциональной подачи раствора в зависимости от скорости движения агрегата, был удостоен золотой медали. Похожую машину также создала английская фирма «Agmet». В них, в отличие от использовавшихся в России и странах СНГ аналогов, поддерживается постоянный в единицу времени расход раствора. При этом норма его внесения на 1 га существенно изменяется при каждом переключении передачи, изменении частоты

вращения двигателя или буксовании колес, что позволяет экономить до 20% агрохимикатов. Несомненно, это обеспечивает не только экономический, но и соответствующий экологический эффект.

Следует отметить, что и в бывшем социалистическом содружестве, в том числе в Советском Союзе, также проводились интенсивные исследования по внедрению электронных средств в сельское хозяйство. Так, еще в 1980 г. по инициативе Болгарии, которая стала координатором работ в этом направлении, страны Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ) объединили свои усилия по электронизации сельскохозяйственного производства. Однако в связи с распадом социалистического лагеря эти работы не получили должного развития.

Достаточно сложно разрабатывались машины для точного высева семян зерновых колосовых культур. Опытные образцы таких сеялок впервые были продемонстрированы на международной выставке в Мюнхене (Германия) в 1982 г. Спустя три года появилась первая серийная машина с электронным регулятором высева от фирмы «Blanchot» и сразу же была отмечена на парижской выставке «SIMA-1985».

Следующим этапом развития точного высева было создание компанией «Rider» (ФРГ) сеялки Saxonia, которая одновременно обеспечивала не только строго определенное расстояние между семенами в рядке, но и заданную глубину их заделки.

В 1986 г. на основании плодотворного сотрудничества производителей сельскохозяйственной техники было принято решение, что более рационально размещение многоканального микропроцессора на тракторе, а на сельхозмашинах необходимо монтировать лишь унифицированные датчики. Впервые, на тракторе марки Case начали устанавливать микропроцессор с возможностью подключения к нему датчиков и других автоматических исполнительных механизмов: регулирования глубины обработки почвообрабатывающих машин компании «Landsberg»; оптимизации работы опрыскивателей компании «Holder»; внесения минеральных удобрений машиной компании «Rotina»; сеялок «Saxonia» и др.

Например, немецкая компания «Amazone-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG» обобщает все свои понятия и технологические решения, связанные с электроникой под ключевым словом «IT-

Farming» (хозяйствование на основе информационных технологий»).

Ядром концепции являются бортовые компьютеры «AMATRON +» и «AMATRON 3» как универсальные обслуживающие терминалы для оптимизации обслуживания, управления количеством, контроля и хранения данных при использовании сеялок, опрыскивателей и разбрасывателей удобрения компании «Amazone». При этом, используя строго определенные и открытые интерфейсы, бортовой компьютер «AMATRON» позволяет обмениваться данными с другими технологиями «IT-Farming», в том числе для оптимального использования управленческих и регулировочных возможностей машин, а также осуществления менеджмента получаемых данных (рис.1.1).

В процессе работы микропроцессор, установленный на тракторе, контролирует и регулирует не только параметры двигателя и удельный расход топлива, но и технологические параметры агрегата, такие как контроль уже обработанных участков, фактическая рабочая скорость и объем выполненных работ.

Известная английская фирма KRM предложила кардинальное решение в области координатного земледелия – оценивать содержание азота, фосфора и калия в почве путем анализа фотоснимков полей, полученных в инфракрасных лучах на специальной пленке методами аэро- или космической съемки с построением картограммы поля, а привязку координат агрегата осуществлять с помощью систем GPS.

В 1994 г. на выставке «Smithfield Farm Tech» фирма KRM выставила первый экспериментальный образец двухдискового центрального агрегата для дифференцированного внесения одного вида минеральных удобрений. Для регулирования дозы вносимых удобрений она использовала электронный прибор Calibrator 2002, отслеживающий через GPS показатели картограммы плодородия поля на специальном компьютере. В 1995 г. немецкая фирма «Amazone» также начала серийный выпуск аналогичных центробежных машин марки ZA-Max, но из-за высокой стоимости электронного оборудования (до 50% цены машины) они не получили на тот момент широкого распространения.

Значительно упрощал агрохимический анализ почвы, созданный другой английской фирмой «Challeng Agriculture», оптический прибор, удостоенный в 1994 г. золотой медали парижской агротехнической выставки. Содержание в почве азота, фосфора, калия и других элементов он определяет путем сравнительной оценки двух точек отраженного света выбранной полосы спектра. Прибор был способен обрабатывать более 30 параметров и регистрировать до 50 значений. Спустя четыре года аналогичный прибор создали китайские специалисты.

Одной из важных задач является разработка новых способов и средств для упрощения и снижения стоимости агрохимического анализа почвы, в том числе через оценку урожайности выращенной культуры на отдельных участках поля. В этих целях зерноуборочный комбайн оснащают электронным датчиком, который определяет объем или массу подаваемого в бункер зерна, по координатно записывает его в бортовой компьютер и распечатывает картограмму урожайности. Данная картограмма урожайности является основанием для относительной оценки текущего плодородия конкретной зоны поля и служит обоснованием необходимости в дифференцированном применении удобрения или определении аномальных зон и взятии проб почвы для последующего агрохимического анализа лишь на этих участках.

В целях объединения усилий и интенсификации работ по созданию и внедрению в агробизнесе различных электронных систем в 1992 г. (спустя 12 лет после решений стран Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ) страны Европейского сообщества (ЕС) приняли собственный план, предусматривающий ускоренное финансирование из бюджета Евросоюза перспективных направлений автоматизации и компьютеризации сельскохозяйственной техники. Затем к этой работе присоединились и бывшие страны СЭВ – Венгрия, Чехия, Словения, а также независимая Эстония. В настоящее время по разработке качественно новых, высокоточных и высокопроизводительных сельхозмашин, оснащенных средствами электронной автоматизации, страны ЕС, особенно Великобритания и Германия, значительно опережают США и Канаду.

Параллельно велись работы по созданию специальных и адаптации имеющихся систем для определения координат сельскохо-

зыйственной техники, а также автоматического управления самоходной техникой с использованием навигационного оборудования.

В Германии была разработана радиосистема, в которую вошли компьютеризированная базовая радиостанция с приемником, размещаемая в диспетчерском центре (офисе) фирмы, и приемопередающие аппаратные устройства, устанавливаемые на агрегатах в поле. Такая система в режиме реального времени обеспечивала поиск, определение координат с точностью ± 10 м и слежение за 200-ми агрегатами, работающими в радиусе до 9 миль от стационарной радиостанции.

В свое время американская компания «Massey Ferguson», входящая в корпорацию «AGCO», для этих целей одной из первых разместила на своих агрегатах специальные радиоприемники, работающие через глобальную спутниковую сеть GPS. Система уже тогда с приемлемой точностью определяла географические координаты агрегата, но на тот период времени она оказалась достаточно сложной и дорогостоящей.

Развитие систем связи и снижение стоимости электронных приборов способствовало развитию в настоящее время данного направления использования различных навигационных систем для применения в технологиях координатного земледелия. Например, в машинах для внесения удобрений центробежного типа (разбрасывателей) добились стабильности внесения удобрений на 1 га независимо от скорости движения агрегата. При этом частота вращения рассеивающих дисков и фактическая доза удобрений, вносимых на 1 га, постоянно указывается на мониторе, а при необходимости тракторист имеет возможность корректировки дозы непосредственно из кабины трактора. Внедрение аналогичных электронных устройств позволило снизить неравномерность внесения удобрений до показателей не более 15%.

Значительных успехов в электронизации сельскохозяйственной техники добились компании «Amazon», «AGCO», «Bargan», CNH, «Claas» и др.

Зарубежный и отечественный опыт показывает высокую эффективность технологий координатного земледелия, особенно применительно к крупным хозяйствам. Например, по имеющимся статистическим данным уже в 2006 г. более 80% фермеров США в той или иной степени применяли данные агротехнологии, благодаря

чему им удалось поднять урожайность зерновых культур до 90 ц/га. При этом установлено, что затраты на внедрение координатного земледелия у них окупаются уже после 2-4 лет его использования и начинают приносить значительную прибыль.

Координатное земледелие получает все большее распространение во многих странах, в том числе в России. В то же время, исследования в этой области за последние 15 лет показали, что это направление многопрофильное. Для его развития и повсеместного внедрения в производство потребуется намного больше времени и финансовых средств, чем для применения традиционных технологий.

Контрольные вопросы и задания

1. Когда и где зародилось понятие «координатное (точное) земледелие»? 2. На каких сельскохозяйственных машинах и каких марок впервые применялись электронные системы? 3. Какие работы в области координатного земледелия проводились в Советском Союзе и других социалистических странах? 4. Когда и где появились первые машины для точного высева семян? 5. Какая фирма первой разместила на своей технике навигационное оборудование? 6. В каких странах в настоящее время технологии координатного земледелия получили наибольшее развитие? 7. Что подразумевается под понятием «координатное земледелие»? 8. Какие основные критерии при применении координатного земледелия обеспечивают улучшение состояния полей и повышение эффективности агроменеджмента? 9. Что является основным отличительным признаком технологий координатного земледелия? 10. Для чего при применении технологий координатного земледелия необходимы САПР? 11. Что является целью координатного земледелия? 12. Назовите основные задачи и направления работ в области координатного земледелия в настоящее время.

2. ГЛОБАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

2.1. Исторические сведения

4 октября 1957 г. в Советском Союзе был запущен первый искусственный спутник Земли (ИСЗ). Измерения доплеровского сдвига частоты излучаемого сигнала и знание координат пункта таких измерений позволили решить задачу определения параметров движения спутника. Особенности движения ИСЗ по орбите: такая орбита достаточно стабильна во времени, а местоположение спутника на конкретный момент хорошо прогнозируется. Решение обратной задачи, т. е. определение координат места приема сигналов от спутников, координаты которых могут быть спрогнозированы на нужный момент времени, стало отправной точкой развития спутниковых радионавигационных систем.

Первое научное обоснование использования ИСЗ для навигации наземных потребителей было проведено в середине 50-х годов прошлого века в Ленинградской военно-воздушной академии им. А.Ф.Можайского под руководством профессора В.С. Шибшаевича. В дальнейшем возникла кооперация научно-исследовательских организаций и предприятий промышленности, которая позволила придать значительный импульс развитию спутниковой навигации, прежде всего, с точки зрения повышения точности, глобальности, непрерывности и всепогодности. Научно-технический задел позволил в 1963 г. перейти к созданию первой отечественной спутниковой системы «Цикада».

В 1979 г. система «Цикада» была сдана в эксплуатацию. В своем составе она имела четыре низкоорбитальных спутника с высотой круговой орбиты 1000 км и наклоном 83 град. относительно плоскости экватора Земли. Такая орбитальная структура системы позволяла потребителю в среднем через каждые 1,5-2 ч получать возможность приема сигнала от одного из четырех ИСЗ и на основе доплеровских измерений частоты в течение сеанса навигационных наблюдений длительностью 5-6 мин определять координаты с точностью до 200-300 м.

Основными пользователями системы «Цикада» являлись морские суда. Для их оснащения была создана навигационная аппара-

тура потребителей (НАП) «Шхуна» и «Челн». Последняя одновременно могла работать и по сигналам аналогичной по структуре спутниковой навигационной системы США «Транзит».

Положительный в целом опыт эксплуатации навигационных систем первого поколения вдохновил ученых и конструкторов на дальнейшее развитие систем спутниковой навигации. Одновременно растущие потребности широкого класса потенциальных потребителей обнажили недостатки систем «Цикада» и «Транзит»: невысокие точность, готовность и надежность системы из-за малого количества ИСЗ. Стало понятно, что такие недостатки являются неприемлемыми для большинства массовых потребителей, и на повестку дня встал вопрос создания новых навигационных систем.

Практически одновременно – в конце 60-годов прошлого столетия в США и в начале 70-х годов в СССР были начаты масштабные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию спутниковых навигационных систем второго поколения соответственно GPS и ГЛОНАСС.

В октябре 1982 г. в СССР был осуществлен запуск космического аппарата «Космос-1413», ставшего первым опытным спутником системы ГЛОНАСС. В 1993 г. распоряжением Президента России система была принята на вооружение видами Вооруженных Сил Российской Федерации. В 1995 г. орбитальная группировка системы была развернута полностью в составе 24 аппаратов. В конце 90-х годов прошлого столетия состав орбитальной группировки системы ГЛОНАСС сильно сократился. Это заставило в 2001 г. принять федеральную целевую программу «Глобальная навигационная система». Новый импульс развитию системы ГЛОНАСС был дан в 2007-2008 гг. принятием ряда нормативно-директивных документов: Указ Президента Российской Федерации от 17 мая 2007 г. № 638 «Об использовании спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития РФ», постановление Правительства России от 30 апреля 2008 г. № 323 «О полномочиях федеральных органов исполнительной власти по поддержанию, развитию и использованию ГЛОНАСС», постановление Правительства России от 25 августа 2008 г. № 641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS». В феврале 2008 г. в Российской Федерации принята «Концепция раз-

вития навигационных сигналов глобальной навигационной системы ГЛОНАСС», в которой определена необходимость совершенствования этой системы.

Спутниковая навигационная система США GPS полностью развернута и введена в эксплуатацию в 1995 г.

В настоящее время также развиваются спутниковые навигационные системы Евросоюза GALILEO и Китая BEIDOU. Кроме того, проект собственной навигационной системы IRNSS имеет и Индия. Однако наибольшее распространение в мире получили именно системы ГЛОНАСС и GPS.

2.2. Принципы построения глобальных навигационных спутниковых систем

2.2.1. Структура глобальных навигационных спутниковых систем

При проектировании космических навигационных систем второго поколения (ГЛОНАСС) были определены следующие основные требования к ним:

- глобальность, т.е. гарантированное обеспечение потребителей сигналами необходимого количества спутников на всей поверхности Земли и в околоземном пространстве;
- непрерывность, т.е. гарантированная возможность для потребителей определять свои координаты круглосуточно;
- неограниченность потребителей;
- высокая точность координатно-временных определений потребителя.

Для реализации таких требований потребовался ряд структурных изменений в самой спутниковой системе. Ключевыми особенностями систем второго поколения стали следующие обстоятельства:

- высота орбиты ИСЗ порядка 19000-20000 км, что позволило одновременно иметь и приемлемый по мощности навигационный сигнал от спутника на поверхности Земли, и получить более высокую стабильность параметров орбиты ИСЗ (из-за уменьшения гравитационных возмущений Земли на ИСЗ) по сравнению с системами первого поколения и, как следствие, иметь координаты навигационных спутников с высокой точностью;

- подъем орбиты спутников, что обеспечило глобальный охват навигационным сигналом от каждого спутника значительную часть (почти полусферу) поверхности Земли и околоземного пространства до 2000 км;

- сетевая структура орбитальной группировки (порядка 24 ИСЗ), что обеспечило глобальность и непрерывность навигационных определений;

- использование высокостабильных бортовых атомных задающих генераторов на спутниках, что позволило использовать не только доплеровские измерения частоты, но и реализовать беззапросный дальномерный (псевдодальномерный) метод;

- специальная структура навигационных сигналов, а также избыточность одновременно «видимых» навигационных спутников, что позволяет достичь высокой точности и надежности определения местоположения;

- применение математических моделей, учитывающих особенности распространения радиосигналов в атмосфере, что позволило значительно уменьшить влияние ошибок ионосферной и тропосферной рефракции при решении навигационной задачи; возможность использовать двухчастотную аппаратуру потребителей, позволяет практически полностью избавиться от ошибок влияния ионосферной рефракции.

Реализация перечисленных подходов возможна только в системе, включающей в себя три основные подсистемы:

- орбитальная группировка навигационных космических аппаратов (НКА);

- наземный комплекс управления (НКУ);

- навигационная аппаратура потребителей.

Кроме того, в последнее время активно развивается еще один сегмент – подсистема функциональных дополнений, состоящая из наземных измерительных станций, наземных вычислительно-коммуникационных ресурсов и коммуникационных спутников, передающих корректирующую и служебную информацию. Задача этой подсистемы: дополнительно повысить точность и надежность навигационных определений.

2.2.2. Подсистема космических аппаратов

Подсистема НКА состоит из сети навигационных спутников (в штатном режиме системы ГЛОНАСС – 24 аппарата). Основное назначение НКА – формирование навигационного сигнала для аппаратуры потребителей. Однако в процессе функционирования оборудование НКА позволяет обеспечивать двухстороннюю связь с Землей для получения команд и выдачи телеметрической и измерительной информации в наземный командно-измерительный комплекс.

НКА состоит из следующих основных элементов:

- устройства формирования навигационных сигналов;
- передатчика с антенной для излучения навигационных сигналов;
- бортовой электронно-вычислительной машины;
- бортового эталона времени и частоты с высокостабильным атомным задающим генератором опорного сигнала;
- аккумуляторов, солнечных батарей и др.

Сигналы, формируемые и излучаемые НКА, имеют особую структуру: фаза их несущей частоты модулируется дальномерным кодом. В этом помехозащищенном коде передается служебная зашифрованная информация о детальных параметрах движения данного спутника (о его эфемеридах), об обобщенных параметрах движения всех спутников (альманах), о параметрах бортового генератора для прогноза ухода бортовых часов и др. Дальномерный код, формируемый на борту НКА, бывает двух типов: стандартный – для обычных гражданских потребителей и высокой точности – для военных пользователей. Подробно параметры сигналов НКА ГЛОНАСС, структура служебной информации и характеристики дальномерного кода стандартной точности изложены в Интерфейсном контрольном документе ГЛОНАСС.

2.2.3. Наземный комплекс управления космическими аппаратами

Наземный комплекс управления космическими аппаратами предназначен для выполнения следующих функций:

- эфемеридное и частотно-временное обеспечение НКА;
- мониторинг радионавигационного поля;

- радиотелеметрический мониторинг НКА;
 - командное и программное радиоуправление НКА.
- НКУ системы ГЛОНАСС в своем составе имеет следующие взаимосвязанные территориально-структурные элементы:
- центр управления системой – в г. Краснознаменске Московской области;
 - центральный синхронизатор – в г. Щелково Московской области;
 - командные станции слежения – в Санкт-Петербурге, г. Воркуте, г. Енисейске, г. Улан-Удэ, г. Якутске, г. Комсомольске-на-Амуре, г. Петропавловске-Камчатском;
 - контрольную станцию и систему контроля фаз – в г. Щелково;
 - квантово-оптическую станцию – в г. Комсомольске-на-Амуре;
 - аппаратуру контроля навигационного поля – в г. Щелково, г. Комсомольске-на-Амуре.

В процессе функционирования НКУ решает следующие основные задачи:

- проведение траекторных измерений для определения, прогнозирования и непрерывного уточнения параметров орбит всех НКА;
- временные измерения для определения расхождений бортовых шкал времени со шкалой времени центрального синхронизатора системы в г. Щелково;
- формирование служебной информации (эфемериды, альманах, частотно-временные параметры, параметры моделей ионосферной рефракции и т.д.) для каждого НКА;
- передача сформированного массива служебной информации на каждый НКА в его бортовую память;
- контроль по телеметрическим каналам о состоянии бортовых систем НКА;
- управление полетом НКА и его бортовыми системами;
- контроль характеристик навигационного поля.

Определение и прогноз параметров движения НКА осуществляет Баллистический центр системы на основе траекторных измерений с использованием всех наземных измерительных станций. Сформированная таким образом информация о параметрах движения НКА (эфемериды) закладываются на борт НКА ежедневно.

Частотно-временное обеспечение – это определение и прогноз отклонений бортовых шкал времени НКА и передача на борт НКА

частотно-временных параметров с целью их последующей передачи в составе служебных сообщений навигационным потребителям.

Элементы наземной инфраструктуры НКУ непрерывно осуществляют контроль по телеметрическим каналам связи состояния бортовых систем НКА, передают эти данные в Центр управления системой ГЛОНАСС в г. Краснознаменске, где они анализируются и в случае необходимости в реальном масштабе времени формируются соответствующие команды управления бортовыми системами, которые передаются на НКА с использованием тех же наземных станций.

2.2.4. Навигационная аппаратура потребителей

Термин «навигационная аппаратура потребителей» (НАП) появился на заре спутниковой навигации. Изначально под ним понималось автономное приемно-вычислительное устройство, на индикаторе которого отображались координаты, высота, скорость и направление движения потребителя с привязкой ко времени, вычисляемые в результате приема и обработки информации от навигационных ИСЗ. С точки зрения назначения в то время НАП делилась на наземную, авиационную и морскую.

По мере развития микроэлектроники и систем связи НАП в привычном понимании в виде приемно-вычислительного модуля оказалась неразрывно интегрирована в специализированные навигационно-вычислительные устройства, например, в трекееры систем мониторинга транспорта, в геодезические комплексы, в высокоточное бортовое оборудование для параллельного вождения сельскохозяйственное техники, в современные смартфоны и планшеты, в системы управления высокоточным оружием и др.

НАП предназначена для приема и обработки радиосигналов от НКА и на основе измерений вычисления координат и скорости самого потребителя с привязкой этой информации ко времени, а также высокоточной синхронизации генератора НАП с системной шкалой времени ГЛОНАСС.

НАП состоит из приемной антенны и навигационного приемника, а навигационный приемник (рис. 2.1):

- из радиочастотного блока, где происходят фильтрация шумов и понижение частоты сигналов, необходимые для дальнейшей обработки;
- цифрового коррелятора, где осуществляется слежение за сигналами от спутников и выделяется измерительная информация (измерения псевдодальности до НКА и измерения доплеровских сдвигов частот);
- вычислительного модуля, в процессоре которого и производятся вычисления координат и скорости потребителя; эти данные выдаются в информационные интерфейсы для дальнейшего использования в специализированном оборудовании.

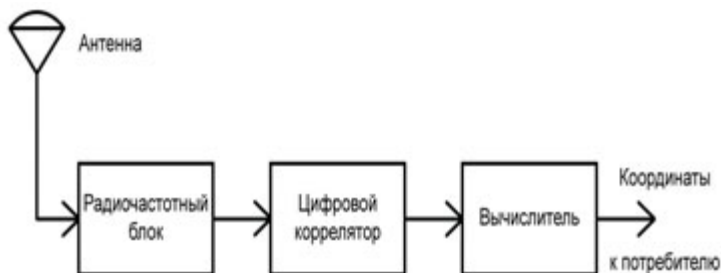


Рис. 2.1. Обобщенная структурная схема НАП

Области использования НАП космических навигационных систем (КНС) расширяются и в настоящее время охватывают весь наземный транспорт, в том числе сельскохозяйственную технику, авиацию, мореплавание, персональный мониторинг, геодезию, картографию, строительство дорог, геодинамику, сейсмологию, космонавтику, оборонные задачи, радиосвязь, телекоммуникации и др.

2.2.5. Особенности глобальных навигационных спутниковых систем: ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, BEIDOU

Системы ГЛОНАСС, GPS, GALILEO и BEIDOU принадлежат ко второму поколению КНС. Системы ГЛОНАСС, GPS и BEIDOU имеют двойное назначение. Они могут использоваться как в интересах безопасности собственных стран, так и в гражданских целях. Система GALILEO не контролируется национальными военными

ведомствами, но ее использование допускается и для военных операций, проводимых в рамках европейской политики безопасности.

В настоящее время в составе КНС ГЛОНАСС находятся спутники серии ГЛОНАСС-М, запущенные в начале 2003 г. Новые спутники серии ГЛОНАСС-К, запуск которых начался в 2011 г., передают дополнительные типы сигналов. В ГЛОНАСС используются спутники на круговых геоцентрических орбитах в трех орбитальных плоскостях по восемь спутников в каждой с высотой орбиты 19,1 тыс. км над поверхностью Земли. Период обращения спутников ГЛОНАСС равен 11 ч 15 мин. Группировка спутников ГЛОНАСС имеет увеличенную зону покрытия на более высоких широтах (у Северного и Южного полюсов) по сравнению с GPS, что очень важно для России и Северной Европы. Каждый спутник системы ГЛОНАСС передает непрерывные навигационные сигналы на собственной несущей частоте в поддиапазонах L1 (1600 МГц) и L2 (1250 МГц). Несущие частоты модулируются двумя дальномерными кодами: кодом стандартной точности (СТ-код) и кодом высокой точности (ВТ-код), а также данными навигационного сообщения. На частоте L1 передаются оба типа кодов, а на частоте L2 – только ВТ-код. Все спутники ГЛОНАСС используют одинаковые дальномерные коды. Информация, предоставляемая навигационным сигналом стандартной точности, доступна всем потребителям на постоянной и глобальной основе. ВТ-код может изменяться космическими войсками Российской Федерации без предварительного уведомления. Режимы типа селективного доступа SA и шифрования AS, применяемые в GPS, для системы ГЛОНАСС не предусмотрены. Спутники ГЛОНАСС-М передают сигналы на одной из 14 частот с кодированием с помощью одинаковой псевдослучайной последовательностью, поэтому ГЛОНАСС – это система многоканального доступа с частотным разделением (Frequency Division Multiple Access, FDMA). Использование только 14 частот для поддержки 24 спутников становится возможным, поскольку частотные каналы повторно используются для спутников на противоположных сторонах Земли. Спутники ГЛОНАСС-К нового поколения передают не только сигнал FDMA, но и новый сигнал с кодовым разделением CDMA. В сигнале CDMA, подобном сигналам GPS/GALILEO/BEIDOU, используются разные коды псевдослучайной последовательности для спутников,

передающих сообщения на одной частоте. Согласно данным Российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), ошибки навигационных определений ГЛОНАСС с вероятностью 0,95 по долготе и широте составляют 4,5-8,9 м при использовании в среднем 8-9 спутников.

Полная орбитальная группировка системы GPS содержит 24 спутника на круговых синхронных орбитах с периодом обращения 12 часов (высота орбиты составляет около 20 тыс. км) в шести орбитальных плоскостях (по четыре спутника в каждой). Для увеличения точности позиционирования и обеспечения резервирования обычно в рабочем состоянии находятся 31 или 32 спутника. Над любой точкой на поверхности Земли все время находится от 6 до 15 спутников. Каждый спутник GPS непрерывно ведет передачу сигналов на двух несущих частотах L-диапазона, обозначаемых как L1 (1575,42 МГц) и L2 (1227,60 МГц). Сигнал L1 имеет два дальномерных кода с псевдослучайным шумом (Pseudo Random Noise, PRN), P-код и C/A код. «Точный» или P-код может быть зашифрован для военных целей. «Грубый» или C/A код (Coarse/Acquisition) не зашифрован. Сигнал L2 модулируется только с P-кодом. Кроме описанных, существует еще и Y-код, представляющий собой зашифрованный P-код (в военное время система шифровки может меняться). Большинство гражданских пользователей используют C/A код при работе с GPS системами. Первоначально на частоте L1 использовалось искусственное уменьшение точности определения координат до 100 м (режим селективного доступа – S/A), но с мая 2000 г. этот режим был отключен. Обе несущие частоты также дополнительно модулируются навигационным сообщением со скоростью 50 бит в секунду. Каждый спутник транслирует сообщение, которое содержит точные данные об орбите спутника, поправки часов приемника, информацию о работоспособности спутника и ожидаемую точность измерения дальности. Сообщение также содержит альманах, в котором даются с пониженной точностью орбиты других спутников, данные об их часах, работоспособности спутников и другая информация. Ошибки навигационных определений координат системой GPS с вероятностью 0,95 по долготе и широте составляют 3,6-7,4 м при использовании в среднем 10-12 спутников.

Радионавигационная спутниковая система Европейского союза GALILEO предусматривает создание глобальной системы под гражданским управлением. Европейская система предназначена для решения навигационных задач для любых подвижных объектов с точностью менее 1 м. Два экспериментальных спутника были запущены в 2005 и 2008 годах. В настоящее время на орбите находятся 10 спутников, к 2020 г. планируется увеличить их количество до 30. В 2020 г. КНС GALILEO должна быть полностью развернута. Полная группировка GALILEO будет состоять из 27 спутников в трех орбитальных плоскостях с высотой орбиты 23 222 км. Каждый спутник будет передавать сигналы на несущих частотах E1 (1575,42 МГц), E6 (1278,75 МГц), E5a (1176,45 МГц) и E5b (1207,14 МГц). Для обычных гражданских пользователей предназначен сигнал открытого сервиса E1.

КНС BEIDOU является спутниковым компонентом независимой китайской спутниковой системой навигации и позиционирования. Система начала разрабатываться еще в 1983 г., когда было предложено разработать свою систему из двух спутников на геостационарных орбитах. В 2000 г. был произведен запуск двух экспериментальных спутников. В коммерческую эксплуатацию система была запущена в 2012 г., при этом спутниковая группировка составляла всего 16 спутников. Согласно государственной программе, к 2020 г. планируется полностью развернуть работу системы, тогда количество спутников для обеспечения системы будет превышать 30. В отличие от других систем спутниковой навигации, которые используют спутники только на средней околоземной орбите, система BEIDOU имеет дополнительно пять спутников на геостационарной орбите и три спутника на наклонной геостационарной орбите. Подобно GPS и GALILEO, BEIDOU представляет собой систему многоканального доступа с кодовым разделением каналов, в которой для каждого спутника используется свой дальномерный код. Спутники передают сигналы открытого сервиса B1 на несущей частоте 1561,098 МГц. Помимо этой частоты предусмотрены диапазоны B2 и B3, которые перекрываются с диапазонами E5b и E6 для GALILEO. В настоящее время максимально возможная точность китайской спутниковой навигационной системы BEIDOU составляет 10 м, а точность скорости – менее 0,7 м/с.

Точность дифференциального решения по фазе несущей составляет около 2-3 см.

2.2.6. Совместное использование различных спутниковых систем

В конце 2020 г., если реализуются планы по развитию европейской системы GALILEO и китайской BEIDOU, на орбите будет больше 100 спутников, которые будут работать в различных навигационных системах. Поскольку геометрический фактор (характеристика потенциальной точности определения координат) зависит от количества спутников и их распределения по небосводу, то совместное использование разных спутниковых систем позволит увеличить точность определения координат как в плане, так и по высоте примерно в 1,5 раза [2.4]. Использование мультисистемных навигационных приемников очень актуально в условиях плотной городской застройки, где в зоне видимости имеется только часть небесной полусферы. Требуется высокая надежность и помехоустойчивость, когда качество полезных сигналов сильно ухудшается из-за переотражений (так называемой многолучевости). На точность определения координат также сильно влияет рельеф местности. Горы, овраги, перепады высот, кроны деревьев – все это в разной степени влияет на устойчивость приема сигнала от спутников. В таких условиях часто недостаточно использовать только одну систему навигации (например, GPS) из-за ограниченной доступности спутников. Мультисистемный приемник значительно лучше «держит» сигнал в сложных условиях и его точность выше, чем у односистемного приемника. По данным СДКМ, при совместном использовании навигационных систем GPS и ГЛОНАСС ошибки навигационных определений с вероятностью 0,95 по долготе и широте составляют 3,4-6,2 м при использовании в среднем 18-20 спутников.

Чтобы реализовать совместное использование в НАП сигналов нескольких КНС, необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить прием спутниковых сигналов от НКА различных КНС на различных частотах;
- обеспечить декодирование служебной информации по каждому из всех спутников различных КНС;

- обеспечить взаимную синхронизацию шкал времени всех КНС относительно шкалы времени бортового генератора НАП;
- при решении навигационной задачи (вычислении координат и скорости) необходимо учитывать особенности систем координат, используемых в каждой из КНС: в ГЛОНАСС используется ПЗ-90, в GPS – система координат WGS-84, в GALILEO – система координат ETRF.

2.2.7. Точностные характеристики

Определение навигационных параметров (координат, скорости, времени) по наблюдениям спутников навигационных систем может выполняться в абсолютном режиме (стандартная навигация) и дифференциальном (ДР). В абсолютном режиме приемник определяет навигационные параметры независимо от других приемников, в дифференциальном режиме наблюдения производят не менее двух приемников, один из которых располагается на опорном пункте с известными координатами, а второй совмещен с определяемым объектом. Точность измерений навигационных параметров зависит от ряда источников погрешностей, которые можно разделить на три группы:

- погрешности, которые вносятся навигационным спутником, а также системой его контроля и управления;
- погрешности, которые добавляются при распространении радиосигнала от спутника к приемнику;
- внутренние погрешности приемника.

Первая группа ошибок связана с погрешностями частотно-временного обеспечения и погрешностями эфемерид. Ошибки часов НКА могут возникать из-за нестабильности частоты внутреннего генератора спутника, а также неточности модели ухода часов и неточности привязки бортовой шкалы времени. Эфемеридные погрешности возникает из-за расхождений в фактическом положении спутника и его расчетным положением, полученным в составе навигационного сообщения. Среднеквадратическое отклонение (СКО) ошибки эфемерид GPS спутника составляет в среднем 1-3 м.

Во вторую группу ошибок входят погрешности, связанные с ионосферной и тропосферной задержкой, а также эффект многолучевости распространения сигналов. Следствием неоднородной плот-

ности ионизации в верхних слоях атмосферы является ионосферная погрешность, которая имеет порядок 20-30 м днем и 3-6 м – ночью. В одночастотном приемнике влияние ионосферы может быть смоделировано по данным навигационного сообщения с точностью около 50%. По этой причине остаточная погрешность ионосферы может достигать 10 м и более. В двухчастотных приемниках эффект влияния ионосферы может быть полностью скомпенсирован. Тропосферная погрешность связана с задержкой радиосигнала в нижних слоях атмосферы по причине изменения температуры, давления и влажности. Высокая точность модели позволяет практически полностью компенсировать данную погрешность. На многолучевость распространения радиосигнала сильно влияет взаимное расположение антенны приемника, спутников и отражающих поверхностей. На открытом пространстве эта погрешность может составлять 0,5-2 м, а в черте города при неблагоприятных условиях может увеличиваться до 100 м.

Внутренние погрешности навигационного приемника связаны с шумами измерений, которые зависят от типа кода (высокой или стандартной точности), а также с неточностями квантования и уходами внутренних часов. Для оценки суммарной погрешности определения дальности до спутника используется параметр эквивалентной погрешности измерения дальности (UERE – User Equivalent Range Error). Ориентировочные значения погрешностей в абсолютном и дифференциальном режимах приведены в табл. 2.1. Подробно точностные характеристики в дифференциальном режиме рассмотрены в п. 2.4.

Погрешности местоопределения зависят не только от ошибок определения навигационного параметра, но и от геометрии спутникового созвездия. Количественным показателем качества геометрии спутникового созвездия является «фактор геометрического снижения точности» (Geometric Dilution Of Precision, GDOP). Данный коэффициент принимает наименьшее значение, когда один из спутников находится в зените, а три других располагаются как можно ближе к горизонту, образуя равносторонний треугольник. В практических навигационных измерениях допустимым геометрическим фактором является значение менее семи ($GDOP < 7$), оптимальное значение GDOP – не менее 3.

**Оценка значений ошибок в абсолютном
и дифференциальном режимах**

Источники и виды погрешностей	Абсолютный метод		Дифференциальный метод	
	код высокой точности, м	код стандартной точности, м	код высокой точности, м	код стандартной точности, м
Ошибки часов спутника	3,0	3,0	0	0
Эфемеридные ошибки	2,0	2,0	0	0
Задержка в ионосфере	3,5	2,3	0,1	0,1
Задержка в тропосфере	0,4	0,4	0,1	0,1
Шумы приемника	1,5	0,2	1,5	0,25
Межканальные сдвиги в приемнике	0,6	0,15	0,6	0,15
Многолучевость	1,2	1,2	1,2	1,2
Суммарная ошибка UERE	5,4	4,5	2,0	1,3

2.2.8. Контроль целостности навигационного поля

Под целостностью навигационной системы понимается ее способность выдавать потребителю своевременное и достоверное предупреждение в тех случаях, когда какие-либо сигналы нельзя использовать по целевому назначению в полном объеме. Контроль целостности навигационного поля может выполняться средствами бортовой диагностики спутника, аппаратурой потребителя, а также внешними системами.

Внешний контроль целостности навигационного поля выполняется с помощью средств НКУ. Время обнаружения неисправности спутника с помощью наземной системы может составлять для ГЛОНАСС – 16 ч, а для GPS – 6 ч.

В навигационном приемнике производится автономный контроль целостности RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring). С помощью RAIM выполняются обнаружение неустойчиво работающего спутника и исключение его из навигационного реше-

ния, а также предупреждение о превышении расчетной ошибки определения координат максимально допустимого значения. Для выполнения данных функций требуется обрабатывать сигналы минимум от пяти спутников. Суть метода заключается в том, что производятся несколько независимых навигационных решений, результаты которых сравниваются между собой. В результате должны быть найдены четыре устойчиво работающих спутника, которые и будут использоваться в навигационном решении.

На спутниках ГЛОНАСС осуществляется непрерывный автономный контроль функционирования основных бортовых систем. В случае обнаружения нарушений нормального функционирования этих систем, влияющих на качество излучаемого спутником навигационного радиосигнала и достоверность передаваемого навигационного сообщения, на спутнике формируется признак его неисправности, который передается потребителю системы в составе оперативной информации навигационного сообщения. Дискретность передачи соответствующего признака в навигационных сообщениях спутника ГЛОНАСС составляет 30 с. Максимальная задержка от момента обнаружения неисправности до момента передачи соответствующего признака не превышает 1 мин.

2.3. Решение навигационной задачи в навигационной аппаратуре потребителей

Наиболее простым способом решения навигационной задачи является использование дальномерного метода, в котором местоположение объекта определяется координатами пересечения сфер (рис. 2.2).

НКА постоянно передают служебную информацию, которая содержит время ее отправки и координаты спутника. После получения этой информации приемник определяет время прохождения сигнала. Зная скорость передачи данных (скорость света в вакууме), можно вычислить расстояние (псевдодальность) между спутником и приемником или радиус сферы, на которой может находиться приемник. При использовании второго источника сигнала приемник будет находиться на пересечении двух сфер. В итоге, добавив еще один источник, можно найти точное местоположение. Однако псевдодальность не может быть вычислена абсолютно точ-

но из-за расхождения шкал времени, задержек распространения сигнала и прочих ошибок.

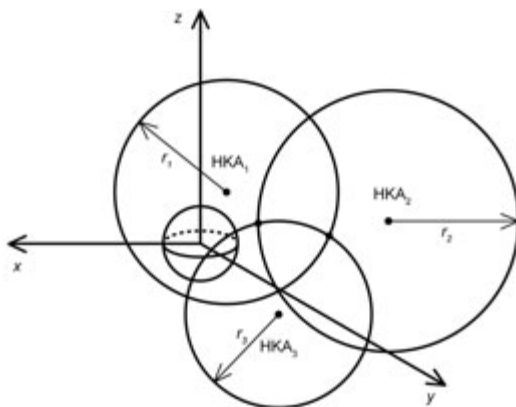


Рис. 2.2 . Определение местоположения методом пересечения сфер

Для определения местоположения навигационного приемника, находящегося над земной поверхностью, требуется определить псевдодальность минимум до четырех спутников. На основе одно-временных измерений по данным, полученным от четырех спутников, приемник корректирует показания своих часов и показывает точное время в дополнение к определению своей широты, долготы и высоты.

Поддержка технологии КНС в электронных устройствах аппаратуры потребителей реализуется на базе навигационных приемников. Приемник КНС принимает сигналы навигационных спутников, обрабатывает их, производя необходимые измерения, расшифровывает навигационное сообщение и преобразует полученную информацию в значения координат, скорости движения и времени. Аппаратная реализация приемника ГНСС может быть выполнена в виде отдельного устройства (трекер, навигатор, геодезический приемник), а также в виде платы или модуля, который встраивается в конечную аппаратуру потребителя (рис. 2.3).



*Рис. 2.3. Типы навигационных приемников
(устройство, плата, модуль)*

Несмотря на размеры, цену, назначение или сложность современного приемника, он может быть разделен на следующие основные части (см. рис. 2.1):

- антенная система;
- радиочастотный блок;
- цифровой коррелятор;
- навигационный вычислитель.

Антенна ГНСС приемника предназначена для приема радиоволн с правосторонней круговой поляризацией на частотах L1 и/или L2 от навигационных спутников. Сигналы, принятые антенной, направляются через малошумящий предусилитель, который увеличивает их мощность, облегчая обработку последующими электронными устройствами. Полосовые фильтры пропускают полезные сигналы и подавляют посторонние.

В малогабаритной аппаратуре могут использоваться внешние или встроенные антенны. В случае внешней антенны предусилитель обычно всегда размещается в корпусе антенны и для его питания используется коаксиальный кабель, соединяющий антенну с приемником. Антенна с предусилителем называется активной. Встроенные антенны используются в случаях, когда антенна, навигационный приемник и система обработки интегрированы в единый прибор, например, смартфон. Встроенные антенны (чип-антенны и патч-антенны) обычно устанавливаются на печатную плату прибора (рис. 2.4).

Для геодезической аппаратуры принято использовать внешние конические кольцевые антенны (conic choke ring). Такая антенна изготавливается из цельной алюминиевой заготовки и имеет от трех до пяти кольцеобразных структур глубиной в четверть волны.

Одна из целей создания такой конфигурации – воспрепятствовать распространению поверхностной волны, отраженной от препятствий и подстилающей поверхности. С целью улучшения условий приема сигналов от спутников, расположенных под малыми углами к горизонту, кольца выполняются так, чтобы вся структура имела коническую форму (рис. 2.5).



*Рис. 2.4. Малогабаритные антенны
(чип-антенна, патч-антенна, внешняя антенна)*



Рис. 2.5. Choke Ring-антенна со снятым защитным кожухом

Работа радиочастотного блока в приемнике заключается в переводе радиочастоты, поступающей на антенну, на более низкую частоту, называемую промежуточной частотой, с последующим преобразованием в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя. Основными элементами радиочастотного блока

являются: синтезатор опорной частоты, умножители для получения более высоких частот, фильтры для подавления ненужных частот. Часто радиочастотный блок реализуется в виде отдельной специализированной интегральной.

Цифровой коррелятор предназначен для параллельного поиска спутниковых сигналов и их сопровождения. Также коррелятор выполняет вычисление времен задержек между спутниковыми сигналами, синхронизацию времени, выделение навигационных сообщений отслеживаемых спутников и передачу полученных данных в микропроцессор навигационного вычислителя.

Для обеспечения в НАП возможности совместной обработки различных систем навигации (например, ГЛОНАСС и GPS) чаще всего используют параллельные тракты первичной обработки. Навигационный вычислитель выполняет управление отдельными блоками приемника в целом и осуществляет вычислительные процедуры для вторичной обработки сигнала (навигационный алгоритм) по определению местоположения пользователя и его скорости.

2.4. Дифференциальный режим работы глобальных навигационных спутниковых систем

Спутниковые системы навигации при работе в абсолютном режиме позволяют определять местоположение объектов с точностью порядка 3-10 м. Однако для многих задач требуется метровая, дециметровая и даже сантиметровая точность. Основным способом повышения точности определения местоположения является принцип дифференциальных навигационных измерений (кодовых и фазовых). Система дифференциальной коррекции по кодовым измерениям основана на измерении и обработке псевдодальностей. Данный вид коррекции позволяет получить субметровую точность местоположения с областью действия до 500 км и более. Система дифференциальной коррекции по фазовым измерениям характеризуется более высокой точностью (дециметровой и сантиметровой), однако имеет ограниченную область действия (10-20 км) и требует применения более сложных алгоритмов обработки данных. В частности, при фазовых измерениях необходимо выполнять разрешение неоднозначности фазы.

2.4.1. Принцип организации дифференциального режима

В дифференциальном режиме используются два навигационных приемника, измеряющих псевдодалности. Один из приемников, установленный в месте с известными координатами, называется базовой станцией (БС). Второй приемник (ровер) определяет свои координаты, используя корректирующую информацию (КИ), получаемую от БС. Суть данного метода состоит в том, что БС определяет и передает роверу поправки для псевдодалностей (рис. 2.6).

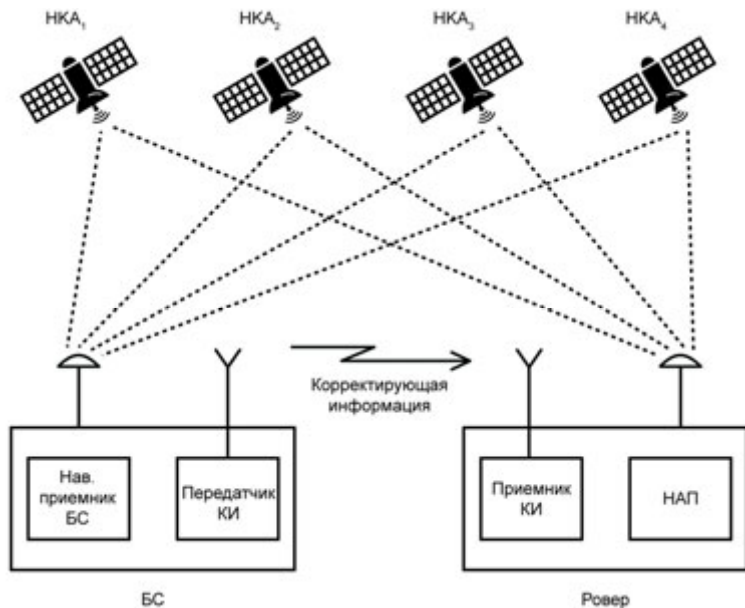


Рис. 2.6. Принцип организации ДР

Ровер, используя поправки от БС, корректирует свои параметры и получает координаты с более высокой точностью. Корректирующая информация БС получается путем сравнения текущих измерений псевдодалностей с точными данными координат БС, которые были получены при геодезической привязке. Если БС и ровер находятся достаточно близко, то измеренные псевдодалности содержат одинаковые составляющие медленно меняющихся систематических погрешностей. Данный режим позволяет эффективно

компенсировать погрешности эфемерид, уходы шкалы времени, а также влияние задержек сигнала в тропосфере и ионосфере.

Для вычисления поправок существует метод коррекции координат и метод коррекции по навигационному параметру. В методе коррекции координат в качестве поправок БС передает добавки к измеренным координатам. Данный метод отличается простотой, но его недостатком является необходимость использования одного и того же созвездия спутников для БС и ровера, что сложно осуществить на практике. По этой причине этот метод в реальных условиях применяется редко.

В методе коррекции по навигационному параметру БС определяет и передает поправки к псевдодальностям для всех спутников, которые могут использоваться ровером. При этом отпадает необходимость использования одного и того же созвездия. Ровер использует необходимый ему набор поправок и применяет его для уточнения своей позиции. Данный метод используется в большинстве систем дифференциальной коррекции. Степень повышения точности определения местоположения напрямую зависит от дистанции между ровером и БС. При увеличении расстояния уменьшается степень корреляции систематических погрешностей БС и ровера и снижается эффект корректировки данных. По экспериментальным данным, БС должна располагаться не далее 500 км от ровера.

2.4.2. Точностные характеристики навигации в дифференциальном режиме

В дифференциальном режиме БС и ровер выполняют измерение псевдодальностей в относительно одинаковых условиях. Погрешности ухода шкалы времени компенсируются в ДР практически полностью (вторая часть табл. 2.1). Степень компенсации тропосферных и ионосферных погрешностей зависит от идентичности условий прохождения спутниковых сигналов БС и ровера. Типичная остаточная ионосферная погрешность для спутников вблизи зенита составляет 0,1-1 м на дистанции 100 км. Остаточная тропосферная погрешность зависит от профиля плотности воздуха вдоль пути распространения сигнала, и она обычно больше для спутников с малым углом возвышения. С увеличением расстояния проис-

ходит ослабление корреляции (декорреляция) ошибок эфемерид из-за разностей в углах, под которыми наблюдаются спутники с разных точек. Так, при дистанции 100 км и ошибке эфемерид 10 м некомпенсированная ошибка в расстоянии будет меньше 5 см.

Погрешности, связанные с шумами приемника и многолучевостью, являются некоррелированными и не могут компенсироваться в ДР. При обычных условиях считается, что ДР позволяет определить местоположение ровера с точностью 1,5-2 м в динамических условиях и порядка 1 м в статике.

2.4.3. Каналы доведения дифференциальных поправок

Передача дифференциальных поправок от БС к роверу может выполняться в реальном времени или в режиме пост-обработки. В последнем случае данные ровера и БС обрабатываются на компьютере с помощью специального программного обеспечения. При оперативной передаче дифференциальных поправок используется стандарт RTCM-104, который был разработан Специальным комитетом 104 Радиотехнической комиссии по мореплаванию США. Версия 2.2 данного стандарта позволяет передавать данные по спутникам GPS и ГЛОНАСС. Скорость передачи данных в системах дифференциальной коррекции с кодовыми измерениями составляет в среднем 200 бит/с, а при использовании фазовых измерений может достигать 9600 бит/с и выше. Для обеспечения передачи таких данных по радиоканалу необходимо использовать радиомодемы. В США и некоторых других странах для передачи дифференциальных поправок используются диапазоны 150-174 и 450-470 МГц с мощностью передатчиков 2-35 Вт. В России для использования фиксированной радиочастоты необходимо получить разрешение Главного радиочастотного центра. Максимальная дальность действия радиомодемов ограничивается зоной прямой видимости и в обычных условиях не превышает 20-30 км. Большим достоинством передачи данных по радиоканалу является потенциальная неограниченность абонентов в зоне покрытия.

Последнее время все чаще в качестве канала передачи данных используют Интернет и сотовую связь (GPRS/3G). Однако сдерживающим фактором в этом случае является ограниченность действия сотовой связи за пределами крупных городов.

2.4.4. Дифференциальные подсистемы

Системы дифференциальной коррекции разделяются на локальные, широкозонные и глобальные. В случае системы локальной дифференциальной коррекции используется одна БС, которая обслуживает все роверы на расстояниях 300-500 км. Наличие эффекта снижения точности при удалении от БС привело к идее использования сети БС, где может быть использована пространственно-временная модель поправок. На этом принципе основана работа широкозонных систем, где размер обслуживаемой области может достигать 5 тыс. км.

В отличие от локальной системы, где считается, что ошибки БС и ровера одинаковые, в широкозонной сети предполагается, что ошибки медленно меняются в пространстве и времени. Метод обработки в широкозонной системе по фазовым измерениям называют методом множественных опорных станций (Multiple reference station) или сетевой кинематикой в реальном времени (Network RTK). Широкозонные системы (WAAS в США, EGNOS в Европе, MSAS в Японии) используют геостационарные спутники в качестве средств передачи сигналов контроля целостности и дифференциальных поправок. Общепринятым названием для подобных систем является SBAS (Space Based Augmentation System), что можно дословно перевести как «космические вспомогательные системы». Система WAAS (Wide Area Augmentation System) разработана Министерством гражданской авиации США и предназначена для усиления GPS дополнительными сигналами в целях обеспечения большей надежности, точности, целостности и доступности GPS для навигации воздушных судов и наземных объектов на территории США. В наземный сегмент системы входят 25 широкозонных опорных станций (WAAS Reference Station, WRS), распределенных по территории США. Космический сегмент представлен несколькими геостационарными спутниками, которые передают GPS-подобный сигнал.

Основным источником погрешностей в широкозонных системах коррекции являются ионосферные и тропосферные задержки. В системе WAAS используется специальная координатная сетка поправок, которая описывает модель ионосферных задержек. Для каждой точки сетки с учетом данных от БС моделируется ионосфер-

ная задержка. Один геостационарный спутник SBAS способен передавать данные только на ограниченную территорию радиуса 400-500 км. Передача данных с БС на спутник составляет несколько секунд. Период обновления информации, связанной с эфемеридами и ошибками спутниковых часов составляют в среднем 2 мин. Спутник SBAS также обеспечивает сбор и оперативную передачу информации о работоспособности спутников GPS. Дифференциальные поправки содержатся в навигационном сообщении и передаются геостационарными спутниками на частоте L1. Несомненным преимуществом спутниковых поправок является то, что их прием осуществляется обычной навигационной антенной. Нет необходимости в опорных станциях и дополнительных каналах связи. Однако существует проблема ограниченной видимости геостационарного спутника, так как он может оказаться недоступен при малом угле возвышения.

Система EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) является европейским аналогом WAAS. Включает в себя 3 геостационарных спутника, 34 базовые станции мониторинга, а также 4 контрольных и 6 передающих станций. Заявленная точность определения координат при использовании системы EGNOS составляет около 1 м. Система начала официальную работу с 2009 г.

В некоторых случаях пользователю бывает необходимо получать дифференциальные поправки в реальном времени в любом месте земного шара. Примером глобальной системы является коммерческая система дифференциальной коррекции OmniSTAR, включающая в себя более 100 опорных станций, расположенных по всему миру, 3 станции для загрузки данных на спутники и 2 контрольные станции. Космический сегмент представлен 7-ю геостационарными спутниками, расположенными над экватором на высоте 36 тыс. км. Для использования поправок данной системы необходима антенна и приемник, которые способны работать с сигналами OmniSTAR. Система обеспечивает несколько уровней сервисов, которые позволяют получить разную точность определения координат.

В России в настоящее время разрабатывается и вводится в эксплуатацию система дифференциальной коррекции и мониторинга.

2.5. Фазовые измерения в глобальных навигационных спутниковых системах

Фазовыми методами выполняются наиболее точные измерения расстояний между спутником и приемником. Из-за высокой частоты несущих колебаний и связанной с ней высокой чувствительностью используемых фазоизмерительных устройств потенциальные возможности данных методов оказываются очень высокими и соответствуют миллиметровому уровню точности. При определении расстояния до спутника фазовыми методами возникает достаточно сложная проблема разрешения неоднозначности, т.е. нахождения целого числа длин волн, укладывающихся в измеряемом расстоянии от спутника до приемника. Эта сложность обусловлена прежде всего тем, что определяемые дальности оцениваются величинами около 20 тыс. км, в то время как длина волны несущих колебаний в КНС ГЛОНАСС и GPS составляет всего порядка 0.2 м. Существуют различные методы разрешения фазовой неоднозначности, отличающиеся спецификой использования.

При реализации фазовых измерений все большую популярность приобретает метод точного позиционирования (PPP, Precise Point Positioning), который позволяет определить координаты с сантиметровой точностью одним двухчастотным навигационным приемником в режиме пост-обработки. Высокая точность определения координат обеспечивается за счет использования фазовых и кодовых измерений вместе с точными эфемеридами и поправками спутниковых часов. Также используется информация о задержке сигнала в тропосфере и ионосфере. Все необходимые апостериорные данные могут быть получены в международных сервисных центрах обработки данных КНС наблюдений (IGS, SOPAC). Однако в связи с большим объемом информации, получаемой и обрабатываемой этими центрами, возникает проблема, связанная с задержкой получения файлов с информацией до суток и более. Важным преимуществом метода PPP является то, что он не требует наличия базовых станций и системы дифференциальной коррекции. Недостатками данного метода является требование продолжительной статической инициализации для сходимости решения (не менее 1 ч) и необходимость доступа в Интернет для получения нужных файлов.

2.6. Комплексная обработка измерений от глобальных навигационных спутниковых систем и инерциальных датчиков

В современной технике используются различные навигационные системы – инерциальные, спутниковые, баровысотометры, радиолокационные, системы локальной радионавигации и др. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки. Поскольку многие задачи, решаемые этими системами, совпадают, то имеет смысл объединить их в единую навигационную систему. Такая интеграция позволяет использовать достоинства каждой из систем и компенсировать недостатки, присущие отдельным системам за счет преимуществ других.

В настоящее время интенсивно развивается направление, основанное на совместной обработке информации от инерциальных датчиков (трехосевых акселерометров и датчиков угловых скоростей) и КНС. Инерциальные навигационные системы (ИНС) характеризуются низким уровнем шумовой составляющей погрешности измерения и высоким темпом выдачи данных, но их погрешность измерения имеет нестационарный характер, т. е. происходит накопление ошибки во времени. Спутниковые навигационные системы, наоборот, характеризуются отсутствием накапливающихся ошибок и высоким уровнем шумовой составляющей.

В последнее время на рынке появилось множество недорогих ИНС, основанных на технологиях МЭМС (микроэлектромеханические системы). Бюджетные МЭМС могут быть использованы на беспилотных летательных аппаратах в комбинации с КНС и датчиками изображения в целях геопозиционирования. Например, для интерпретации изображений, получаемых с бортового лазерного локатора, требуются точные данные об ориентации. Блоки ИНС, основанные на технологиях МЭМС, широко используются на наземных транспортных средствах. В частности, для определения ориентации и наклона сельскохозяйственной техники при выполнении операций, основанных на параллельном вождении, также активно используются датчики МЭМС.

По степени интегрирования ИНС и КНС различают сильносвязанные и слабосвязанные системы. Сильносвязанные системы предусматривают интеграцию на уровне первичной обработки сигнала

лов, т. е. на уровне измеряемых параметров. Слабосвязанные системы (рис. 2.7) используются чаще.

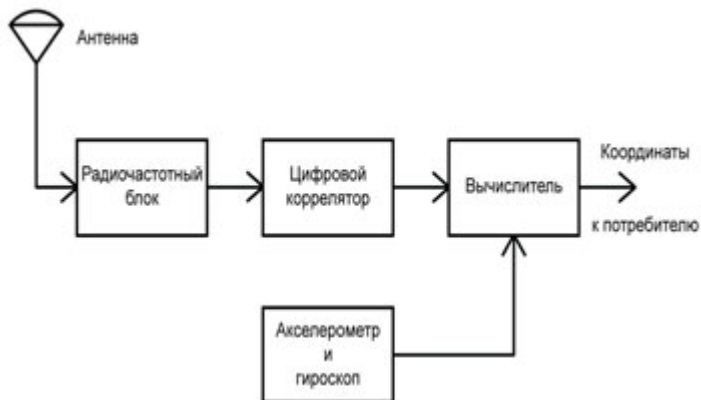


Рис. 2.7. Структурная схема навигационного приемника с ИНС, являющегося слабосвязанной системой

В слабосвязанной системе обработка измерений ИНС производится совместно с уже вычисленными координатами и вектором скорости по информации от КНС. Алгоритмы обработки в слабосвязанных системах значительно проще алгоритмов в сильносвязанных системах, хотя и несколько уступают последним в точности.

2.7. Области применения навигационной аппаратуры потребителей

Оборудование ГНСС широко используется во многих секторах экономики, а также в науке, технологиях, туризме и т.д. Навигационное оборудование может быть применено везде, где трехмерные геоданные играют важную роль. Несколько важных секторов представлены далее.

Авиация

Практически все современные самолеты оснащены, наряду с традиционными датчиками высоты, скорости, ориентации, системами спутниковой навигации. В соответствии с требованиями

ИКАО воздушное судно должно находиться с вероятностью 0,95 в полосе от +/-1,85 до +/-37 км. Одновременно предъявляются высокие требования по надежности: 0,999 – по доступности и целостности при допустимом времени предупреждения – 10 с.

Судовождение

В соответствии с требованиями Международной морской организации ИМО погрешность определения координат на удалении от суши до 50 км должна составлять не более 1 м, более 50 км – не более 10 м, а доступность и целостность должны составлять не ниже 0,999.

Персональная навигация

Этот сегмент навигации является самым массовым. Навигационные приемники входят в состав практически всех современных смартфонов и планшетов. В этих приборах НАП используется как датчик координат для отображения местоположения самого потребителя на экране дисплея на картографической основе.

Мониторинг наземного транспорта

Данный сегмент рынка навигационных технологий не предполагает необходимости, как правило, отображения координат на дисплее пользователя. Главная задача бортового оборудования, называемого трекером, состоит в передаче координат вместе с показаниями других датчиков на сервер диспетчерского центра для последующей обработки и анализа. Для передачи телеметрической информации наибольшее распространение получили системы сотовой (GSM/GPRS/3G/4G) и спутниковой (IRIDIUM, INMARSAT, ГОНЕЦ) связи. Системы мониторинга транспорта предназначены, главным образом, для дистанционного контроля параметров состояния автомобилей: координат, скорости, пробега, уровня топлива в баке, значения напряжения аккумулятора и т.д.

Системы мониторинга транспорта используются для контроля пассажирского транспорта и транспортных средств, используемых для перевозки опасных грузов, в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза 018/2011.

С 1 января 2015 г. начала функционировать система автоматического оповещения и экстренной помощи при авариях ЭРА-

ГЛОНАСС, бортовое оборудование которой также имеет в своем составе НАП ГЛОНАСС/GPS.

Система взимания платы при проезде по федеральным дорогам автомобилей с массой более 12 т также использует бортовое оборудование со встроенной НАП ГЛОНАСС/GPS.

В последнее время растет популярность страховой телематики. Оборудование, имеющее в своем составе приемник ГЛОНАСС/GPS, установленное на автомобиле, определяет стиль вождения владельца (так называемый ECO DRIVING): резкие ускорения, торможения и перестроения. На основании этих данных для каждого конкретного владельца начисляются баллы, в соответствии с которыми страховые компании дают персональные скидки при страховании КАСКО.

Геодезия и земельный кадастр

Использование КНС в геодезии и земельном кадастре расширяет возможности использования спутниковой навигации. Использование сетей опорных станций в целях земельного кадастра, межевания и инвентаризации земель повышает точность и оптимизирует геодезические работы, кроме того, данные технологии ускоряют геодезические и кадастровые работы.

Сельское хозяйство

Использование RTK-технологий в сельском хозяйстве является одним из самых перспективных направлений применения технологии. Применение высокоточного позиционирования в сельском хозяйстве получило название точного земледелия. Принцип работы строится на оборудовании сельскохозяйственной техники системой высокоточной навигации, что позволяет управлять ею с точностью до 2,5 см.

Кроме того, в сельском хозяйстве нашли широкое применение и системы мониторинга транспорта.

Дорожное строительство

Перспективным направлением в дорожном строительстве является использование систем автоматического управления в сочетании с КНС. Принцип работы основывается на том, что благодаря уточняющему сигналу становится возможным управлять техникой

с сантиметровой точностью. Центральный блок управления системы управления сравнивает текущее положение рабочего органа машины с цифровой моделью проектного решения и выдает команды на перемещение рабочего органа автоматически или путем отображения информации оператору, что позволяет сократить ошибки в работе на всех этапах дорожного строительства и повысить эффективность расходования материалов.

Железные дороги

Технологии высокоточного позиционирования используются на железных дорогах, по крайней мере, в двух аспектах. Во-первых, для их строительства, где применяются технологии, схожие с обычным дорожным строительством. Во-вторых, для сейсмического мониторинга железных дорог, который используется для раннего оповещения в случае землетрясения.

Мониторинг сейсмообстановки и целостности промышленных объектов

Областями применения систем высокоточного позиционирования являются также мониторинг и раннее предупреждение землетрясений, цунами, оползней, а также мониторинг деформации промышленных объектов. Система высокоточного мониторинга смещений сложных инженерных сооружений предназначена для непрерывного контроля смещений и колебаний элементов конструкций мостов, плотин, башен и других сложных инженерных сооружений для ранней диагностики чрезвычайных происшествий.

Вооружение и военная техника

В военных системах НАП используется как для навигации техники (самолетов, судов, наземной техники и др.), так и управления высокоточным оружием.

Контрольные вопросы и задания

1. Что собой представляют ГНСС? 2. Какие в настоящее время существуют ГНСС? 3. В чем заключаются принципы построения ГНСС? 4. Какова структура ГНСС? 5. Что входит в подсистему космических аппаратов? 6. Из чего состоит наземный комплекс управления космическими аппаратами? 7. Что входит в навигационную аппаратуру потребите-

лей? 8. Опишите особенности ГНСС: ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, BEIDOU. 9. Какие показатели относятся к точностным характеристикам навигационных систем? 10. Как осуществляется контроль целостности навигационного поля? 11. Какие навигационные задачи решаются в навигационной аппаратуре потребителей? 12. В чем заключается дифференциальный режим работы ГНСС? 13. Расскажите о принципах организации дифференциального режима. 14. Назовите точностные характеристики навигации в дифференциальном режиме? 15. Какие Вы знаете каналы доведения дифференциальных поправок? 16. Что собой представляют дифференциальные подсистемы? 17. В чем заключаются фазовые измерения в глобальных навигационных спутниковых системах? 18. Как осуществляется комплексная обработка измерений от ГНСС и инерциальных датчиков? 19. Расскажите об основных областях применения навигационной аппаратуры потребителей.

3. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

3.1. Общие сведения

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – получение информации о поверхности Земли без осуществления непосредственного физического контакта с ней. ДЗЗ является подразделом географии. В настоящее время термин «дистанционное зондирование» применяется к технологиям и процессам космического и авиационного зондирования поверхности Земли, а также атмосферы и океана посредством электромагнитного излучения и других распространяемых сигналов. Смежными с ДЗЗ областями науки и техники являются физика, в частности оптика, приборостроение, геодезия. Кроме того, ДЗЗ непосредственно связано с работой с различными видами программного обеспечения, применением алгоритмов анализа и обработки данных. В рамках данного раздела ограничимся определением основных терминов и понятий, необходимых для понимания материалов последующих разделов, а также описанием применяемых в настоящее время авиационных и спутниковых системах. Следует понимать, что приведенная в данном разделе информация – лишь вводная часть обширной области знаний, а само по себе ДЗЗ следует изучать как отдельную, самостоятельную дисциплину.

ДЗЗ может выполняться с помощью активных и пассивных сенсоров. В первом случае электромагнитное излучение вначале испускается зондирующей системой, а затем регистрируется детектором излучения. Во втором случае регистрируется только излучение от внешних источников (например, отраженный от поверхности свет Солнца). Примерами активных сенсоров являются лидары и радары, пассивных – аналоговая фотопленка и приборы с зарядовой связью. Стоит отметить, что для ДЗЗ могут использоваться не только матричные сенсоры, к которым относятся цифровые фотоаппараты, а регистрируемое излучение может быть как отраженным, так и испускаемым с поверхности исследуемого объекта.

Составные элементы процесса дистанционного зондирования.

1. **Испускание энергии.** Необходимым условием для осуществления ДЗ является наличие источника излучения, которым может являться как сам исследуемый объект (в этом случае регистрирует-

ся его собственное излучение), так и внешний объект (в этом случае регистрируется излучение, отраженное от исследуемого объекта).

2. **Распространение излучения в атмосфере.** Несмотря на кажущуюся прозрачность, атмосфера Земли оказывает заметное влияние на распространение излучения.

3. **Взаимодействие излучения с объектом исследования.** После прохождения сквозь атмосферу, излучение источника взаимодействует с объектом исследования, причем характер взаимодействия зависит как от свойств излучения, так и от свойств объекта.

4. **Регистрация излучения сенсором.**

5. **Передача данных на обработку.** В случае космических аппаратов (КА), передача данных, зарегистрированных сенсорами, осуществляется по радиоканалу в центры приема и обработки данных. При аэрофотосъемке данные ДЗЗ, как правило, переносятся с борта летательного аппарата (ЛА) на тех носителях информации, на которые их регистрирует аппаратура (карты памяти, фотопленка и др.).

6. Интерпретация и анализ.

7. Применение полученной информации.

3.2. Электромагнитное излучение

Необходимым условием для дистанционного зондирования является наличие источника излучения. Чаще всего используется электромагнитное излучение Солнца, которое после отражения от объекта исследования регистрируют сенсоры космического или летательного аппарата. Для некоторых задач, например, термографии, наличие внешних источников излучения не требуется, поскольку изучаются характеристики собственного излучения исследуемых объектов. Более того, в таких случаях наличие внешних источников вносит дополнительные погрешности, а порой даже делает проведение измерений невозможным.

Электромагнитное излучение подчиняется законам электродинамики, и характер его распространения и взаимодействия с веществом (в условиях, при которых проводится ДЗЗ) является вполне предсказуемым. Наиболее важными для понимания принципов дистанционного зондирования характеристиками электромагнитного излучения являются **длина волны и частота**.

Длина волны – расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками в пространстве, в которых (электромагнитные) колебания происходят в одинаковой фазе. Длина волны обозначается греческой буквой λ . Единицей измерения длины волны в СИ является метр (м). На практике часто применяются дольные единицы: микрометр (10^{-6} м) и нанометр (10^{-9} м).

Частота – количество периодов электромагнитной волны, наблюдаемых в фиксированной точке пространства за единицу времени. В СИ единицей измерения частоты является герц (Гц). Один герц соответствует одному колебанию в секунду. Частота обозначается греческой буквой ν , реже – латинской f . Обратная частоте величина – период, обозначается латинской буквой T и измеряется в секундах.

Частота и длины волны связаны простым соотношением:

$$\lambda = \frac{c}{\nu},$$

где c – скорость света в среде.

В вакууме скорость света считается фундаментальной физической постоянной, точно равной 299792458 м/с. Скорость света в вакууме обозначается латинской буквой c . В простых расчетах скорость света в атмосфере часто принимают равной c и используют приближенное значение 3×10^8 м/с. Тем не менее атмосфера Земли представляет собой достаточно плотную среду, влияние которой на распространение электромагнитного излучения следует учитывать на различных этапах ДЗЗ.

3.3. Спектр электромагнитного излучения

Свойства земной поверхности и атмосферы различаются в зависимости от длины волны электромагнитного излучения. Электромагнитный спектр включает в себя гамма- и рентгеновское излучение, ультрафиолетовое (УФ), оптическое, инфракрасное (ИК) излучение, а также микро- и радиоволны. Для ДЗЗ представляет интерес часть УФ-диапазона, весь оптический диапазон, некоторые участки ИК-диапазона и микроволновый диапазон. Для получения информации о земной поверхности в различных участках спектра используются различные сенсоры и датчики.

Наиболее коротковолновым участком спектра, в котором проводят ДЗЗ, является **ультрафиолетовое излучение**. Диапазон УФ-излучения – от 400 нм до 10 нм, между рентгеновским и видимым излучением. Внутри диапазона выделяют следующие подгруппы (по ISO-DIS-21348) (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Внутридиапазонные подгруппы ультрафиолетового излучения

Наименование	Длина волны, нм	Аббревиатура
Ближний	400 - 300	NUV
Ультрафиолет А, длинноволновой диапазон	400 - 315	UVA
Средний	300 - 200	MUV
Ультрафиолет В, средневолновой	315 - 280	UVB
Дальний	200 - 122	FUV
Ультрафиолет С, коротковолновой	280 - 100	UVC
Экстремальный	121 - 10	EUV, XUV

Основным источником УФ-излучения на поверхности Земли является Солнце. Человеческий глаз не различает ультрафиолетовое излучение, однако некоторые материалы при облучении их УФ-лучами могут испускать свет в видимом диапазоне за счет явления фотолуминесценции. Большая часть УФ-В и УФ-С поглощается атмосферой. Общее количество УФ-лучей, достигающее поверхности Земли, зависит от следующих факторов:

- высота Солнца над горизонтом;
- высота над уровнем моря;
- рассеяние в атмосфере;
- состояние облачного покрова;
- степень отражения УФ-лучей от поверхности (воды, почвы).

Участок электромагнитного излучения, который способен воспринимать человеческий глаз, называется **видимым светом**. Видимый свет совместно с ближним ИК-излучением составляют **оптический диапазон**. Излучение в узком интервале частот (в пределе – на одной частоте) называют монохроматическим. Цвета видимого света, соответствующие монохроматическому излучению, называются спектральными (табл.3.2).

Диапазоны цветов видимого света

Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц
Фиолетовый	380-440	790-680
Синий	440-485	680-620
Голубой	485-500	620-600
Зелёный	500-565	600-530
Жёлтый	565-590	530-510
Оранжевый	590-625	510-480
Красный	625-740	480-405

В англоязычных источниках голубой цвет не выделяется отдельно, а включается в синий («Blue»). Пурпурный, розовый, коричневый и их оттенки не относятся к спектральным цветам. Красный, синий и зелёный цвета называются **основными**, поскольку с помощью аддитивного смешивания их в различных пропорциях, можно воспроизвести практически все воспринимаемые человеческим глазом цвета. Для регистрации излучения видимого и ближнего ИК-диапазонов широко используются приборы на основе кремния, в том числе цифровые фотокамеры.

Следующим после оптического диапазона в сторону увеличения длин волн является диапазон **инфракрасного излучения**. ИК-излучение занимает спектральную область от 0,74 мкм до приблизительно 100 мкм. Свойства ИК-излучения, связанные с его распространением в атмосфере, различаются в зависимости от длины волны. Международная организация стандартизации предлагает следующее деление ИК-диапазона на подгруппы (табл. 3.3).

Диапазоны инфракрасного излучения по ISO 20473.

В англоязычных источниках используется схема деления, основанная на наблюдаемых свойствах ИК-излучения (табл. 3.4).

Таблица 3.3

Разделение ИК-диапазона на подгруппы

Обозначение	Аббревиатура	Длина волны
Ближний инфракрасный диапазон	NIR	0.78-3 мкм
Средний инфракрасный диапазон	MIR	3-50 мкм
Дальний инфракрасный диапазон	FIR	50-1000 мкм

Таблица 3.4

Деление, основанное на наблюдаемых свойствах ИК-излучения

Аббревиатура	Длина волны
Near-infrared, NIR	0,75-1,4 мкм
Short-wavelength infrared, SWIR	1,4-3 мкм
Mid-wavelength infrared, MWIR	3-8 мкм
Long-wavelength infrared, LWIR	8-15 мкм
Far-infrared, FIR	15-1000 мкм

Ближний ИК-диапазон (NIR) слабо поглощается атмосферой, поэтому в качестве источника этого типа излучения можно использовать Солнце. По своим свойствам он близок к видимому свету, может регистрироваться видекамерами с режимом «ночной съемки» и другими приборами на основе кремния. Граница чувствительности полупроводниковых сенсоров на основе кремния находится примерно на длине волны 1 мкм.

Особенности коротковолнового ИК-диапазона (SWIR) заключаются в том, что в нем расположены полосы поглощения воды (1,45 мкм и др.). В атмосфере Земли молекулы воды присутствуют в виде пара, поэтому зондирование в SWIR-диапазоне с космических аппаратов затруднено. Другой интересной особенностью этой части ИК-диапазона является то, что излучение с такими длинами волн слабо рассеивается на частицах пыли и дыма. Это позволяет использовать ИК-камеры SWIR-диапазона для наблюдения в условиях задымления, например, при лесных пожарах. Детекторы, регистрирующие SWIR, изготавливаются из полупроводников на ос-

нове арсенида индия-галлия (InGaAs). Больших успехов в производстве InGaAs и приборов на его основе достигли в США и Японии. По состоянию на 2016 г. экспортные правила запрещают ввоз в Россию приборов на основе InGaAs, поскольку они относятся к изделиям двойного назначения.

Средневолновый инфракрасный диапазон (MWIR) называется также тепловым, поскольку нагретые до нескольких сотен градусов Цельсия тела начинают излучать в этом диапазоне. Приборы для регистрации теплового излучения называется болометрами, к этому типу приборов относятся и промышленные тепловизоры. Наибольшее распространение получили полупроводниковые тепловизоры на основе матриц из оксида ванадия (VOx). Для ДЗЗ в тепловом диапазоне оптимальным считается холодное время года, когда тела слабо нагреваются Солнцем и наибольший вклад вносит собственное излучение исследуемых объектов. Следует отметить, что температура тела связана с характеристиками его излучения в ИК-диапазоне не напрямую, что затрудняет определение абсолютной температуры тела дистанционными методами.

Дистанционное зондирование в области **микроволн и радиоволн** проводится реже, чем в других диапазонах, однако обладает рядом уникальных свойств. Прежде всего, микро- и радиоволны в широком интервале частот практически беспрепятственно проникают сквозь атмосферу, а также могут проникать сквозь воду и почву. Активное зондирование в СВЧ-диапазоне (микроволны) используется для радиолокации, измерения почвенной влажности и др.

3.4. Взаимодействие излучения с атмосферой

После излучения источником, электромагнитные волны преодолевают путь до поверхности Земли, проходя сквозь атмосферу. Перед тем, как зарегистрироваться прибором после отражения от объекта исследования, излучение снова взаимодействует с частью атмосферы. При зондировании с космического аппарата преодолеваемое излучением расстояние значительно больше, чем при авиационном зондировании, особенно при применении БЛА. На распространение электромагнитных волн в атмосфере наибольшее влияние оказывают процессы **рассеяния и поглощения**.

Рассеяние – изменение характеристик электромагнитного излучения при взаимодействии с веществом атмосферы. Влияние рассеяния зависит от длины волны излучения, концентрации пылевых частиц и газов в атмосфере и расстояния, преодолеваемого излучением. В атмосфере Земли существенное влияние оказывают два вида рассеяния: Рэлеевское (молекулярное) рассеяние и рассеяние на крупных частицах (рассеяние Ми).

Рэлеевское рассеяние – рассеяние излучения на объектах, размеры которых меньше его длины волны. Названо в честь британского физика лорда Рэля, установившего в 1871 г. зависимость интенсивности рассеянного света от длины волны. Рэлеевское рассеяние определяется как происходящее без существенного изменения частоты. В атмосфере данный тип рассеяния вызван флуктуациями количества молекул газов, главным образом, азота и кислорода, в объемах, сравнимых с длиной волны. Рэлеевское рассеяние вносит наибольший вклад в верхних слоях атмосферы. Интенсивность рэлеевского рассеяния пропорциональна $1/\lambda^4$, т.е. фиолетовый участок видимого спектра рассеивается примерно в 16 раз интенсивнее красного. Это объясняет голубой цвет неба.

Рассеяние на крупных частицах, размер которых сравним с длиной волны и превышает его, в случае сферических частиц, называется **рассеянием Ми**. Факторы, вызывающие данный тип рассеяния – наличие в атмосфере пыли, дыма, водяного пара и других подобных объектов. Поскольку концентрация такого рода частиц выше в нижних слоях атмосферы, именно там рассеяние Ми является преобладающим механизмом рассеяния. Важно отметить, что рассеяние на частицах, размер которых близок к длине волны света, будет приводить к возникновению интерференции волн, отраженных от различных участков поверхности частицы. Некоторые авторы выделяют рассеяние на частицах, размер которых многократно превышает длину волны излучения, в отдельный вид, так называемое «неселективное рассеяние». С физической точки зрения, такое разделение не имеет смысла, поскольку механизм рассеяния не изменяется.

Еще одним механизмом взаимодействия излучения с атмосферой является **поглощение**, представляющее собой потерю энергии. Наибольший вклад в атмосферное поглощение вносят озон, углекислый газ и водяной пар. Озоновый слой поглощает губительное

для большинства живых организмов ультрафиолетовое излучение Солнца. Углекислый газ сильно поглощает ИК-излучение, тем самым задерживая тепловую энергию внутри атмосферы. Водяной пар значительно поглощает часть ИК и микроволновый диапазон (длины волн от 22 мкм до 1 м). Концентрация водяного пара сильно отличается в зависимости от географического расположения и времени года. Например, воздушные массы над пустыней могут содержать совсем небольшое количество водяного пара (вода в газообразном состоянии), а над тропическим лесом – огромное. Облака представляют собой сконденсированный водяной пар, т.е. воду в жидкой или кристаллической фазе (лед).

Из-за того, что вышеупомянутые газы поглощают солнечное излучение в определенных участках спектра, для ДЗЗ пригоден не весь диапазон электромагнитного излучения, а лишь те его участки, где поглощение атмосферой не слишком интенсивное. Такие участки спектра называются «окнами прозрачности» атмосферы:

- 1) 0,3-1,3 мкм (видимый диапазон, небольшая часть УФ, ближний ИК);
- 2) 1,5-1,8 мкм (инфракрасный диапазон);
- 3) 2,0-2,6 мкм (инфракрасный диапазон);
- 4) 7,0-15,0 мкм (тепловой инфракрасный диапазон);
- 5) 0,5 мм и более 10 м (микроволновый и радиодиапазон – наибольшая прозрачность).

3.5. Взаимодействие излучения с объектом исследования

Излучение, которое не было поглощено или рассеяно атмосферой, достигает поверхности Земли и взаимодействует с находящимися на ней объектами. Основные механизмы взаимодействия включают в себя:

- поглощение;
- пропускание;
- отражение.

Влиянием прочих явлений, таких как фотолюминесценция, в задачах ДЗЗ обычно пренебрегают.

Согласно закону сохранения энергии энергия падающего излучения равна сумме поглощенной энергии, энергий отраженного и

пропущенного излучения. Для дальнейшего изложения материала требуется определить несколько величин из области фотометрии.

Поток излучения Φ_e – энергетическая фотометрическая величина, характеризующая мощность, переносимую оптическим излучением через какую-либо поверхность. Равен отношению энергии, переносимой излучением через поверхность, ко времени переноса. Подразумевается, что длительность переноса выбирается так, чтобы она значительно превышала период электромагнитных колебаний. В качестве обозначения используется Φ_e или P .

$$d\Phi_e = dQ_e / dt,$$

где dQ_e — энергия излучения, переносимая через поверхность за время dt .

Коэффициент поглощения — безразмерная физическая величина, характеризующая способность тела поглощать падающее на него излучение. В качестве буквенного обозначения используется греческая α . Численно коэффициент поглощения равен отношению потока излучения Φ , поглощенного телом, к потоку излучения Φ_0 , упавшего на тело.

Величины, характеризующие пропускание и отражение, называются соответственно коэффициентами пропускания T и отражения ρ . Также из закона сохранения энергии следует, что сумма α , T и ρ равняется единице.

Различают **диффузное, зеркальное и смешанное отражение**. Диффузное отражение – это отражение светового потока, падающего на поверхность, при котором отражение происходит под углом, отличающимся от падающего. Такой тип отражения возникает, когда характерный размер неровности поверхности сравним с длиной волны (или превышает её), а сами неровности расположены беспорядочно. Зеркальное отражение – это отражение, при котором:

- 1) отражённый луч лежит в плоскости, проходящей через падающий луч и нормаль к отражающей поверхности, восстановленную в точке падения;
- 2) угол отражения равен углу падения.

Ситуации, когда весь падающий световой поток отражается зеркально, на поверхности Земли возникают достаточно редко. В большинстве случаев имеет место смешанное отражение. Характер

отражения, в том числе величина коэффициента отражения, зависит от длины волны падающего излучения, его поляризации, характеристик поверхности и угла падения.

3.6. Характеристики цифровых изображений

В настоящее время аналоговые приборы для ДЗЗ практически полностью вытеснены цифровыми. Цифровая фотография может быть представлена и отображена в виде комбинации одинаковых по форме и размеру участков, называемых пикселями. Чем больше пикселей на единицу площади содержит изображение, тем более оно детально. Максимальная детализация растрового изображения задаётся при его создании и не может быть увеличена. В черно-белых изображениях значение пикселя состоит из одного числа, кодирующего его яркость. В цветных изображениях для каждого пикселя содержится информация о его цветовых компонентах, например, красной, синей и зеленой, которые при отображении аддитивно смешиваются.

Одним из важнейших параметров цифровых изображений Земли является **пиксельное разрешение** (англ. Ground Sample Distance, GSD) – расстояние между центрами проекций двух соседних пикселей на поверхность Земли. Пиксельное разрешение измеряется в метрах и сантиметрах, также часто используются равносильные формулировки «метр на пиксель и сантиметр на пиксель». Пиксельное разрешение зависит от таких параметров как высота съемки, угол обзора и разрешение регистрирующего прибора. Не менее важным параметром является **пространственное разрешение** – линейный размер минимально различимого объекта на изображении. Более строгим определением является «расстояние между двумя близко расположенными контрастными линиями, различимыми на изображении». Пространственное разрешение измеряется в единицах длины. В предельном случае пространственное разрешение равно пиксельному. На практике оно всегда ниже за счет атмосферных искажений, неточности фокусировки, дифракции и аббераций. По данным компании «Геоскан», отношение пространственного разрешения к пиксельному для снимков с БЛА с установленной цифровой камерой Sony DSC-RX1R составляет порядка 1,2. Проблема в применении термина «пространственное разре-

ние» заключается в том, что данная величина является характеристикой изображения, а параметры регистрирующей системы являются лишь одним из факторов, ее ограничивающих (рис. 3.1, 3.2).



*Рис.3.1. Изображение
опоры ЛЭП,
пиксельное разрешение 5 см*



*Рис.3.2. Изображение
опоры ЛЭП,
пиксельное разрешение 15 см*

В то же время пиксельное разрешение однозначно может быть определено для заданных прибора и высоты съемки. Стандартные методики определения пространственного разрешения предполагают проведение съемки специальной тестовой мишени – миры, которая представляет собой изображение черных линий, секторов или других геометрических фигур на контрастном (белом) фоне.

Применительно к готовым картографическим материалам (а не исходным снимкам), используется величина, называемая масштабом. Масштаб – отношение величины изображения объекта к его натуральной величине. Для более детальных картографических материалов используют понятие «крупный масштаб», менее детальных – «мелкий масштаб» (рис. 3.3, 3.4).



*Рис. 3.3. Карта области –
мелкий масштаб*



*Рис. 3.4. Карта района города –
крупный масштаб*

© Участники OpenStreetMap¹. Изображения карты лицензированы под CC-BY-SA. (См. <http://www.openstreetmap.org/copyright> и <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>).

Характеристикой, описывающей чувствительность регистрирующей аппаратуры в зависимости от длины волны излучения, является **спектральное разрешение**. В ДЗЗ под спектральным разрешением понимается ширина диапазона длин волн, регистрируемого в независимый канал.

Классическим прибором для изучения спектральных характеристик различных объектов является спектрометр. В силу ряда причин, установка спектрометров на космические и летательные аппараты затруднена, но все же возможна. Недостатком данного типа приборов является то, что входной поток излучения должен быть собран в узкий пучок, что фактически сводит угол обзора к малым величинам, т.е. одновременно измеряется спектр отраженного излучения от одной точки земной поверхности. Для получения изображений к спектрометру необходимо добавить систему развертки (сканирования) по оси, перпендикулярной движению КА или ЛА. Сканирование по второй оси достигается за счет движения аппарата. Такие приборы называются гиперспектрометрами, а изображения с них – гиперспектральными.

Альтернативным способом изучения спектральных характеристик является применение цифровых камер, в которых разделение

по длинам волн достигается за счет применения светофильтров. При этом возможны как комбинирование нескольких отдельных цифровых камер в единый корпус, так и использование одной камеры (с одной матрицей и одним объективом), в которой массив светофильтров помещается непосредственно перед матрицей (или нанесен на саму матрицу методом фотолитографии). Такие приборы называются мультиспектральными и гиперспектральными камерами. В настоящее время нет четкой классификации, позволяющей отнести прибор к одному или другому классу. Мультиспектральными обычно называют матричные приборы с числом независимых каналов до 10, а гиперспектральными – более 10. Также гиперспектральными камерами называют все сканирующие системы. Классификация на основе ширины канала также не является универсальной, поскольку узкие полосы пропускания (5-10 нм) можно обеспечить на всех типах приборов, например, установив на четырехканальную камеру узкополосные светофильтры.

Радиометрическое разрешение, называемое также глубиной цвета и битностью изображения – величина, означающая объём памяти в количестве бит, используемых для хранения и представления цвета при кодировании одного пикселя. Связанная с радиометрическим разрешением аппаратная характеристика – разрядность АЦП (аналогово-цифрового преобразователя). Радиометрическое разрешение измеряется в битах или, равносильно, битах на пиксель. Глубина цвета показывает количество различных цветов (или градаций серого для черно-белых изображений), которые могут кодировать пиксель изображения. Чем выше битность, тем больше оттенков может присутствовать в изображении. Для того, чтобы все возможные цифровые уровни сигнала без потерь были закодированы в изображении, необходимо чтобы битность изображения была не меньше чем разрядность АЦП. Еще одним смежным понятием является динамический диапазон, показывающий количество уровней сигнала, которые фактически были зарегистрированы прибором при съемке отдельно взятого изображения.

Интервал повторения имеет отношение к космическим аппаратам. Это величина, показывающая время между двумя последовательными прохождениями КА над фиксированной точкой поверхности Земли. Другими словами, это минимальный временной интервал между получением двух снимков одной и той же терри-

тории под одинаковым углом. Для КА интервал повторения составляет от нескольких дней до нескольких недель. Стоит отметить, что из-за облачности не все снимки с КА оказываются информативными, например, интервал повторения спутника Landsat-8 составляет 16 дней, при этом для отдельно взятой местности время между двумя безоблачными снимками может составлять несколько месяцев. Интервал повторения в некоторых источниках (в том числе зарубежных) называется временным разрешением (temporal resolution). Недостаток этого термина в его неоднозначности: временным разрешением также называется количество кадров за единицу времени, которое может зарегистрировать видеозаписывающий прибор, а также частота дискретизации приборов, регистрирующих изменение какой-либо величины во времени.

3.7. Базовые сведения о фотограмметрии

Фотограмметрия – научно-техническая дисциплина, занимающаяся определением формы, размеров, положения и иных характеристик объектов по их фотоизображениям. В ДЗЗ методы фотограмметрии используются для создания карт и планов Земли по снимкам с космических и летательных аппаратов. Фотограмметрия использует все существующие виды изображений, полученные с помощью фотокамер, цифровых камер, телевизионных камер, сканерных съемочных систем, радиолокационных и лазерных съемочных систем и др. (рис. 3.5).

В простейшем случае пространственные координаты точек объекта определяются путём измерений, выполняемых по двум или более фотографиям, снятым из разных положений. При этом на каждом изображении отыскиваются общие точки. Затем луч зрения проводится от местоположения фотоаппарата до точки на объекте. Пересечение этих лучей и определяет расположение точки в пространстве.

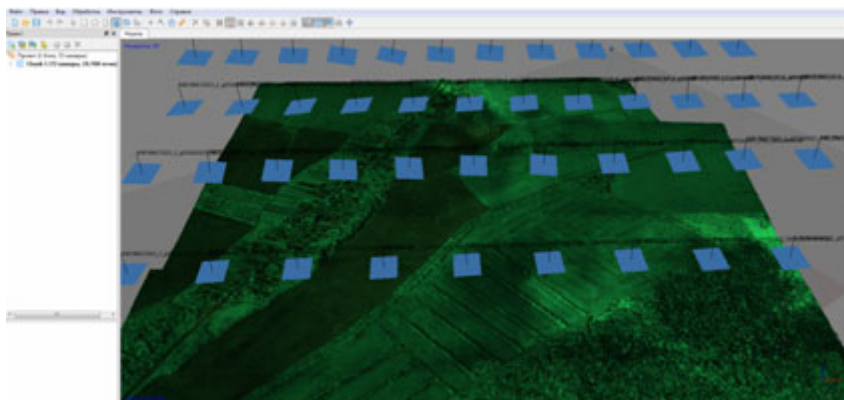


Рис. 3.5. Вид рабочего окна фотограмметрического ПО Agisoft Photoscan. Отображена восстановленная трехмерная модель местности (штрихи над прямоугольниками указывают ориентацию камеры)

Четыре основных типа данных, которые могут быть как входными, так и выходными при производстве фотограмметрических работ, включают в себя:

- *пространственные координаты* – определяют положение точек объекта в пространстве;
- *координаты на фотографии* – положения точек объекта на аналоговом или цифровом снимке;
- *элементы внешнего ориентирования* фотоаппарата – его положение в пространстве и направление съёмки;
- *элементы внутреннего ориентирования* – геометрические характеристики процесса съёмки.

К **элементам внешнего ориентирования** относятся трёхмерные координаты центра проекции, продольный и поперечный углы наклона снимка и угол поворота. К **элементам внутреннего ориентирования** относятся, в первую очередь, фокусное расстояние объектива (хотя может учитываться и характер искажений, вносимых при съёмке: например, дисторсия объектива, деформация фотоматериала и др.) и двухмерные координаты главной точки.

Дополнительные наблюдения помогают точнее определять расстояния и координаты точек объекта, а также уточнять масштабы и саму систему координат.

До появления современных цифровых методов обработки информации, получаемой из фотографий, использовались оптические стереокомпараторы. Измерение снимков на стереокомпараторе выполняется стереоскопически. Для этого левую измерительную марку совмещают с характерной точкой левого снимка, а правую – с идентичной точкой правого снимка. Целесообразно все отсчеты на точки выполнять не менее 2 раз во избежание ошибок наведения и просчетов, причем второй прием измерений следует делать после окончания первой программы наблюдений. После совмещения снимков, производятся разрезы в местах с минимальными оптическими искажениями, близкие к ортогональной проекции. Все снимки совмещаются по линии разреза и склеиваются в единую карту, на которую в дальнейшем накладывается масштабная линейка.

В современной фотограмметрии используются те же принципы совмещения снимков, только снимки в большинстве своем имеют цифровой формат, а поиск общих точек выполняется автоматически, программным способом. Используя параметры внутреннего и внешнего ориентирования, программа определяет положение всех точек на снимках в пространстве и строит трехмерную модель. Параметры внутреннего ориентирования снимков содержатся в файле с изображением. Параметры внешнего ориентирования определяются при совмещении снимков при достаточном перекрытии.

Результатами фотограмметрической обработки являются различные производные данные из реконструированной трехмерной модели: ортофотоплан, карта высот или сама трехмерная модель в требуемом формате.

Ортофотоплан – фотографический план местности на точной геодезической опоре. В современной фотограмметрии строится автоматически, путем проецирования трехмерной модели местности на поверхность, соответствующую поверхности Земли в выбранной системе координат. Информацию для геодезической привязки получают, либо фиксируя координаты центров фотографирования при съемке, либо с помощью планово-высотного обоснования, либо комбинируя эти способы.

Карта высот рассчитывается из трехмерной модели, как только у модели появляется геодезическая привязка.

При дальнейшем анализе, ортофотопланы используются для дешифрования как автоматического, так и визуального. Ортофото-

план является растровым изображением, для обработки которых разработано большое количество алгоритмов для решения различных задач. Комбинируя данные, полученные в различных спектральных диапазонах, ортофотопланы можно преобразовать в индексные карты, например, карты вегетационного индекса NDVI.

Данные, содержащиеся в карте высот, являются базовыми для определения ряда величин и построения карт их пространственного распределения. Это такие величины как уклон, экспозиция, ФАР (физиологически активная радиация). Автоматизированный анализ карты высот позволяет определять бессточные области, направление поверхностного стока, площадь водосбора. При достаточной детализации карты высот, возможно определять вершины деревьев для их подсчета. Следует отметить, что развитие БЛА в последние годы позволило получать карты высот высокой детализации с небольшими трудозатратами. В сельском хозяйстве это открывает большие возможности для рационального землепользования, в частности, вертикальной планировки склоновых земель, профилирования осушаемых и орошаемых земель, выявления потенциально затопляемых участков пашни, предотвращения водной эрозии почв.

3.8. Носители для аппаратуры дистанционного зондирования земли

В качестве источника первичных данных ДЗЗ могут использоваться приборы, установленные на следующих носителях:

- космические аппараты;
- пилотируемые летательные аппараты;
- беспилотные летательные аппараты;
- воздушные шары, дирижабли;
- мачты и прочие наземные конструкции, тело человека.

Воздушные шары и дирижабли не получили широкого распространения для ДЗЗ. Наземные измерения, хотя и могут проводиться дистанционными методами, практически не применяются для сбора пространственной информации, а используются как средства контроля других методов. Таким образом, основными источниками данных ДЗЗ для сельского хозяйства являются космические аппараты и летательные аппараты. Одно из главных отличий этих аппа-

ратов – расстояние до поверхности Земли и, как следствие, различное пространственное разрешение снимков. За счет меньших затрат на обслуживание, простоты использования и отсутствия необходимости в аэродромах, вполне вероятно, что в ближайшие годы БЛА вытеснят пилотируемые ЛА в ряде задач ДЗЗ.

В случае КА пространственное разрешение достигает 50 см лишь у самых современных коммерческих аппаратов. Среди КА, данные которых общедоступны, лучшим пространственным разрешением обладает аппаратура спутника Landsat-8: до 30 м (15 м в панхроматическом канале). Для сравнения: пространственное разрешение данных с БЛА может достигать 3-5 см при съемке с самолетов и даже менее 1 см при съемке с мультироторных БЛА.

Landsat 8 – американский спутник дистанционного зондирования Земли, восьмой в рамках программы Landsat (седьмой выведенный на орбиту). Создан совместно NASA и USGS. Выведен на орбиту 11 февраля 2013 г. Предыдущий аппарат серии, Landsat 7, выведен на орбиту в 1999 г. и продолжает работу. Landsat 8 получает изображения в видимом диапазоне, в ближнем и дальнем ИК, с разрешением от 15 до 100 м. По сравнению с предшественником радиометрическое разрешение получаемых изображений увеличено с 8 до 12 бит.

Набор инструментов Operational Land Imager (OLI) является основным на спутнике. Ширина поля зрения спутника — 185 км. OLI работает в 9 спектральных диапазонах, 7 из которых близки к тем, которые использовались в более ранних инструментах Thematic Mapper (TM) и Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) с предыдущих спутников Landsat, за счет чего обеспечивается преемственность и совместимость с ранее накопленным массивом данных Landsat. Добавлено два новых диапазона, канал 1 (темно-синий и фиолетовый) для изучения прибрежных вод и аэрозолей и канал 9 (ближний ИК) для упрощения поиска облаков на снимках.

Инструмент Thermal InfraRed Sensor (TIRS) предназначен для получения изображений в дальнем ИК. Имеет полосу обзора 185 км. Получение изображений происходит в двух каналах, 10 и 11, которые совместно работают в том же диапазоне, что и канал TIR на более ранних спутниках программы Landsat.

Таблица 3.5

Характеристики оборудования OLI и TIRS спутника Landsat 8

Спектральный канал	Длины волн	Пиксельное разрешение
Канал 1 — Побережья и аэрозоли (Coastal / Aerosol, New Deep Blue)	0,433-0,453 мкм	30 м
Канал 2 — Синий (Blue)	0,450-0,515 мкм	30 м
Канал 3 — Зелёный (Green)	0,525-0,600 мкм	30 м
Канал 4 — Красный (Red)	0,630-0,680 мкм	30 м
Канал 5 — Ближний ИК (Near Infrared, NIR)	0,845-0,885 мкм	30 м
Канал 6 — Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	1,560-1,660 мкм	30 м
Канал 7 — Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 3)	2,100-2,300 мкм	30 м
Канал 8 — Панхроматический (Panchromatic, PAN)	0,500-0,680 мкм	15 м
Канал 9 — Перистые облака (Cirrus, SWIR)	1,360-1,390 мкм	30 м
Канал 10 — Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR1)	10,30-11,30 мкм	100 м
Канал 11 — Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR2)	11,50-12,50 мкм	100 м

Практически невозможно получить спутниковый снимок в оптическом диапазоне спектра на обширный участок местности без того, чтобы какая-то часть изображения не была покрыта облаками. Кроме того, существуют районы с высокой облачностью, например, горные вершины, покрытые облаками большую часть года. Выходом является составление нужного мозаичного снимка из фрагментов других снимков, сделанных в разное время, на которых тот или иной участок местности не покрыт облачностью, или же съёмка в другом диапазоне спектра, для которого облака прозрачны. Беспилотные летательные аппараты лишены этого недостатка

за счет того, что высота их полета практически всегда может быть ниже высоты облаков.

В качестве аппаратуры для ДЗЗ на БЛА наиболее часто используют цифровые фотокамеры, которые производят съемку в видимом диапазоне. С некоторых камер возможно физически удалить светофильтр, блокирующий ближний ИК, и производить съемку в этом диапазоне. Кроме того, существуют компактные мультиспектральные камеры, установка которых на БЛА возможна, хотя они существенно дороже обычных цифровых камер. Разработаны гиперспектральные камеры для БПЛА, также достаточно дорогие.

За счет высокого пространственного разрешения данные с БЛА могут быть использованы для наблюдения за полями небольшой площади. Например, при ширине поля 150 м, изображение его на спутниковом снимке (Landsat 8) будет иметь ширину всего 5 пикселей. Кроме того, пиксели на краях полей будут давать усредненное значение соседними объектами – дорогами, лесополосами, каналами и др.

Важное преимущество БЛА – возможность восстанавливать трехмерные модели по материалам съемки. Фактически съемка с БЛА в настоящее время является самым доступным способом построения трехмерных моделей и карт высот.

В заключение стоит перечислить задачи ДЗЗ, в которых единственным возможным носителем остается пилотируемая авиация. Это исследования, требующие применения аппаратуры больших размеров или массы: магнитометрические измерения; гравиметрические измерения; гамма-спектроскопия; лазерное воздушное сканирование; активное зондирование в СВЧ-диапазоне.

Контрольные вопросы и задания

1. Что подразумевается под понятием «дистанционное зондирование земли (ДЗЗ)»? 2. Какое оборудование необходимо для осуществления ДЗЗ? 3. Какие спектры излучения используются для ДЗЗ? 4. Каково взаимодействие излучения с атмосферой при ДЗЗ? 5. Каково взаимодействие излучения с объектом исследования при ДЗЗ? 6. Назовите характеристики цифровых изображений. 7. Приведите базовые сведения о фотограмметрии. 8. Какие Вы знаете носители для аппаратуры ДЗЗ? 9. В чем заключаются основные недостатки систем ДЗЗ?

4. БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

4.1. Общие сведения

С того самого момента, как человек поднялся в воздух, решаются задачи мониторинга земли с воздуха. Первую аэрофотосъемку произвел французский фотограф Гаспар-Феликс Турнашон в 1858 г. в небе над Парижем с воздушного шара. А первую в мире аэрофотографию с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) получил французский фотограф Артур Батут в 1887 г. с использованием воздушного змея. И только в 1935 г. аэрофотосъемка с пилотируемого самолета была применена в штате Нью-Мексико для мониторинга почвенной эрозии по заказу правительства США.

Эксплуатация пилотируемых аппаратов связана с большими затратами на обслуживание и заправку, что приводит к повышению стоимости конечной продукции и оправдана только при необходимости оперативного мониторинга обширных территорий.

В начале 2000 годов началось активное развитие беспилотной авиации для гражданского применения. В состав ведущей международной ассоциации беспилотных систем UVS International (www.uvs-international.org) в настоящее время входит 135 производителей беспилотных летательных аппаратов из 52 стран мира.

Гражданская область применения БПЛА обширна: от сельского хозяйства и строительства до нефтегазового сектора и сектора безопасности. БПЛА гражданского назначения могут использоваться в работе служб по чрезвычайным ситуациям (контроль пожарной безопасности); полиции (патрулирование зон); предприятий сельского хозяйства (наблюдение за посевами), лесничества и рыболовства (лесоохрана и контроль рыбного промысла); компаний, занимающихся геодезией (картографирование); институтов географии и геологии; компаний нефтегазового сектора (мониторинг нефтегазовых объектов); строительных предприятий (инспектирование строек); средств массовой информации (аэрофото- и видеосъемка) и др.

Согласно находящимся в открытом доступе документам организаций Европейского союза, распределение потребительского спроса на гражданские БПЛА в период с 2015 по 2020 г. выглядит следующим образом:

- 45% – правительственные структуры;
- 25% – пожарные;
- 13% – сельское и лесное хозяйство;
- 10% – энергетика;
- 6% – обзор земной поверхности;
- 1% – связь и вещание.

В мире представлено большое количество гражданских БПЛА классификации «микро» до 5 кг и «мини» до 30 кг, различающихся по спецификациям и набору характеристик (назначение, масса, размер, продолжительность и высота полёта, система запуска и приземления, наличие систем автопилотирования и навигации, формат фото- и видеосъёмки и др.).

4.2. Классификация беспилотных летательных аппаратов

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА или БЛА) – в общем случае это летательный аппарат без экипажа на борту.

Понятие летательный аппарат включает в себя большое число типов, у каждого из которых есть свой беспилотный аналог. В прессе, когда речь идет о резком всплеске интереса к беспилотникам, и в данном материале под определение БПЛА попадает более узкое понятие. А именно: летательный аппарат без экипажа на борту, использующий аэродинамический принцип создания подъемной силы с помощью фиксированного или вращающегося крыла (БПЛА самолетного и вертолетного типа), оснащенный двигателем и имеющий полезную нагрузку и продолжительность полета, достаточные для выполнения специальных задач.

4.3. Управление беспилотными летательными аппаратами

Для еще более точного определения тех БПЛА, которые будут рассматриваться далее, необходимо подробнее остановиться на такой важной характеристике, как способ управления БПЛА.

Существуют следующие способы.

Ручное управление оператором (или дистанционное пилотирование) с дистанционного пульта управления в пределах оптической наблюдаемости или по видовой информации, поступающей с видеокамеры переднего обзора. При таком управлении оператор пре-

жде всего решает задачу пилотирования: поддержание нужного курса, высоты и т.д.

Автоматическое управление обеспечивает возможность полностью автономного полета БЛА по заданной траектории на заданной высоте с заданной скоростью и со стабилизацией углов ориентации. Осуществляется с помощью бортовых программных устройств.

Полуавтоматическое управление (или дистанционное управление) – полет осуществляется автоматически без вмешательства человека с помощью автопилота по первоначально заданным параметрам, но при этом оператор может вносить изменения в маршрут в интерактивном режиме. Таким образом, оператор имеет возможность влиять на результат функционирования, не отвлекаясь на задачи пилотирования.

Ручное управление может быть одним из режимов для БПЛА, а может быть единственным способом управления. БПЛА, лишенные каких-либо средств автоматического управления полётом – радиоуправляемые авиамodelи – не могут рассматриваться в качестве платформы для выполнения серьезных целевых задач.

Последние два способа в настоящее время являются наиболее востребованными со стороны эксплуатантов беспилотных систем, так как предъявляют наименьшие требования к подготовке персонала и обеспечивают безопасную и эффективную эксплуатацию систем беспилотных летательных аппаратов. Полностью автоматическое управление может быть оптимальным решением для задач аэрофотосъемки заданного участка, когда нужно снимать на большом удалении от места базирования вне контакта с наземной станцией.

В то же время, поскольку за полет отвечает лицо, осуществляющее запуск, то возможность влияния на полет с наземной станции может помочь избежать внештатных ситуаций.

4.4. Беспилотная авиационная система

В Федеральном законе от 30 декабря 2015 г. № 462-ФЗ «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов» вводится термин «*Беспилотная авиационная система*» – комплекс, вклю-

чающий в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов, технические средства и оборудование, используемые для управления полетом такого воздушного судна или таких воздушных судов.

БАС, помимо БПЛА, состоит из бортового комплекса управления, полезной нагрузки и наземной станции управления.

1. Бортовой комплекс включает в себя:

- интегрированную навигационную систему;
- приемник спутниковой навигационной системы;
- автопилот, в задачи которого входят:
 - пилотирование: автоматический полет по заданному маршруту, автоматический взлет и заход на посадку, поддержание заданной высоты и скорости полета, стабилизация углов ориентации;
 - принудительная посадка в случае отказа двигателя или прочих серьезных неполадок;
 - программное управление бортовыми системами и полезной нагрузкой, например, стабилизация видеокамеры и синхронизация по времени и координатам срабатывания затвора фотоаппарата, выпуск парашюта;
- накопитель полетной информации.

2. К полезной нагрузке для задач аэрофотосъемки относятся цифровая фотокамера, как дополнение могут использоваться видеокамера, тепловизор, ИК-камера, мультиспектральная камера.

Функции наземного пункта управления: слежение за полетом, прием данных, передача команд управления.

4.5. Предпосылки к применению беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки

Предпосылками к применению БПЛА в качестве нового фотограмметрического инструмента являются недостатки двух традиционных способов получения данных ДЗЗ с помощью космических спутников (космическая съемка) и воздушных пилотируемых аппаратов (аэрофотосъемка).

Данные спутниковой съемки позволяют получить снимки с максимальным общедоступным разрешением 0,5 м, что недостаточно для крупномасштабного картирования. Кроме того, не всегда удастся подобрать безоблачные снимки из архива. В случае съемки

под заказ теряется оперативность получения данных. В отношении компактных участков операторы и дистрибьюторы зачастую не проявляют гибкой ценовой политики.

Традиционная аэрофотосъемка, которая проводится с помощью самолетов (Ту-134, Ан-2, Ан-30, Ил-18, Cessna, L-410) или вертолетов (Ми-8Т, Ка-26, AS-350) требует высоких экономических затрат на обслуживание и заправку, что приводит к повышению стоимости конечной продукции.

Применение стандартных авиационных комплексов нерентабельно в следующих случаях:

- при съемке небольших объектов и малых по площади территорий. В этом случае экономические и временные затраты на организацию работ, приходящиеся на единицу отснятой площади, существенно превосходят аналогичные показатели при съемке больших площадей (тем более для объектов, значительно удаленных от аэродрома);

- при необходимости проведения регулярной съемки в целях мониторинга протяженных объектов: трубопроводы, ЛЭП, транспортные магистрали.

Таким образом, преимуществами применения БПЛА являются:

- рентабельность;

- возможность съемки с небольших высот и вблизи объектов.

Получение снимков высокого разрешения;

- оперативность получения снимков;

- возможность применения в зонах чрезвычайных ситуаций без риска для жизни и здоровья пилотов.

Следует отметить, что технология аэрофотосъемки с БПЛА в значительной степени отработана. В настоящее время большая часть существующих и эксплуатируемых БПЛА предназначена для воздушной разведки и наблюдения, которые осуществляются с помощью фото- и видеосъемки.

4.6. Обзор моделей беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки

Исходя из вышеприведенного, можно сформулировать признаки для определения аэрофотосъемочных БПЛА:

- тип конструкции: БПЛА самолетного или вертолетного типа;
- способ управления: автоматический или полуавтоматический;
- полезная нагрузка: откалиброванная цифровая автоматическая фотокамера (возможно в качестве дополнения видеокамера, тепловизор и ИК-камера);
- БПЛА для аэрофотосъемки в целях картографирования должен иметь на своем борту полноценный автопилот, способный выдерживать параметры съемки (маршрут, углы наклона фотоаппарата, процент продольного и поперечного перекрытия, высоту и т.д.) даже при малой массе аппарата в широком диапазоне метеоусловий;
- коммерческая доступность – БПЛА, выдержавшие экспериментальные полеты и поступившие в серийное производство.

Рассмотрим разработанные специально для аэрофотосъемки БПЛА отечественного производства: «ZALA 421-Ф», «Птеро-Е4» и «Дозор-50». Эти модели удовлетворяют перечисленным признакам и активно применяются на практике. Российские эксплуатанты БПЛА предпочитают закупать отечественные модели, поскольку данная техника требует высокого уровня технической поддержки (тестирование перед покупкой, обучение работе с БПЛА персонала) и оперативного сервиса (ремонт, запасные части). Кроме того, ввоз импортных БПЛА сопряжен с прохождением таможен и получением разрешений.

4.6.1. Беспилотная авиационная система «Птеро-G0»

Разработана и серийно производится компанией «АФМ-Серверс». Основой системы является беспилотный летательный аппарат (БЛА) «Птеро-G0», выступающий в качестве носителя полезных грузов (рис. 4.1).

Предназначена для выполнения аэросъемочных работ. Использование специализированного программного обеспечения для планирования аэросъемочных маршрутов и профессионального аэросъемочного оборудования позволяет качественно выполнять все виды аэрофотосъемочных работ, в том числе плановую топографическую аэрофотосъемку местности.



Рис. 4.1. Беспилотная авиационная система (БАС) «Птеро-G0»

Техническая характеристика

Силовая установка	Четырехтактный Saito FG-40 (бензиновый)
Топливо	Смесь двухтактного масла с бензином Аи-95 (1:30)
Автопилот	PteRoBot
Минимальная безопасная высота полета, м	80
Практический потолок, м	3000
Максимальная высота старта над уровнем моря (с высотным винтом), м	2000
Крейсерская скорость, км/ч	85-125
Скорость срыва в горизонтальном полете при массе 20 кг, км/ч	50
Время полета с полезной нагрузкой 2 кг, ч	До 8
Максимальная прямая техническая дальность полета, км	До 800
Взлетная масса БЛА с полной нагрузкой, кг	20
Масса полезной нагрузки, кг	До 5

Радиус действия ближнего канала связи при высоте полета 500 м над рельефом (в прямой видимости), км	До 15
Радиус действия дальнего канала связи при высоте полета 500 м над рельефом (в прямой видимости), км	До 75
Область действия канала связи GSM при высоте полета 500 м над рельефом	В зоне покрытия GSM
Область действия спутникового канала связи	Без ограничений
Предельная ветровая нагрузка в полете, м/с	15
Максимальная скорость, м/с:	
встречного ветра при старте	8
ветра при парашютной посадке	4
Взлет	С пневматической катапульты
Посадка	На парашюте с амортизирующей подушкой
Размеры площадки для взлета и посадки, м	200x100
Влажность, %	До 98
Диапазон температур	-30...+40°C
Метеорологические условия эксплуатации	ПМУ

4.6.2. Беспилотный самолет «ZALA 421-16E»

Беспилотный самолет большой дальности производства «ZALA AERO GROUP» с системой автоматического управления (автопилот), навигационной системой с инерциальной коррекцией (GPS/ГЛОНАСС), встроенной цифровой системой телеметрии, навигационными огнями, встроенным трехосевым магнитометром, модулем удержания и активного сопровождения цели (Модуль АС), цифровым встроенным фотоаппаратом, цифровым широкополосным видеопередатчиком С-OFDM-модуляции, радиомодемом с приемником СНС <Диагональ ВОЗДУХ> с возможностью работы без сигнала СНС (радиодальномер), системой самодиагностики, датчиками влажности, температуры, тока, температуры двигательной установки, отцепом парашюта, воздушным амортизатором для

защиты целевой нагрузки при посадке и поисковым передатчиком (рис.4.2).



Рис.4.2. Беспилотный самолет «ZALA 421-16E»

Техническая характеристика

Радиус действия видео/радиоканала, км	50 (70*) / 50 (70*)
Продолжительность полета, ч	Более 4
Размах крыла БЛА, мм	2815
Длина БЛА (без ЦН), мм	1020
Максимальная высота полета, м	3600
Взлет	Пневматическая или механическая катапульта
Посадка	Парашют /в сеть
Тип двигателя	Электрический толкающий
Скорость, км/ч	65-110
Максимальная взлетная масса, кг	8-10,5
Масса целевой нагрузки, кг	До 1,5
Навигация	ИНС с коррекцией GPS/ГЛОНАСС, радиодальномер
Целевые нагрузки	Тип «16E+»
Дополнительные ЦН	Встроенный фотоаппарат 16 Мп
Планер	Две съемные консоли и фюзеляж
АКБ	21000 мА·ч 7S или 10000 мА·ч 10S
Максимальная допустимая скорость ветра, м/с	15
Диапазон рабочих температур	-30...+40°C
Встроенный модуль автоматического сопровождения цели	Есть

4.6.3. Беспилотный летательный комплекс «Геоскан 201 Агро»

Комплекс на базе «Геоскан 201 PRO» производства группы компаний «Геоскан», специально разработан для решения целого спектра задач сельского хозяйства (рис. 4.3). В комплекте с мультиспектральной камерой и ГИС Спутник Агро дает возможность проводить обследование и инвентаризацию земель, сопровождать мелиоративное строительство, оперативно создавать карты NDVI, планировать внесение удобрений и контролировать проведение агротехнических мероприятий.



Рис.4.3. Беспилотный летательный комплекс «Геоскан 201 Агро»

Техническая характеристика

Продолжительность полета, мин	До 180
Максимальная протяженность маршрута, км	210
Площадь съемки за один полет, км ²	7-22
Допустимая скорость ветра, м/с:	
рекомендуемая	До 10
максимальная	12
Скорость полета, км/ч	64-130
Максимальная масса, кг:	
взлетная	8
полезной нагрузки	1,5
Размах крыльев, см	230
Двигатель	Электрический
Минимальная безопасная высота полета, м	100
Максимальная высота полёта, м	4000

Время подготовки к взлёту, мин	10
Температура эксплуатации	От -20 до +40°С (дополнительная опция от -40 до +40°С)
Взлет/ посадка	С катапульты / на парашюте, в автоматическом режиме

4.6.4. Беспилотный летательный комплекс «Геоскан 401 Про»

Система с вертикальным взлетом и посадкой. Обладает высокой маневренностью, способностью вести съемку на самых малых высотах и зависать в точке. Законченное решение для аэрофотосъемки, включающее ПО для фотограмметрической обработки Photoscan Pro, техподдержку на один год в объеме 50 ч и расширенную гарантию в 70 полетов на БПЛА (рис.4.4).



Рис.4.4. Беспилотный летательный комплекс «Геоскан 401 Про»

Техническая характеристика

Продолжительность полета, мин	До 60
Максимальная протяженность маршрута, км	15
Площадь съемки за один полет, км ²	До 0,5
Максимальная допустимая скорость ветра, м/с	До 10
Скорость полета, км/ч	0-50
Максимальная масса, кг:	
взлетная	9,5
полезной нагрузки	2
Размеры, см:	
в сложенном виде	71x20x19

в полетном виде	156x156x56
Двигатели	Электрические
Минимальная безопасная высота полета, м	10
Максимальная высота полёта, м	500
Время подготовки к взлёту	5
Температура эксплуатации	От -20 до +40°C (дополнительная опция от -40 до +40°C)
Взлет/ посадка	Вертикально, в автоматическом режиме, площадка 5x5 м

4.7. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве

Применение аэрофотосъемки с БПЛА в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах позволяет решать широкий спектр следующих задач для сельского хозяйства:

- уточнение контуров полей и посевных площадей;
- выделение локальных участков угнетенной растительности на сельскохозяйственном поле под влиянием различных неблагоприятных факторов;
- определение участков полей, подверженных водной эрозии;
- выявление агротехнических погрешностей;
- уточнение карт микрорельефа сельскохозяйственных угодий;
- техническое сопровождение процесса реализации технологических решений в технологии точного земледелия;
- мониторинг состояния осушительных мелиоративных систем.

Уточнение границ сельскохозяйственных земель позволяет более точно рассчитывать затраты на выполнение агротехнических операций и расходы на агрохимикаты.

Выделение ареалов угнетенной растительности по аэрофотоснимкам позволяет увидеть очаги угнетенности, которые с земли определить не представляется возможным. Однако по данным аэрофотосъемки не представляется возможным точно определить причину угнетенности посевов, поэтому после выделения ареала угнетенности, необходимо производить наземные исследования с целью выяснения причин. Раннее определение очагов угнетенности позволяет произвести корректировку агротехнологий с целью со-

хранения урожая, либо адресную обработку посевов с целью экономии агрохимикатов.

Проведение аэрофотосъемки в ранневесенний период, после схода снега, позволяет определить эрозионные участки поля и откорректировать агротехнологию для предотвращения деградации почвенного слоя (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Эрозионные участки поля

Своевременно проведенный контроль выполнения агротехнических операций с помощью аэрофотосъемки позволяет избежать потери потенциально возможной урожайности. На рис. 4.6 приведен фрагмент аэрофотоснимка производственного посева зерновых. Потери урожая от неравномерности внесения агрохимикатов достигают 25%. Вовремя полученная информация и принятое на её основе оперативное решение позволило избежать потерь урожая и использовать весь потенциал поля и возделываемой культуры.

На основе аэрофотосъемки в программном обеспечении Agisoft Photoscan есть возможность построить высокоточную цифровую модель рельефа, на основе которой возможно смоделировать движение водных потоков по поверхности поля (рис. 4.7). Данная информация позволяет оценить объемы возможного выноса питательных веществ с поверхности при различных погодных условиях и рассчитать объем работ по профилированию поля.



Рис. 4.6. Неравномерное внесение азотной подкормки

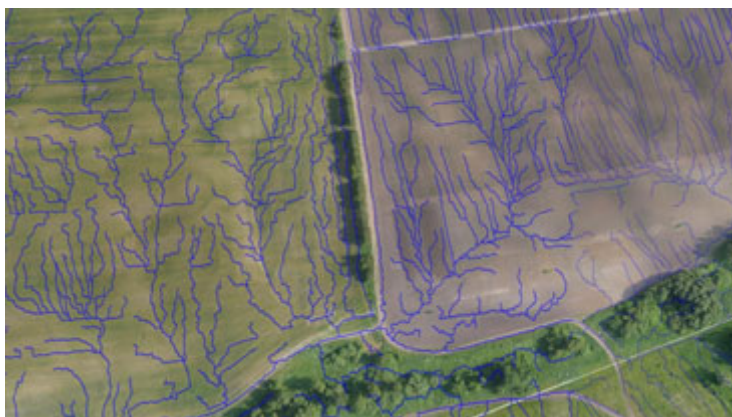


Рис. 4.7. Моделирование движения водных потоков

Особенно большое значение беспилотная аэрофотосъемка приобретает при возделывании культур в системе координатного (точного) земледелия. Так, при проведении технологической операции «Подкормка», съемка мультиспектральной камерой позволяет оценить потребность зерновых культур в азотных удобрениях и, используя дифференцированную сельскохозяйственную технику,

произвести адресное внесение удобрений, тем самым дав каждому растению столько азота, сколько ему необходимо. Учеными Агрофизического института предложен подход, при котором на этапе внесения основного удобрения закладываются тестовые площадки с различными известными дозами азотного питания (рис. 4.8). При проведении калибровки аэрофотоснимков эти площадки используются в алгоритмах выделения однородных зон как эталонные, что позволяет отказаться от проведения дополнительных агрохимических анализов и экономит время на выработку управленческих решений.

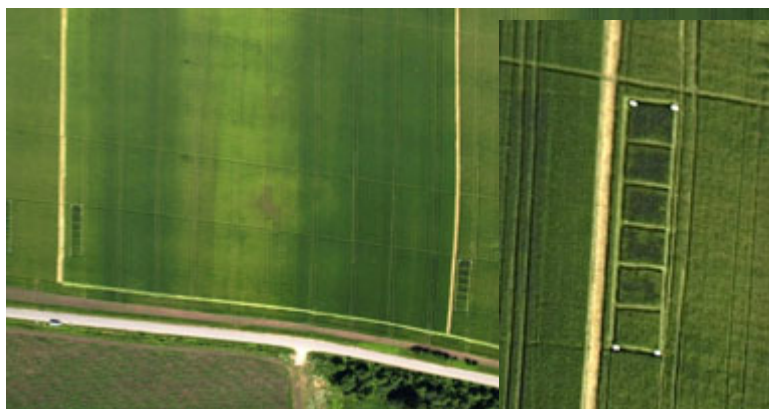


Рис. 4.8. Тестовые площадки с различными известными дозами азотного удобрения

Проведение дифференцированной подкормки на производственных посевах позволяет экономить до 30% минеральных удобрений, повысить урожайность культур (до 16%) и качество зерна. Аэрофотосъемка территорий хозяйств позволяет определить состояние мелиорируемых земель и мелиоративных систем.

На рис. 4.9 показан фрагмент мелиоративной системы, которая подверглась капитальному ремонту за год до проведения съемки. На самом поле мелиоративная система в отличном состоянии, но не происходит водоотведение в нужном объеме, что ведет к застою воды в канале. Причиной этого является не работающий должным образом водоприемник. При обильных осадках потери урожайности на данном поле могут достигнуть 50%, а вовремя принятые меры позволят избежать этого.



Рис. 4.9. Фрагмент неработающего водоприемника, в котором наблюдается застой воды

В заключение следует отметить, что использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве позволяет решать широкий круг задач и повысить эффективность выращивания сельхозпродукции. Оценка мелиоративного и фитосанитарного состояния посевов по данным аэрофотосъемки является очень перспективным направлением при разработке новых технологических приемов ведения сельскохозяйственного производства в координатном земледелии.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию беспилотных летательных аппаратов.
2. Как осуществляется управление беспилотными летательными аппаратами?
3. Что представляет собой беспилотная авиационная система?
4. Какие существуют предпосылки применения беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки?
5. Назовите несколько моделей беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки.
6. Какова принципиальная конструкция БПЛА?
7. Расскажите о применении беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве.
8. Каковы основные преимущества применения БПЛА в координатном земледелии?
9. Назовите некоторые основные технические характеристики БПЛА.
10. Какие существуют недостатки применения БПЛА в сельском хозяйстве?

5. СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЖДЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

5.1. Системы параллельного вождения

При внедрении в сельскохозяйственное производство технологий координатного (точного) земледелия наиболее востребованным направлением стало использование систем параллельного и автоматического вождения.

По сравнению с обычным управлением машинно-тракторным агрегатом использование этих систем при выполнении технологических операций позволяет исключить повторные обработки соседних проходов (перекрытий) и пропуски необработанных участков, повысить производительность и комфортность работы, снизить утомляемость водителя, сократить расход топлива и технологических материалов. При этом обеспечиваются различные режимы вождения по прямым и криволинейным траекториям.

Система параллельного вождения – это активное участие механизатора в управлении машиной по схеме «измерение текущих координат сельхозмашины – отображение отклонений от заданного маршрута на табло в кабине – вращение механизатором рулевого колеса для удержания агрегата на заданном маршруте» (рис. 5.1).

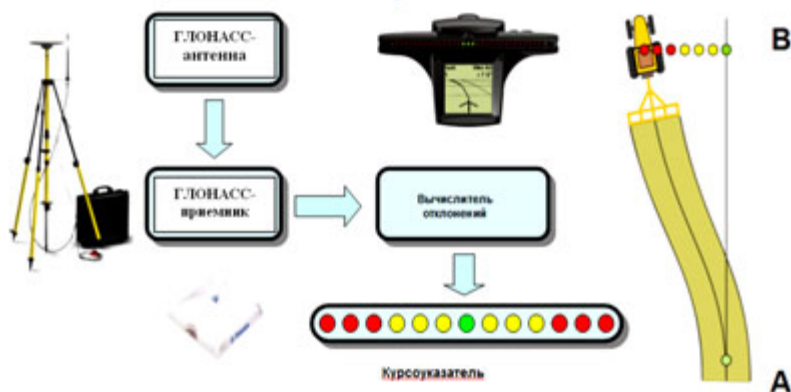


Рис. 5.1. Принцип функционирования курсоуказателя

Система параллельного вождения является самой наглядной и быстро окупаемой частью технологии координатного земледелия, предназначена для проведения полевых работ и наиболее эффективна при применении с широкозахватной техникой, а также в ночное время.

В сельском хозяйстве получили широкое распространение и доказали свою эффективность два типа оборудования для управления движением тракторов и комбайнов, использующих ГНСС-приемники: системы параллельного вождения и подруливающие устройства для автопилотирования.

Использование космических навигационных систем становится возможным после установки на транспортное средство специального приемника, постоянно получающего сигналы о местоположении навигационных спутников и расстояниях до них. В зависимости от требуемой точности управление такой техникой осуществляется механизатором вручную по показаниям метки на экране дисплея (курсоуказателя) либо с использованием подруливающего устройства или автопилотирования.

Курсоуказатель – комплект оборудования для автоматизированного управления машиной по схеме «измерение текущих координат сельхозмашины – отображение отклонений от заданного маршрута на табло в кабине – вращение механизатором рулевого колеса для удержания агрегата на заданном маршруте».

Психомоторная реакция среднестатистического тракториста не позволяет осуществлять параллельное вождение с отклонениями менее ± 30 см, что также соответствует точности ГНСС-приемника, опирающегося только на обычные 24 спутника. В общем случае самая простая система параллельного вождения состоит из ГНСС-приемника с внешней антенной и указателя курса. Системы легко и быстро устанавливаются на трактор или комбайн. Требуется только подключение к электропитанию и установка внешнего блока (приемник ГНСС). Время обучения механизаторов работе с данным видом оборудования (в зависимости от желаемой «глубины» изучения) – от нескольких минут до суток. Поэтому использование приборов параллельного вождения с точностью ведения агрегата ± 30 см очень ограничено, в основном на внесении удобрений.

Основное преимущество использования систем параллельного вождения – уменьшение количества ошибок (сведение к минимуму

человеческого фактора) при обработке полей. Практика показывает, что при опрыскивании культур традиционным способом большинство операторов предпочитают проходить соседние ряды с перекрытием, чтобы избежать пропусков. В результате взаимное перекрытие рядов, даже с использованием пенных маркеров, составляет не менее 5%. Применение указателей курса с подруливающими устройствами уменьшает перекрытие до 2-3% и менее.

Минимальный набор для параллельного вождения с точностью ± 30 см показан на рис. 5.2. Основные его компоненты – светодиодная панель, антенна, установочная площадка антенны, крепежная стойка, набор соединительных кабелей, программное обеспечение и инструкция по использованию.



Рис. 5.2. Стандартные компоненты для параллельного вождения

Системы параллельного вождения распространены в основном в Австралии и США. Использование навигационных систем, позволяет фермерам каждый год практически безошибочно находить технологическую колею. Популярна система параллельного вождения и у фермеров Западной Европы, где конфигурация полей в большинстве случаев очень сложна (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Конфигурация полей, обработанная с помощью навигационных систем параллельного вождения (рисунок с сайта <http://www.geomir.ru>)

Целесообразность и эффективность применения систем параллельного вождения оценивалась в процессе полевых испытаний, проведенных в 2003 г. Техническим университетом города Хохенхайм (ФРГ) на ряде немецких агропредприятий. В результате было установлено, что при средней стоимости комплекта навигационного оборудования для параллельного вождения около 8-10 тыс. евро система, которая применялась, например, при опрыскивании полей общей площадью 1000 га, окупилась практически за один сезон использования.

Данное оборудование востребовано в связи с тем, что оно обеспечивает экономию средств. Например, в Европе экономический эффект от применения ГНСС-оборудования в сельском хозяйстве достигает 50-60 евро на гектар.

Для проведения почвообработки, посева, междурядной обработки и защиты растений, уборки и ряда других операций требуется более высокая точность ведения агрегата. Для этих целей применяются автоматические системы управления сельскохозяйственной техникой (автопилот).

Достаточно часто в публикациях применяют термин «ровер», который согласно стандарту (ГОСТ Р 56084-2014. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-

информационного обеспечения координатного земледелия. Термины и определения) является техническим сленгом и в научной литературе не рекомендуется к применению.

5.2. Системы автоматического вождения

Автопилот – автоматизированная система, производящая управление рулевым колесом трактора или самоходной сельскохозяйственной машины при его движении по заданной траектории, в том числе с использованием ГНСС. Различают автопилоты с гидравлическим исполнительным механизмом и с электрическим исполнительным механизмом.

Автопилотирование отличается от параллельного вождения тем, что отклонения от заданной траектории, вырабатываемые ГНСС-приемником и навигационным контроллером, через специальные устройства (управляющий клапан) (рис. 5.4) вводятся непосредственно в гидравлическую систему управления ходовой частью трактора, исключая инертность и люфт рулевого управления.

В дополнение на трактор устанавливается специальный датчик угла поворота колес (рис. 5.5). Такая система обеспечивает максимальную точность (отклонение ± 2 см) движения по маршруту без вмешательства механизатора.

В полный комплект оборудования для систем автоматического вождения входят:

- навигационный приёмник с точностью позиционирования – до 10 см, способный работать на двух частотах (рис. 5.6);
- дисплей (рис. 5.7) или светодиодная панель (рис. 5.8);
- контроллер для расчета отклонений на неровностях антенны приемника и корректировки направления движения (рис. 5.9);
- подруливающее устройство (рис. 5.10).

Есть несколько распространенных способов корректировки спутниковых навигационных сигналов для достижения высокой точности. Поправки могут быть получены как от геостационарных спутников, что повысит точность до ± 10 см, так и от контрольно-корректирующей станции дифференциальной подсистемы ГНСС (РТК-станция), часто называемой спутниковой «базовой станцией» (рис. 5.11).



Рис. 5.4. Управляющий клапан

Гидравлический клапан получает электрические сигналы от контроллера и преобразует их в гидравлические, которые система использует для удержания транспортного средства на заданном курсе.



Рис. 5.5. Датчик угла поворота колес

Датчик угла поворота колес предназначен для непрерывной обратной связи с системой управления трактором.



Рис. 5.6. ГНСС-приемник AgGPS 252

ГНСС-приемник поддерживает различные варианты для поправок GPS, в том числе WAAD, OmniSTAR. Использование этих поправок позволяет обеспечить точность проходов до ± 10 см.



Рис. 5.7. Полевой компьютер Insight с программным обеспечением

Полевой компьютер с программным обеспечением — система управления полевыми данными, использующимися для навигации, автоматического вождения, ведения записей, полевой съемки, площадной съемки, приложений с изменяемыми показателями.



Рис. 5.8. Светодиодная панель AgGPS EZ-GUIDE PLUS или EZ-GUIDE 500

Панель в графическом виде показывает текущее положение транспортного средства и обеспечивает водителя дополнительной информацией при разворотах или вождении по изогнутым рядам. Имеет графический дисплей с возможностью считывания данных при ярком солнечном свете.



Рис. 5.9. Контроллер AgGPS NAVCONTROLLER II

Контроллер, используя данные от ГНСС-приемника и внутренних датчиков, находящихся в состоянии покоя и работающих по шести осям, передает команды для системы управления.



Подруливающее устройство обеспечивает параллельное вождение с точностью до 10 см.

Рис. 5.10. Подруливающее устройство



Контрольно-корректирующая станция дифференциальной подсистемы ГНСС передает поправки ГНСС-положения на ГНСС-приемник трактора через радио или GSM-модем для определения координат с высокой точностью (погрешность менее ± 2 см).

Рис. 5.11. Контрольно-корректирующая станция (станция RTK)

Контрольно-корректирующая станция дифференциальной подсистемы ГНСС (технический сленг – «базовая станция») – комплекс радиоэлектронных и технических средств, расположенный в точке с известными координатами, предназначенный для приема и обработки навигационных сигналов ГНСС, вычисления поправок к пространственным координатам точки и передачи их по каналам связи потребителю ГНСС для повышения точности определения его пространственных координат при нахождении потребителя в радиусе действия дифференциальных поправок.

Возможные варианты расположения оборудования на тракторе для параллельного вождения и автопилотирования показаны на рис. 5.12.

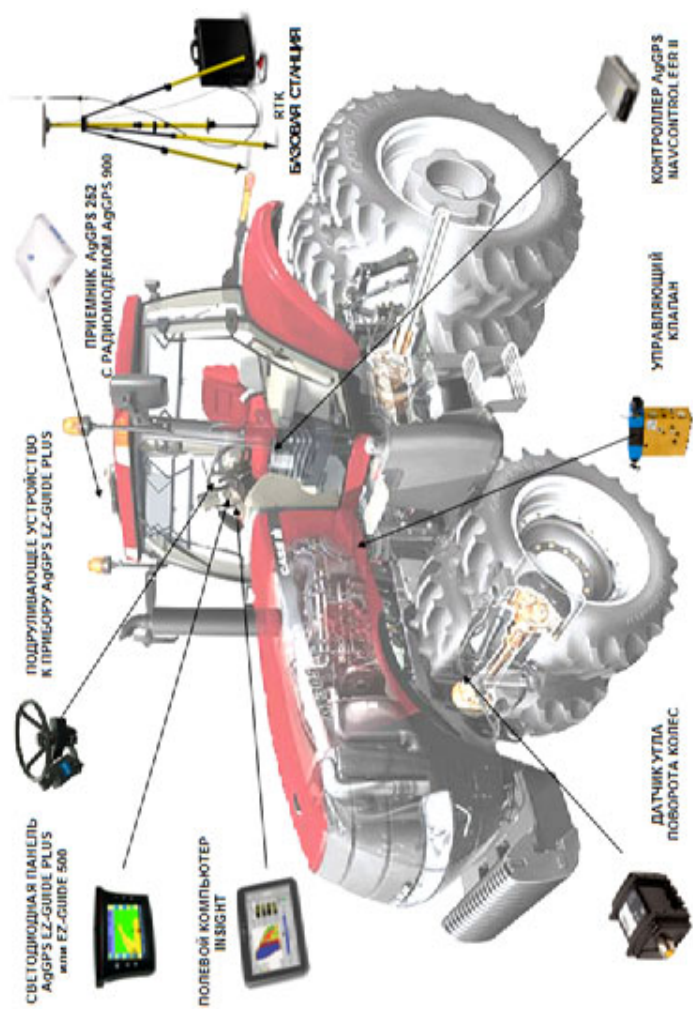


Рис. 5.12. Расположение оборудования для параллельного и автоматического вождения на тракторе (рисунок с сайта <http://www.trimble.com/agriculture/autopilot.aspx>)

Обычная спутниковая навигация, широко применяемая на автомобильном транспорте, может дать максимальную точность только около 2 м, что недопустимо для технологий координатного земледелия. Применительно к системам навигации имеются понятия абсолютной и относительной точности.

Абсолютная точность – это фактические координаты, при помощи которых определяется местонахождение объекта, например, строения, автомобиля, трактора или комбайна.

Для систем координатного земледелия можно ограничиться относительной точностью, т.е. текущим местоположением какого-либо объекта, например, относительно первого прохода, на данный момент времени. В зависимости от используемого оборудования относительная точность должна достигать значений порядка 2,5-30 см.

В настоящее время в мире действуют несколько сервисов поправок, но в Российской Федерации работает только один — Omnistar HP/XP. Сервис работает следующим образом: компания «Omnistar» имеет собственную сеть базовых станций, расположенных по всему миру. Они в автоматическом режиме вычисляют необходимую коррекцию сигнала, а затем через геостационарные спутники передают поправку на конкретный ГНСС-приемник.

Дополнительно к дифференциальным поправкам широко применяется режим RTK-станции, при котором на территории хозяйства размещается своя стационарная или переносная контрольно-корректирующая станция дифференциальной подсистемы ГНСС, и поправки на приемники высылаются с неё радиосигналом с частотой 450 или 900 МГц (рис. 5.13). При этом не нужно покупать подписку на каждый приёмник, достигается достаточно высокая относительная точность позиционирования, но, с другой стороны, необходимы значительные разовые затраты на приобретение и установку оборудования.

К тому же существует ограничение по площади действия, обусловливаемое характеристиками сигнала. Так, для RTK-станции – это круг радиусом 11 км, в центре которого находится базовая станция, для переносной – немного меньше. За рубежом несколько хозяйств объединяют свои RTK для снижения общих затрат и более полного перекрытия полей, при этом также может осуществляться перепродажа сигнала.



Рис. 5.13. Работа сельскохозяйственной техники с RTK-станцией

Так как точность вождения напрямую зависит от точности измерений ГНСС-приёмника, то очень важно знание механизаторами основных принципов работы приёмников. На точность определения местоположения влияют несколько основных факторов: временные рассогласования, количество одновременно наблюдаемых спутников, атмосферная интерференция, вариации орбит спутников, многолучевое распространение сигнала и др.

Для этого системы параллельного вождения (рис. 5.14) имеют специальный интерфейс, существенно облегчающий работу.



Рис. 5.14. Интерфейс навигационного прибора EZ-Guide 500 Lightbar для системы «Автопилот» в работе

Системы параллельного вождения и автопилотирования помогают точно соблюдать расстояния между проходами машин при выполнении полевых работ. При их использовании технологические операции выполняются с минимальными перекрытиями, экономятся рабочее и машинное время, топливосмазочные материалы, семена, удобрения и средства защиты растений. Навигация очень удобна для опрыскивания, которое лучше проводить ночью, когда ниже температура воздуха и отсутствует ветер. Таким образом, преимуществами систем параллельного и автоматического вождения являются:

- точность движения агрегатов по междурядьям;
- снижение нагрузки на тракториста (машиниста);
- возможность работы в темное время суток и в условиях плохой видимости.

Движение может осуществляться как по прямолинейным, так и по криволинейным траекториям (рис. 5.15), однако точность ведения, особенно при работе с прицепными агрегатами, выше при движении по прямым линиям.

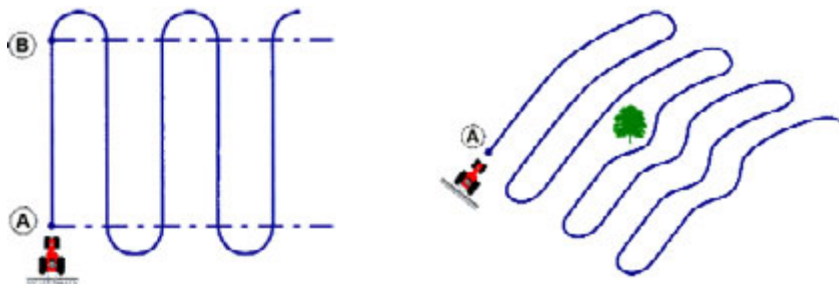


Рис. 5.15. Возможная траектории движения агрегатов (песунок с сайта http://www.geomir.ru/ag_navigation_ru)

5.3. Испытания систем параллельного и автоматического вождения

В Германии были произведены испытания таких систем семи производителей. Для определения точности вождения выполнены пять проходов агрегата шириной захвата 3 м и по 450 измерений для каждого прибора. Приборы оценивались по пятибалльной шкале: оценка 1 – отлично, 5 – неудовлетворительно (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Результаты оценки систем параллельного вождения

Показатели	Модель (фирма)						
	EZ Guide 250 (Trimble)	PCS 110 (Topcon)	Track-Guide (Müller Elektronik)	GPS Copilot (Claas Agrosystems)	Lightbar (John Deere)	Easy Drive (Helm)	Center-line 220 (Teejet)
Качество изготовления прибора	1	2	1,5	2	1	1,5	2
Приспособленность к монтажу и подключению	2	2,5	2,5	2	1,5	2	2
Настройка прибора на работу	1,5	1,5	1,5	1,5	2	1,5	1
Информативность и четкость показаний	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5
Возможности памяти по сохранению рабочих параметров	1	1	1,5	3,5	4	3,5	5
Дополнительные возможности прибора	1,5	1	2	2	1,5	1,5	4
Точность движения по маршруту	2	2	1,5	1,5	2,5	2,5	1,5
Итоговая оценка	1,5	1,6	1,7	1,9	2	2	2,4

По качеству изготовления лучшими оказались приборы EZ Guide 250 и Lightbar. По приспособленности к монтажу и подключению на первом месте прибор Lightbar. Для его установки достаточно присоединить светодиодную панель, антенну и питание к основному кабелю. Третий показатель оценивал время настройки

прибора и учитывал, чтобы введение координат для движения из точки «А» в точку «В» можно было осуществлять без руководства по эксплуатации. Все сравниваемые приборы просты в настройке, однако лучшую оценку получил Centerline 220.

После включения он готов к режиму движения по прямой «А-В», клавиши имеют четкое обозначение, введение ширины захвата агрегата не вызывает проблем. Оценка по четвертому показателю выявила, что все приборы имеют примерно одинаковый уровень четкости показаний дисплея или светодиодного указателя. Прибор GPS Copilot получил отличную оценку за разделенные показания. Верхняя панель с полукруглым расположением светодиодного указателя информирует о рекомендуемом направлении движения в данный момент, нижняя – о положении трактора в полосе. Четыре вертикальных светодиода между верхней и нижней панелями светятся при правильном положении агрегата. На дисплее высвечивается также номер прохода.

Встроенные запоминающие устройства приборов позволяют сохранять в памяти координаты движения последних обработок и ряд других параметров: площадь поля, число и номера проходов. По данным позициям отличные оценки у EZ Guide 250 и PCS 110 («Topcon»). У прибора Centerline 220 при отключении питания все показатели исчезают и не сохраняются (оценка 5).

Кроме обеспечения параллельного вождения, приборы имеют дополнительные возможности, среди которых: измерение обработанной площади, звуковое предупреждение о достижении разворотной полосы и препятствиях, возвращение агрегата в исходную точку, управление навесным орудием, документирование данных. Наилучшая оценка по таким возможностям у PCS 110, EZ Guide 250, Lightbar и Easy Drive.

Точность вождения трактора водителем, зависящая не только от точности принимаемого сигнала, но и от четкости изображения экрана дисплея или слепоуказателя, оценивалась по величине отклонения от линии идеальной траектории в ту или иную сторону и величине размаха отклонений (рис. 5.16).

Наиболее оптимально позволяют вести трактор приборы GPS Copilot и PCS 110, их средние значения отклонений находятся недалеко от теоретической линии траектории, причем у GPS Copilot меньше размах отклонений (52 см). Но самый маленький размах

отклонений обеспечил прибор Centerline 220 (41 см). Самая большая величина пропусков у прибора Easy Drive (74,5 см), а перекрытий – у Lightbar (59,5 см).

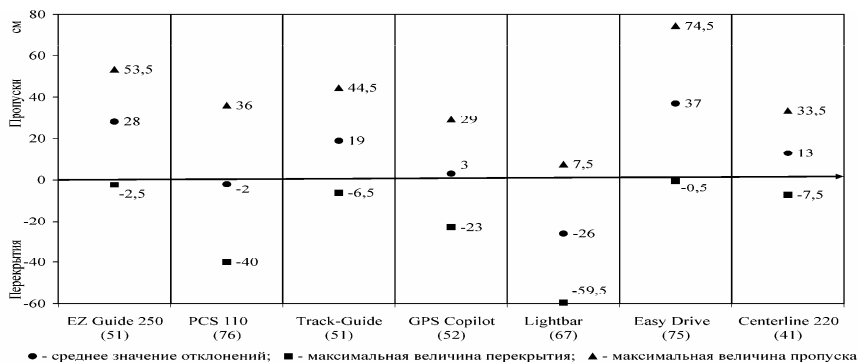


Рис. 5.16. Оценка точности систем параллельного движения по величине отклонений от теоретической траектории движения (в скобках после марки прибора величина размаха отклонений)

Хорошие итоговые оценки получили приборы EZ Guide 250, PCS 110 и Track-Guide, на последнем месте Centerline 220.

Более высокую точность обеспечивают системы параллельного вождения, которые используют корректирующие поправки RTK, поступающие от базовой станции или из сети мобильной связи (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Результаты испытаний и оценки систем параллельного вождения, работающих с корректирующей поправкой RTK

Модель (фирма)	Движение по прямой линии «А-В»			Движение по криволинейной траектории			Итоговая оценка, баллы
	среднее значение отклонений, см*	стандартное отклонение, см	оценка, баллы	среднее значение отклонений, см*	стандартное отклонение, см	оценка, баллы	
Auto Track (John Deere)	-8	6	3	-10	13	1	1,52
Vario Guide (Topcon, Fendt)	-2	4	1,5	6	26	2	1,55
Ag GPS FmX (Trimble, JCB)	0	4	1	20	18	2,5	1,74

Продолжение табл. 5.2

Модель (фирма)	Движение по прямой линии «А-В»			Движение по криволинейной траектории			Итоговая оценка, баллы
	среднее значение отклонений, см*	стандартное отклонение, см	оценка, баллы	среднее значение отклонений, см*	стандартное отклонение, см	оценка, баллы	
System 150 (Topcon)	0	5	1,5	5	18	1	1,83
AFS (Trimble, Case IH)	0	4	1	Н.д.	Н.д.	1,5	1,84
IntelliSteer (Trimble, New Holland)	1	3	1	Н.д.	Н.д.	2,5	1,93
A5 Display (Autofarm)	3	4	2	6	33	3	1,93

*Знак «минус» означает отклонение от траектории в сторону перекрытия предыдущего прохода.

Точность вождения оценивалась по величине среднего значения отклонения от траектории и стандартного отклонения, а также экспертно по пятибалльной шкале. При вождении трактора по прямой наилучшие результаты показали системы Ag GPS FmX (среднее значение отклонения равно 0, стандартное отклонение равно 4), AFS (0, 4) и IntelliSteer (1, 3). Все они получили отличную оценку в баллах. При вождении по кривой траектории отличные оценки получили Auto Track и System 150.

По величине итоговой оценки, учитывающей наряду с точностью вождения многофункциональность приборов и другие дополнительные возможности лучшими оказались Auto Track (1,52 балла), Vario Guide (1,55) и Ag GPS FmX (1,74).

Анализ результатов испытаний показал, что итоговые оценки сравниваемых систем параллельного вождения отличаются друг от друга незначительно: разность между наихудшей и наилучшей оценками в первом случае составляет 0,9 балла, во втором – 0,4 балла. Точность вождения систем, работающих с корректирующей поправкой RTK, значительно выше.

Испытания навигационной системы в России, проведенные Центром «Геомир» в 2004 г. на площадях ООО «Интеко-Агро» в

Белгородской области, показали: установка системы на неподготовленный трактор John Deere занимает около 10 мин.

Бригадой механизаторов из 12 человек, ранее не работавших с системой параллельного вождения, было обработано поле культиватором «Хорш» (18,3 м) по два прохода длиной около 800 м, при этом ошибка в расстоянии между рядами составила 25 см. Использовалась поправка VBS спутника Omnistar.

В табл. 5.3 представлены данные исследований стыковых междурядий при посевах различных культур в Центре точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева по маркеру (рис. 5.17) и с использованием системы «Автопилот» (рис. 5.18).

Таблица 5.3

Ширина стыковых междурядий и отклонения от стандартной ширины междурядий сеялки

Культура	Сеялка D9-30 (отвальный фон)				DMC (минимальный)	
	по маркеру		автопилот		автопилот	
	ширина стыкового междурядья, см	отклонение, см	ширина стыкового междурядья, см	отклонение, см	ширина стыкового междурядья, см	отклонение, см
Вика + овес	—	—	17,5*	- 1,3*	18,1	- 0,7
Озимая пшеница	16,3	+4,3	14,3	+2,3	17,3	-1,5
Ячмень	15,2	+3,2	13,2	+1,2	18,1	- 0,7

Примечание. Ширина междурядий сеялок D9-30 – 12 см, DMC – 18,75 см.

При этом посев озимой пшеницы и ячменя на отвальном фоне осуществлялся рядовой сеялкой D9-30 Amazone с применением системы «Автопилот» и маркера. По варианту нулевой (без обработки) и минимальной обработок почвы проводился посев пневматической сеялкой прямого посева DMC Primera-3000 Amazone только с использованием автопилота. Посев викоовсяной смеси проводился двумя сеялками: D9-30 на вспашке, DMC на нулевом варианте только с применением автопилота.



Рис. 5.17. Вид неравномерного стыкового междурядья при посеве по маркеру



Рис. 5.18. Вид стыкового междурядья при посеве на «Автопилоте»

В ходе исследований наблюдалась неодинаковая ширина стыковых междурядий между смежными проходами сеялок при посеве зерновых культур и викоовсяной смеси по маркеру (см. рис. 17). Это может иметь отрицательные последствия, особенно при выращивании пропашных культур.

При использовании системы «Автопилот» таких существенных отклонений не наблюдалось (см. рис. 5.18).

Необходимо отметить ещё одно важное достоинство системы «Автопилот» по сравнению с маркером. При работе по системе нулевой обработки почвы след от маркера, особенно в сумерки, не очень хорошо виден. «Автопилот» же позволяет работать в круглосуточном режиме. Это обстоятельство может существенно повысить эффективность работ в сельском хозяйстве: два механизатора могут работать по очереди на одном тракторе без перерыва 24 ч в сутки и проводить посевную в кратчайшие и лучшие агротехнические сроки (рис. 5.19).



Рис. 5.19. Работа в ночное время с использованием системы «Автопилот»

На пропашных культурах, помимо точной посадки, требуется проведение междурядных обработок. Поэтому при использовании навигационных систем необходима высокая точность ведения агрегата.

Важным условием развития полноценного растения картофеля является его расположение по отношению к центральной части гребня, формируемое в ходе проведения гребнеобразования после появления всходов.

В ходе экспериментов была предпринята попытка адаптировать систему «Автопилот» под междурядную обработку картофеля. Под картофель был выбран участок на склоне, чтобы сделать работу автопилота более сложной. В компьютер системы «Автопилот» в задание для гребнеобразователя были загружены траектории, пройденные картофелесажалкой.

Посадка картофеля осуществлялась картофелесажалкой GL-34Т на «Автопилоте» и по маркеру. Заданная траектория движения агрегата, с использованием системы GPS, повторялась на варианте координатного земледелия в ходе проведения гребнеобразования по всходам картофеля.

По традиционной технологии возделывания картофеля этот прием проводился визуально, т.е. движением агрегата управлял механизатор.

Гребнеобразование в посадках картофеля, возделываемых по традиционной технологии, обеспечивало формирование растений картофеля с отклонениями от центра от 10 до 15 см (рис. 5.20). Это приводило к одностороннему изменению нарастания вегетативной части, неравномерности в образовании и развитии подземных клубней, а главное, к снижению качества продукции из-за появления большого количества зеленого картофеля.

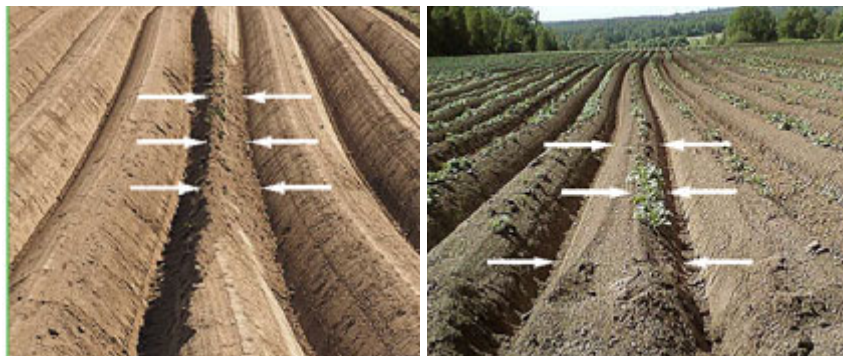


Рис. 5.20. Возможные проблемы при гребнеобразовании картофеля (работа без автопилота): сужение гребня (слева); отклонение от центра (справа)

«Автопилот» без труда справлялся с задачами, которые сложны для обычного механизатора, так как трактор стаскивало вниз по склону.

Системе «Автопилот» удавалось подруливать трактор, движущийся практически боком. Применение системы «Автопилот» обеспечивало отклонение от прямолинейности смежных рядков от 2,8 до 3 см. Как результат – прямолинейные гребни и дружные последующие всходы даже на склоне (рис. 5.21).



Рис. 5.21. Прямолинейные гребни и идеальные всходы картофеля (посадка и гребнеобразование проводились на «Автопилоте»)

Проведение обработок с применением автопилота на основе системы GPS, с корректировкой сигнала в режиме реального времени, показывает высокую точность. Так, на вспашке критические отклонения свыше 8 см составили 7% случаев, на минимальной обработке – 2%. При посадке по маркеру и глазомерном гребнеобразовании критические отклонения встречаются чаще, соответственно в 39 и 26% случаев.

Таким образом, при работе с пропашными культурами к системе ГНСС и техническим средствам автоматического ведения МТА предъявляются следующие требования: ведение агрегатов в реальных полевых условиях (наложение одного прохода на другой) должно достигать точности в отклонениях каждого прохода не более ± 4 см по рабочим органам в 95% случаев. В настоящее время такую точность обеспечивает система ГНСС с применением дополнительной RTK-станции.

Следует отметить, что GPS-приемник относится к типу датчиков, ввоз и продажа которых на территории России строго контролируется государством. Поэтому их законная реализация возможна только после сертификации и лицензирования.

Ряд компаний, например, «John Deere» уже на заводах устанавливает на свои тракторы системы типа «Автопилот» и в таком виде поставляет их потребителям.

В настоящее время многие отечественные компании выпускают достаточно современные и надежные ГНСС-приемники, собственной разработки, обеспечивающие прием в режимах ГЛОНАСС/GPS, которые не уступают по своим характеристикам лучшим зарубежным аналогам.

Следует отметить, что надежных отечественных систем для автоматического вождения сельскохозяйственной техники пока не существует, они только разрабатываются.

При этом тенденция развития растениеводства такова, что за системами параллельного и автоматического вождения будущее современного сельскохозяйственного производства.

Разработанные и предлагаемые на рынке отечественными производителями системы параллельного вождения, как и их зарубежные аналоги, обеспечивают кроме своей основной функции (автоматическое вождение по различным траекториям) ряд дополнительных: выдачу информации об обработанной площади, пройденном расстоянии, скорости движения, номере прохода, текущем времени; составление электронных планов полей, сохранение полученных данных, обмен данными с персональным компьютером.

Характеристики различных систем для параллельного и автоматического вождения представлены в приложении.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем различия параллельного и автоматического вождения автотракторной техники? 2. Какое оборудование необходимо для осуществления параллельного и автоматического вождения? 3. Для каких целей предназначена RTK-станция? 4. Какова необходимая точность позиционирования техники при посеве зерновых культур? 5. Что подразумевается под абсолютной точностью позиционирования? 6. Для каких целей необходимы сервисы поправок?

6. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В КООРДИНАТНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

6.1. Геоинформационные системы в сельском хозяйстве

Работы по использованию ГИС-систем в сельском хозяйстве Российской Федерации начаты Минсельхозом России в 1999 г. В настоящее время разработана общая структура отраслевой ГИС (рис. 6.1). Она состоит из двух основных частей: блока картографической информации и блока представления результатов спутникового мониторинга.

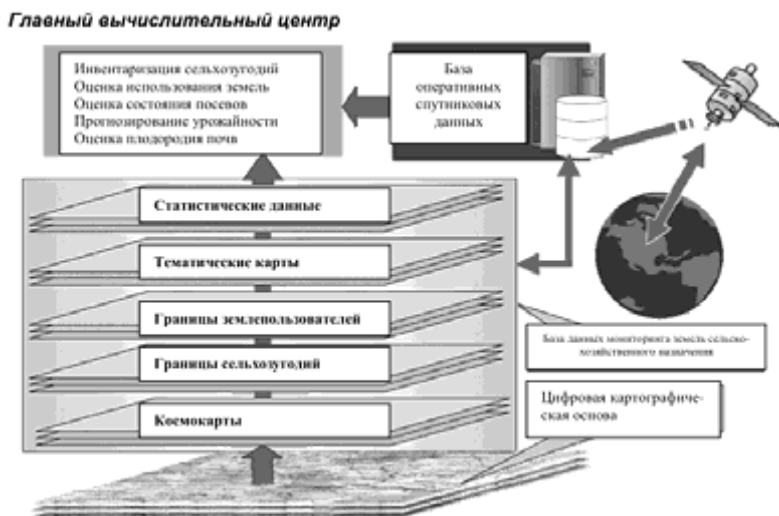


Рис. 6.1. Система мониторинга агроресурсов на основе ГИС

В создании геоинформационных систем участвовал Главный вычислительный центр Минсельхоза России, Институт космических исследований Российской академии наук, Почвенный институт Российской академии сельскохозяйственных наук, Росгидромет, Федеральный кадастровый центр, Росстат.

Создание системы спутникового мониторинга с использованием ГИС-технологий осуществляется по двум основным направлениям.

Первое направление включает в себя задачи получения базового картографического материала и создания банка картографической информации.

Картографическая цифровая информация является основой, на которую накладываются статистические и спутниковые данные, климатические карты, табличная и фактографическая информация.

Картографическая цифровая информация является очень важной при реализации различных проектов в сельском хозяйстве. Эта информация может использоваться при сельскохозяйственной переписи, мониторинге фитосанитарного состояния посевов, изучении ареала распространения вредителей.

Совместно с Росстатом проводятся работы по объединению статистических данных с цифровыми картами. Полученные карты используются в ГИС по интернет-адресу [http:// http://atlas.mcx.ru/](http://atlas.mcx.ru/).

Второе направление – это разработка программно-аппаратных средств получения и автоматической обработки данных ДЗЗ.

С ГИС-проектом можно работать в специальных управленческих программах для сельского хозяйства. Подобные системы обеспечивают упорядочение информации о хозяйстве и производственном процессе, формирование отчетов и заданий, планирование и моделирование выполнения технологических операций, обеспечение информационной поддержки в принятии решений, в некоторых случаях – обработку данных с бортовых компьютеров сельскохозяйственной техники и формирование аппликационных карт для дифференцированного внесения удобрений. К данным программам относятся ГЕО-Агро, ГИС-Панорама Земледелие, Farm Works Site (Pro), SST Summit, SMS Desktop Software (Ad-vanced и Basic), JD Reports MAP АграрОфис, Agro-Net NG, Farm View Record Keeper и др. Существуют также управленческие программы для карманного компьютера (КПК или коммуникатора). Как правило, такие программы являются дополнением к программному обеспечению, установленному на стационарные компьютеры. К ним относятся Farm Truk Mate, SST Strattus и др. Кроме того, электронные карты угодий можно использовать для мониторинга подвижной техники и в соответствующем программном обеспечении: специализированные программы для сельского хозяйства: ГИС-Панорама АГРО, ГИС-Панорама АВТО и др., универсальные: Авто-ГРАФ, Спутник, Бит-Нова, Бизнес – навигатор и др.

6.2. Электронные карты полей

Анализ и оценка состояния сельскохозяйственных угодий являются основой координатного земледелия и предполагают сбор, хранение, обработку и анализ огромного количества информации, привязанной к конкретным участкам земли. Лучшим способом организации информации о сельскохозяйственных угодьях является электронная карта (рис. 6.2) и привязанная к ней база данных.



Рис. 6.2. Электронная карта поля

Главным элементом координатного (точного) земледелия является составление многослойных электронных карт полей (МЭК), в которые помимо слоя, отображающего с заданной точностью границы полей, дорожную сеть и населенные пункты, вносится вся информация о рельефе, состоянии почвы на том или ином участке, внесении удобрений и средств защиты растений, севооборота, урожайности и влажности зерна по годам и т.д. (рис. 6.3).

Электронные карты бывают растровые и векторные. Растровая карта представляет собой цифровое изображение, получаемое путем сканирования обычной бумажной карты, т.е. является копией

оригинала и обеспечивает сохранение всех деталей исходной бумажной карты. Особенность такой карты в том, что сканируемый файл имеет большой объем и внести в него какие-либо новые данные, кроме отображения, практически невозможно.

Векторная карта представляет собой базу данных, в которой хранится информация об объектах карты в виде графического (геометрическое) и атрибутивного (семантическое) описания объектов. Атрибутивное описание включает в себя такие данные, как высота дерева, ширина дороги, скорость течения реки, название населенного пункта, улицы, адрес дома и т.д., графическое – определяет контуры объектов (в общем случае криволинейные), представляя их, как правило, ломаными линиями, цвета, стили линий для линейных объектов и характер заполнения для площадных.

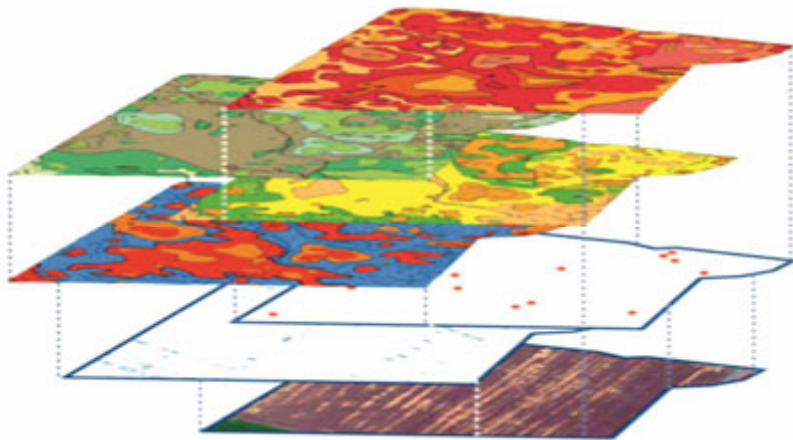


Рис. 6.3. Слои МЭК (структура почвенного покрова, грунтовых вод, содержание макро- и микроэлементов, агрохимические показатели, севооборот, урожайность по годам и др.)

Существует три основных метода сбора исходных данных для создания этих карт:

- обмер полей с помощью высокоточного ГНСС-приемника в полевых условиях (более точный и корректный метод);
- обработка космического изображения высокого разрешения (менее точный, но часто более оперативный и дешевый метод);

- комбинированный метод (электронная карта, созданная по космическим снимкам, редактируется с выездом в поле с помощью высокоточного GPS-приемника).

Преимущество электронной векторной карты полей по сравнению с «бумажной» в том, что каждый объект электронной карты полностью автономен. Он может редактироваться отдельно от других объектов и к каждому из них может быть привязан широкий ряд характеристик. Структурированная таким образом информация (в специальном программном обеспечении) является основой для создания современной системы управления сельским хозяйством.

Электронная карта – это средство инвентаризации земель, определяющее ресурсный потенциал земель хозяйств и позволяющее точно рассчитать нормы расхода топливосмазочных материалов, нормы внесения удобрений и средств защиты растений (СЗР) в зависимости от площади. При составлении карт качества почв отдельных полей можно ввести дифференциальное внесение СЗР и удобрений в различных частях поля, что позволяет значительно сэкономить на внесении удобрений и СЗР и не перенасыщать ими почву. Карта полей дает возможность вести паспорта полей и севооборот хозяйства, подсчитать нужное количество семенного материала, осуществлять мониторинг техники и определять не только расход топлива, но и эффективность использования рабочего времени и др.

Электронная карта дает возможность вести базу данных неограниченное время и по нескольким показателям.

Ведение электронной карты поля дает следующие преимущества:

- возможность ведения учета и контроля всех сельскохозяйственных операций с использованием точных данных (площадь полей, длина дорог, расположение населенных пунктов и т.д.);
- помощь в проведении полного анализа условий, влияющих на рост растений на данном поле;
- оптимизация производства с целью получения максимального дохода, а также рационального использования в производстве ресурсов;
- ведение паспортов сельскохозяйственных угодий с учетом привязки к году урожая;
- просмотр и анализ тематических карт агрохимического мониторинга полей, возделываемой культуры, вносимых удобрений, урожайности, экономической эффективности культуры и др.;

- учет и анализ последствий неблагоприятных погодных условий и других показателей (площади полеглости посевов, вымерзших участков посевов, стадии созревания, засоренность полей) посредством беспилотной авиации;

- формирование статистических справок и отчетов.

После получения электронной карты полей можно проводить их агрохимическое обследование и вносить дополнительную информацию о поле (карты содержания основных элементов N, P, K, Ca, Mg, S, Ph, гумус) в существующую базу данных.

Электронная карта полей делается один раз и со временем становится все более детальной (по мере насыщения базы данных, добавления новых объектов и рабочих пометок на карту). При необходимости она может быть преобразована из одного картографического формата в другой.

6.3. Структура электронных карт

Основу банка картографической информации составляют цифровые модели (карты) местности. Такой подход позволяет использовать картографическую информацию для обработки в различных системах анализа данных.

Во многих современных агропредприятиях электронная карта полей является основным элементом для формирования системы управления агробизнесом. Основное отличие электронных карт от классических заключается в том, что каждый объект (поле) полностью независим от других и может редактироваться отдельно. Каждому полю на карте можно присвоить любой необходимый набор параметров.

Электронная карта, таким образом, имеет многослойную структуру: поля, луга, пастбища, сады, объекты-помехи (столбы, деревья, колодцы и пр. объекты, отнимающие полезную площадь), картограммы агрохимических свойств почвы, точки проведения замеров и взятия проб, дороги и др.

В каждом слое хранится конкретная информация в виде объектов. Самым нижним слоем обычно является снимок местности из космоса.

Электронные карты сельскохозяйственных угодий имеют следующие преимущества:

- позволяют вести точный учёт используемых площадей каждого поля (луга, пастбища, сада), исходя из которых определяются объёмы и стоимость работ на их выполнение;
- являются основой для упорядоченного хранения агрономически важной информации и других данных, привязанных к каждому уголку (паспорт и история поля);
- дают инструментарий для оперативного планирования севооборота, проведения технологических операций, формирования заданий и отчётов;
- являются основой для мониторинга техники сельскохозяйственного и другого назначения;
- предоставляют удобный доступ к важной для организации производства информации;
- являются основой для планирования координат отбора проб при проведении обследований и создания картограмм исследуемых параметров;
- дают инструмент для наглядного отображения большого объёма информации и её оперативного редактирования;
- предоставляют возможность для создания картограмм применения удобрений и средств защиты растений при использовании технологии дифференцированного внесения.

Электронная карта угодий обычно создаётся в хозяйстве один раз. С течением времени, по мере добавления новых данных в базу, она актуализируется и насыщается информацией. Электронная карта может конвертироваться из одного формата в другой для анализа информации в различных интеллектуальных информационных системах.

Важнейшим слоем электронной карты является слой, отображающий местоположение контура поля или его участка. Именно к этому слою в дальнейшем привязывается информация об изменении свойств сельскохозяйственных угодий и произведённых агротехнических операциях. Важнейшим параметром электронной карты, требующим особого внимания, является точность определения границ в географических координатах.

В соответствии с назначением в структуре электронной карты обычно выделяют пять групп слоев:

группа I – собственно карта местности (водоемы, дороги, лесополосы, населенные пункты);

группа II – детальные векторные изображения полей с номерами и точной площадью, флаги помех (столбы ЛЭП на поле, солонцы, вымочки посевов, гидранты и другие стационарные неперемещаемые объекты на поле);

группа III – слои, предназначенные для удобства организации доступа к базе данных и поиска по базе данных (растровые космоснимки);

группа IV – слои, предназначенные для использования в агротехнологическом планировании, почвенные и агрохимические карты, карты форм и элементов рельефа, карты микроклимата, севообороты, задания для внесения, сохраненные линии А-Б или постоянные технологические колеи;

группа V – слои, позволяющие в конце сезона оценить результаты, выявить ошибки и нарушения сроков (так называемые контрольные слои). Сюда же относятся слои, используемые для оптимизации логистики и мониторинга, – например, слой треков или путей перемещения сельхозтехники в ходе полевых работ, места разгрузки бункера. Информация вводится в автоматическом и ручном режимах.

6.4. Технологии создания электронных карт

Современные технологии позволяют создавать электронные карты полей с большой точностью. Существует три основных метода сбора исходных данных для создания электронных карт полей:

- обмер поля с помощью высокоточного ГНСС-приёмника в полевых условиях. Этот метод наиболее точный, так как позволяет получить высокоточные географические координаты границ поля, наложить эту информацию на географическую карту и произвести расчёт всех его геометрических характеристик включая площадь;

- обработка космического изображения высокого разрешения. Этот метод является менее точным, но более дешёвым;

- комбинированный метод. Суть его заключается в том, что электронная карта поля, созданная по космическим снимкам, редактируется с помощью высокоточного ГНСС-приёмника с выездом на поле.

Эти методы позволяют специалистам зафиксировать географическое местоположение поля, его геометрические размеры, площадь, а также местоположение сопутствующих объектов (дорог, населённых пунктов, лесополос и т.д.). Обычно полученные с помощью современных технологий площади полей отличаются от тех, которые фигурируют в старых картах и документах хозяйства. Более корректное определение площади полей позволяет точнее рассчитывать необходимое количество семян, удобрений, средств защиты растений, топлива для различных видов операций. С учётом высокой стоимости материалов и средств производства, электронное картографирование полей с помощью современных ГНСС окупается очень быстро. Поэтому многие современные хозяйства и агрохолдинги организовали создание электронных карт своих полей для повышения эффективности организации производства.

Обмер полей с помощью высокоточного ГНСС-приёмника можно организовать, используя специализированные аппаратно-программные комплексы.

Широкое распространение в России получил комплекс «ГЕО-Учётчик» (рис. 6.4).



Рис. 6.4. Комплекс «ГЕО-Учётчик»

Назначение комплекса:

- измерение географических координат производственных границ сельскохозяйственных угодий, объектов-помех на полях и прилегающих к полям объектов с помощью высокоточного

ГНСС-приёмника (возможно использование приёмников различных фирм);

- визуальный контроль процесса измерений с отображением получаемых треков;
- обработка и подготовка измеренных данных для построения и корректировки электронных карт сельскохозяйственных угодий;
- определение фактических границ и площадей обработанной части поля по данным ГНСС-приёмника.

Состав комплекса:

- специальное программное обеспечение «ГЕО-Учётчик», адаптированное для работы с сенсорным монитором, имеет интуитивно понятный интерфейс и гибкую систему настроек;

- мобильный компьютер с сенсорным монитором, автомобильным адаптером и комплектом кабелей, предназначенный для работы в тяжёлых условиях, устойчивый к повышенному уровню влажности, запылённости, вибрациям, ударам и колебаниям температур. Одно из его существенных достоинств – наличие сенсорного монитора с антибликовым покрытием, что значительно облегчает работу оператора с программой в условиях тряски при движении на автомобиле;

- высокоточный ГНСС-приёмник, подключаемый к мобильному компьютеру;

- ГНСС-приёмник с внешней антенной, предназначенный для определения с высокой точностью координат местоположения в режиме реального времени. Для повышения точности можно использовать дифференцированный сервис типа Omnistar или др.;

- лазерный дальномер для дистанционного определения координат объектов на поле.

Функциональные возможности:

- сбор исходных данных для создания карт полей;
- корректировка существующих карт полей с уточнением их границ, разбиением или объединением;

- контроль вводимых ГНСС измерений по количеству используемых в работе спутников и геометрии их расположения;

- отображение на карте в реальном времени получаемых от GPS-приёмника данных;

- измерение на карте расстояний и площадей;

- определение части поля, обработанной сельскохозяйственной техникой;
- корректировка сопроводительной информации по каждому полю.

Для работы с комплексом «ГЕО-Учётчик» на крышу автомобиля высокой проходимости устанавливают ГНСС-антенну, подключенную к защищённому полевому ноутбуку. Оператор с ноутбуком садится на место рядом с водителем (под антенной). Далее производится объезд поля по периметру с фиксацией поправок (расстояний от антенны до границ угодья) и всех объектов помех. При наличии объектов внутри угодья оператор въезжает в него и фиксирует объект путём объезда. При этом происходит запись границы поля в компьютер с частотой одно измерение в секунду.

Полученные в полевых условиях данные (как о контуре поля, так и об остальных свойствах агроландшафта) обрабатывают в специальном картографическом программном обеспечении для создания электронных карт типа «Карта–2011», «MapInfo Arc View», «Farm Works Site Pro», «SSToolbox», «LandView Mapper», «Агроуправление» и др.

6.5. Картографирование плодородия почв

Традиционный метод агрономической оценки качества поля – построение картограммы почвенных свойств. Производится отбор небольшого количества проб почвы с разных участков поля или отбор одного смешанного образца с определенной площади. Затем в агрохимической лаборатории проводится качественный и количественный анализ проб. В почве определяют содержание гумуса, уровень кислотности, буферность, количество основных элементов минерального питания растений (азот, фосфор, калий, железо, кальций, магний), микроэлементов (цинк, бор марганец, медь, сера и др.) и другие показатели.

Для мониторинга свойств почвы используют контактный и бесконтактный методы. Наиболее распространены контактные.

Для анализа свойств почвы проводится полноценное почвенное обследование. Для этого отбирают пробы почвы по различным горизонтам для определения химических, физико-химических и агрофизических характеристик. Для определения оптимального мес-

та расположения точек отбора проб используют данные аэрокосмической съемки или имеющиеся картографические материалы.

Для отбора проб используют ручные пробоотборники различных конструкций (рис. 6.5) или автоматические пробоотборники, установленные на трактор или автомобиль.



Рис. 6.5. Ручной почвенный пробоотборник с различными наконечниками

На основании проведенного анализа почв выдаются рекомендации по системе минерального питания растений или ее коррективке. При этом они могут содержать рекомендации как по основному (почвенному), так и по некорневому (листовому) питанию растений.

Картограмма плодородия почвы – основа и отправная точка для получения высоких урожаев. В традиционном земледелии используют отбор небольшого количества проб почвы или отбор одного смешанного образца с определенной площади. В точном земледелии отбор проб с каждого поля производится по сетке, узлы которой заданы с определенной частотой, и благодаря системе навигации имеют точные координатные привязки. Например, в Германии на каждом сельскохозяйственном поле пробы почвы отбираются по постоянной фиксированной сетке (одна проба на 0,25 га) каждые

пять лет. Для более подробного картирования сетка отбора проб может быть более частой. Отобранные по сетке почвенные пробы анализируются в агрохимической лаборатории на содержание основных элементов минерального питания растений, затем эти данные вводятся в программу в системе координат, что позволяет получить карту плодородия каждого конкретного поля. Полученная информация – карта и уровни плодородия в каждой точке – загружается в специализированную программу (например, SMS Advanced или Agrar-Office), которая формирует задание для бортового компьютера, регулирующего дозы внесения удобрений с машины (по технологии off-line). Таким образом, для каждого участка поля рассчитываются и вносятся расчетные дозы именно тех удобрений и микроэлементов, которые необходимы именно на этом участке.

Отбор образцов по сетке может быть осуществлен с любой точностью, которую может обеспечить навигационная система. Внесение удобрений осуществляется с той точностью, которую обеспечивает разбрасыватель. Поэтому построение картограмм плодородия и картограмм применения удобрений (файлов предписания) должно основываться на ширине разбрасывателя удобрений.

Сетку для автоматического отбора проб можно задать любого масштаба, все зависит от цели картографирования. Если целью является дифференцированное внесение удобрений, то имеет смысл опираться на ширину захвата опрыскивателей или разбрасывателей удобрений, и выбирать масштаб отбора проб в строгом соответствии с площадью захвата. В то же время размеры площадок для определения индекса NDVI зависят от модели прибора, и могут составлять от сотых долей до нескольких единиц квадратных метров. Контроль равномерности и однородности посевов с помощью NDVI позволяет оценить не только неоднородность плодородия почвы, но и пятнистость, обусловленную засоренностью посевов или распространением болезней. Однако, как бы подробно мы не исследовали индекс NDVI на поле, точность обработки посевов все равно определяется шириной захвата опрыскивателя или диаметром факела форсунки опрыскивателя, если предусмотрена возможность по отдельности отключать форсунки.

На примере одного поля в рамках севооборота на опыте Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева прове-

дено сравнение разномасштабных картограмм почвенных свойств для оптимизации составления карт плодородия почвы. Почвенный покров участка, отведенного под севооборот опыта ЦТЗ исторически неоднороден, и на первом этапе работ нами были наиболее подробно исследованы почвенные свойства одного из полей опыта размерами 100 × 140 м (далее – поле). Исследования взаимосвязи почвенных свойств и урожайности культур на данном поле проводились в 2009 и в 2011 гг.

Для характеристики пространственной неоднородности распределения отдельных почвенных свойств на этом поле в 2009 г. из пахотного слоя по случайной схеме (рис. 6.6) были отобраны

108 индивидуальных образцов, в которых определены pH_{KCl} , содержание подвижных фосфора и калия (в вытяжке Кирсанова) и некоторые другие показатели. В 2009 г. на этом поле согласно схеме севооборота был посеян ячмень (*Hordeum vulgare*, сорт «Михайловский»), в 2011 г. – озимая пшеница (линия Л-15). Урожайность зерновых культур в оба года исследования определялась на всей площади поля дробным методом учета с применением малогабаритного самоходного комбайна Сампо. Учет проведен на всей площади поля. Размер учетных площадок составил 20 × 1,5 м, количество учетных площадок на поле – 356 шт.

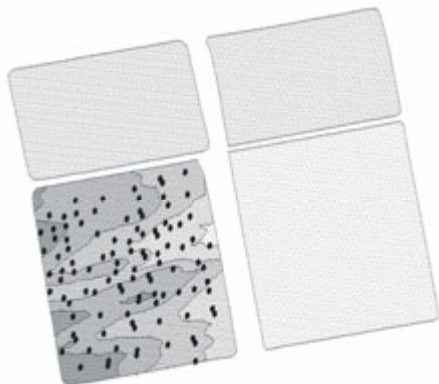


Рис. 6.6. Расположение полей четырехпольного севооборота опыта Центра точного земледелия (точками показаны места отбора почвенных проб на одном из полей севооборота)

Для построения картограмм распределения почвенных свойств и урожайности использован специализированный программный пакет SMS Advanced (компания AG Leader, USA), предназначен-

ный для обработки пространственных данных в точном земледелии.

На примере пространственного распределения фосфора (P_2O_5) в пахотном слое почвы на поле можно сравнить разные способы представления полученных данных отбора проб. Данные по агрохимическим показателям свойств почвы могут быть получены только точечным методом с указанием координат точек, и на основании этих данных строится картограмма или контурная карта распределения почвенных свойств. В зависимости от способа компьютерной обработки и представления данных (размера сетки), карты будут выглядеть по-разному (рис. 6.7).

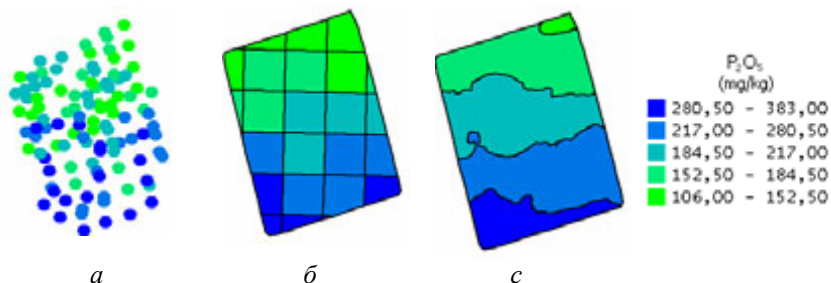


Рис. 6.7. Различное представление данных о пространственной изменчивости содержания подвижного фосфора в пахотном слое почвы: а – точки диаметром 10 м; б – сетка 30×30 м; с – контурная карта

В настоящее время в передовых агропромышленных комплексах имеются мобильные агрохимические лаборатории, оснащенные средствами спутниковой навигации, способные проводить быстрый отбор и анализ проб с использованием передвижных лабораторий.

Для взятия образцов почв используются автоматические почвенные пробоотборники, которые устанавливаются на тракторы, автомобили, четырехколесные мотоциклы, мини-тракторы и др. Кроме пробоотборника, транспортное средство оснащается ГНСС-приемником и мобильным компьютером, что позволяет непосредственно в поле фиксировать на электронной карте координаты точек взятия проб для возможности восстановления маршрута обследования в следующий раз.

Основная задача пробоотборника мобильной лаборатории (рис. 6.8) на первом этапе заключается в определении координат и привязке к ним точек отбора проб или смешанного образца. Затем данные загружаются в специальную ГИС-программу, например, SMS Advanced или AgraOffice, где после проведения агрохимического анализа каждой точке отбора проб, имеющей конкретные координаты, присваивается содержание элементов минерального питания растений и другая информация о почве. Далее программа в автоматическом режиме производит построение контурных агрохимических карт, а при необходимости формирует задание для бортового компьютера машины для внесения удобрений. В результате на разные участки поля будет внесено именно то количество удобрений и микроэлементов, которые, согласно лабораторному исследованию, необходимы именно этому участку. Это весьма трудоёмкая процедура.



Рис. 6.8. Передвижная почвенная лаборатория точного земледелия (рисунок с сайта <http://www.agromdt.ru>)

Важно фиксировать координаты каждой пробы почвы, что позволяет при проведении следующих циклов агрохимического обследования отбирать пробы в тех же местах и получать корректную картину изменения агрохимических свойств почв во времени.

Экономически выгодно проводить агрохимическое обследование в сокращенном варианте на следующий год после развернутого анализа на наиболее важных участках. Таким образом можно по-

высить точность созданной агрохимической карты для работы в следующем году.

Фирма «Bodenprobetechnik Nietfeld» (Германия) выпускает пробоотборники Easy-Sampler, Duorob 60, Concord C 2400 с глубиной взятия однородных проб почвы от 30 до 90 см. Скорость цикла взятия пробы составляет 20-25 с. На сегодняшний день самым быстрым пробоотборником на рынке считается прибор N 2000, один рабочий период которого составляет 2-5 с (рис. 6.9).

Отбор проб производится с помощью спирального бура. Конструкция бура обеспечивает равномерный отбор почвы по всей глубине (устанавливается с помощью специального электрического датчика).



Рис. 6.9. Автоматический пробоотборник почвы N 2000 («Bodenprobetechnik Nietfeld»)

Для взятия проб на содержание нитратов предлагается пробоотборник NH 90 без автоматического выгрузки желобка, для пробоотбора при исследовании на нематоды – пробоотборник NEPROMAX (System Einig).

Автоматический пробоотборник Multiprob 120 с глубиной отбора 10-90 см может брать пробы с глубины 120 см, при этом пробный материал из различных горизонтов автоматически попадает в

предусмотренные сосуды. Новым является и то, что все функции выполняются двумя приводами, которые работают поочередно и контролируют позицию и скорость.

Широкий спектр оборудования для анализа почвы предлагает фирма «Amity Technology» (США). Проботборники «Конкорд» выпускаются в различных модификациях. С их помощью отбираются однородные пробы почвы с глубины 0-61 см и 0-120 см, частота отбора в зависимости от модели – от 4 до 60 с. Модель «Исследователь» позволяет получать пробы при помощи Р.Е.Т.Г. рукавов, которые защищают почву, взятую на анализ, от попадания в нее посторонних примесей и частей других проб.

Немецкая фирма «Fritzmeier Systems GmbH & Co KG» поставяет автоматические приборы для исследования почвы серии «Profi», которые полностью автоматизированы, имеют веретенообразный бур с гидравлическим приводом. Они позволяют отбирать пробы с глубины от 0 до 90 см. Встроенный компьютер с пакетом прикладных программ обеспечивает картирование каждой точки отбора проб и документирование результатов исследований за несколько лет. Для записи результатов, фиксации точек отбора проб, получения почвенных карт используется бортовой компьютер с встроенным GPS-приемником и специализированное программное обеспечение.

Получили распространение пробоотборники таких зарубежных фирм, как «Wintex Agro» (Wintex 1000, Wintex 2000, Wintex MCL3), «Chrestie Engeneering» (Soiltest 1600), «AgriCon GmbH Precision Farming Company» и др.

Наиболее современные мобильные анализаторы свойств почвы представляют собой комплекс приборов, монтируемых на прицепное устройство автомобиля повышенной проходимости (рис. 6.10): сканер электропроводности, датчик влажности почвы, электрод рН-метра, оптический датчик для определения отражающей способности почвы (по нему судят об обеспеченности почвы органическим веществом), емкость для воды, омывающие форсунки для промывания рН-электродов после использования.



Рис. 6.10. Мобильный анализатор свойств почвы от компании «Veris Technologies» с системой навигации Garmin

В России также созданы технические средства для отбора проб почвы в системе точного земледелия. Агрофизическим НИИ разработан мобильный автоматизированный комплекс, позволяющий создавать электронные карты полей и проводить агрохимическое обследование почв. Комплекс включает в себя двигатель (автомобиль «Нива»), автоматический почвенный проботборник «HYDRO 20» (Германия), спутниковую систему позиционирования, бортовой компьютер, программное обеспечение FieldRover II. Почвенные пробы берутся с глубины 25 см. Методика обследования состоит из следующих этапов:

- создание контура поля с точностью GPS-приемника;
- разметка поля (контура) на элементарные участки заданной площади или размера;
- отбор и маркировка проб;
- агрохимический анализ в аккредитованной лаборатории;
- визуализация и анализ результатов в ГИС.

Разработанный комплекс может применяться не только для агрохимического обследования полей, но и для измерения электропроводности и теплопроводности почвы, выявления и точного обозначения на электронной карте специфических участков поля (например, участков, пораженных нематодой), а также для составления земельных кадастров, уточнения границ и площадей полей и рабочих участков.

Отобранные почвенные образцы относят в одну из лабораторий агрохимической службы России или частную лабораторию. Иногда для корректировки дозы вносимых в подкормки удобрений, можно воспользоваться портативными лабораториями для исследования образцов почв и растений (рис. 6.11). Такие анализы чаще менее точны, чем исследования в стационарных лабораториях, но даже приблизительная и своевременная оценка культур в элементах питания позволяет более рационально вносить удобрения. Портативные лаборатории дают возможность более оперативно определять дозы удобрений и вносимые подкормки.



Рис. 6.11. Портативная агрохимическая лаборатория

При построении карты распределения индекса NDVI или урожайности (рис. 6.12) наблюдаем обратную картину: данные в поле поступают в виде непрерывных измерений или методом дробного учета, а предоставляются в виде карты либо как отдельные точки, где каждая точка соответствует центру учетной площадки, либо как построенные опять же с отдельных точек контура или картограммы.

Показаны разные способы представления данных об урожайности ячменя на одном и том же опытном поле: на рис. 6.12а – сетка дробного учета урожайности, узкие делянки расположены встык друг к другу и покрывают все поле, размер каждой учетной делянки составляет 1,4 × 20 м.

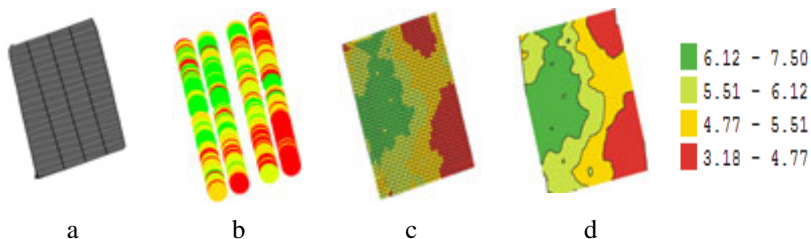


Рис. 6.12. Различное представление данных об урожайности ячменя (т/га): а – сетка дробного учета урожайности; б – точки по центру каждой ячейки сетки дробного учета, диаметр точки 10 м; в – сетка 3 × 3 м; д – контур

При построении точечной карты по данным дробного учета каждая учетная делянка преобразуется в точку (рис. 6.12b). Однако точечная схема не очень привычна для визуального восприятия картограммы, поэтому последняя может быть представлена и другими способами. Например, можно задать новую сетку с ячейкой любого размера (в нашем примере размер сетки 3 × 3 м, рис. 6.12c) или построить контурную карту (рис. 6.12d).

Программный пакет SMS Advanced позволяет оценивать степень взаимосвязи между отдельными характеристиками почвы пахотного слоя, распределением индекса NDVI и урожайностью культуры. К преимуществам этого пакета относится возможность сопоставлять данные, полученные по разным схемам опробования, поскольку в точки, не попавшие в сетку опробования, можно интерполировать значение показателя из других точек.

6.6. Определение сопротивления пенетрации

Важной технологической характеристикой поля, оказывающей механическое сопротивление развивающейся корневой системе растений, влияющей на всхожесть семян и развитие растений, определяющей водный, воздушный и тепловой режим почвы, является твердость почвы. Получение достоверных информационных сведений о твердости почвы имеет особое значение потому, что на уплотнение почвы значительное влияние оказывают многократные проходы по полю тракторов, комбайнов и другой мобильной современной техники. Функционирование такой техники приводит к распылению верхнего и уплотнению нижнего слоев почвы, отрица-

тельно влияет на ее плодородие, снижает урожайность сельскохозяйственных культур.

Одновременно с измерением электрического сопротивления (ERR) проводилось измерение сопротивления пенетрации на трех глубинах 10, 20 и 40 см – T_1 , T_2 и T_3 (соответственно) специальным прибором с коническим плунжером. Географические координаты точек отбора проб фиксировались при помощи приемника GPS Garmin (точность привязки в градусах: восемь знаков после запятой) и в линейных локальных координатах с привязкой к границе поля с точностью $\pm 0,5$ м. Число точек определения электрического сопротивления и сопротивления пенетрации составило 135.

В настоящее время для измерения твердости почвы применяются твердомеры как ручные, так и автоматические (рис. 6.13).

Автоматический измеритель твердости почвы позволяет зафиксировать распределение плотности по профилю почвы, определить наличие плужной подошвы (рис. 6.14) и определить оптимальную глубину обработки почвы.



Рис. 6.13. Приборы для измерения твердости почвы

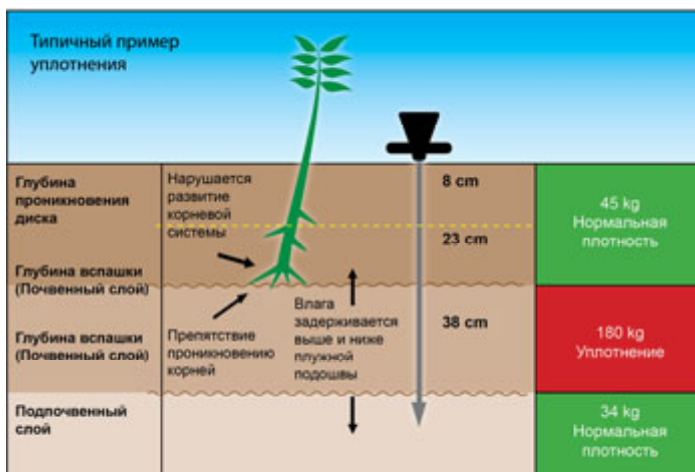


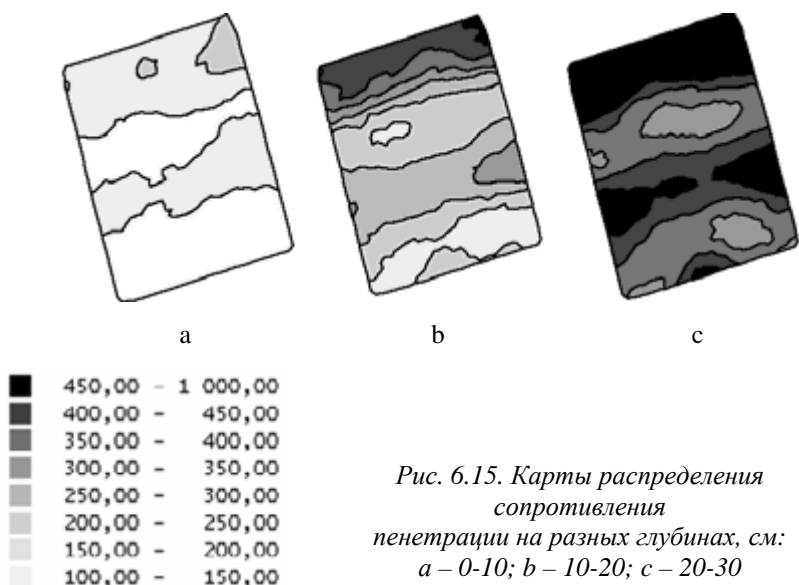
Рис. 6.14. Распределение плотности по профилю почвы

Измерение твердости почвы проводится перед началом работ по обработке почвы. Для получения точных данных измерения повторяют несколько раз в одном месте и разных точках поля.

Электрическое сопротивление почвы обнаруживает отрицательную связь между сопротивлением пенетрации на всех трех глубинах. Иными словами, чем больше усилие, затрачиваемое на проникновение на определенную глубину, тем меньше электрическое сопротивление почвы. По-видимому, это связано с тем, что с повышением твердости почвы увеличивается контакт между почвенными частицами и приводит к уменьшению электрического сопротивления.

Из исследованных свойств небольшие, но значимые корреляции отмечаются между электрическим сопротивлением и величинами рН, емкостью катионного обмена и содержанием подвижного калия. Это не противоречит ранее полученным данным, однако слабая степень связи может быть обусловлена влиянием неучтенных факторов.

Сопротивления пенетрации на разных глубинах тесно связаны между собой, причем корреляции между соседними слоями более высокие. Такая зависимость объясняется существованием определенных зон, где плотность увеличена по всей глубине пахотного слоя и глубже. Эти зоны приурочены к площадкам опыта, где применялась нулевая обработка почвы (рис. 6.15).



*Рис. 6.15. Карты распределения сопротивления пенетрации на разных глубинах, см:
a – 0-10; b – 10-20; c – 20-30*

Все агрохимические свойства, за исключением пар рН – ЕКО и рН – K_2O , обнаруживают значимые, иногда не вполне логически объяснимые связи. Наиболее тесно связаны между собой показатели содержания подвижного фосфора и ёмкости катионного обмена (связь отрицательная) и гидролитическая кислотность и содержание фосфора (связь также отрицательная). Получается, чем меньше емкость катионного обмена и ниже гидролитическая кислотность, тем выше содержание фосфатов. Возможно, подобные связи являются не причинно-следственными, а отражают воздействие других факторов, например, внесение различных доз удобрений на отдельные участки.

Это можно продемонстрировать путем сравнения картограмм подвижного фосфора и калия, на которых видно, что на одних участках связь между показателями отрицательная, т.е. повышенному содержанию калия соответствует пониженное содержание фосфора (правый верхний угол поля), а на других – положительная (рис. 6.16). В левом нижнем углу поля повышенному содержанию калия соответствует повышенное содержание фосфора.

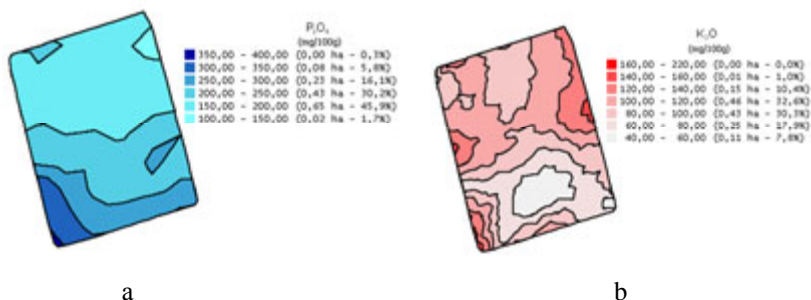


Рис. 6.16. Содержание в почве подвижного фосфора (а) и подвижного калия (б) на опытном поле Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Вся накопленная информация о свойствах почвы должна храниться в единой базе данных, где в первую очередь фиксируются координаты точек и контуров неоднородности, свойства почвы в них, а также информация о биомассе посевов во время вегетации, об урожайности и др.

Неоднородность почвенных условий можно оценить не только непосредственно по результатам анализов почвы или карте электропроводности, но и косвенно – по отклику растений. Одним из альтернативных способов оценки неоднородности почвенных условий может служить обследование посевов во время вегетации (сканирование биомассы), или как частный случай такого сканирования – дробный учет урожайности, т.е. для составления картограммы неоднородности почвы можно идти от обратного и не анализировать состояние почвы, а во время уборки оценивать урожайность не в среднем по всему полю, а на каждом конкретном его участке. Исходя из этих данных, составляется карта урожайности поля. По этой карте, зная, какие участки поля дали больший урожай, а какие меньший, можно планировать программу внесения удобрений, возвращая почве то, что было у неё взято.

6.7. Оценка электропроводности и теплопроводности почвы

Помимо разномасштабности получаемой на поле информации, существует еще одна проблема, о которой не следует забывать, а именно, экономический аспект агрохимического обследования

почвы. Чем больше образцов отбирается и анализируется в лаборатории, тем дороже обходится составление такой карты. Альтернативой отбору проб по сетке является отбор проб по контурам электропроводности, которые выявляются с помощью специальных скаверов электропроводности и магнитной восприимчивости почвы.

Электропроводность почвы (и обратная ей величина — электрическое сопротивление) зависит от влажности, содержания подвижных ионов в почве и других показателей. По показателям электропроводности делаются предварительные выводы об агрофизических и агрохимических свойствах почвы. Следует отметить, что для подобных предсказаний требуется предварительная калибровка, поскольку на степень выраженности зависимости могут влиять другие факторы, в первую очередь погода. Однако быстрота и простота этого метода делают его перспективным для оценки качества пахотных почв.

По карте электропроводности на поле выделяются средний фон и наиболее контрастные пятна, которые обследуются более детально, т.е. вместо первичного отбора проб по сетке составляется контурная карта электропроводности (или электрического сопротивления) почвы, и затем образцы для подробного анализа отбираются по контурам. Важно, что при составлении карты электропроводности почвы, необходимое количество почвенных образцов может быть сокращено в несколько раз.

Показатель электропроводности почвы показывает изменение основных свойств почвы в пределах поля, таких как гранулометрический состав, органическое вещество, влажность, концентрация солей в почвенном растворе, показатель рН и т.д. После исследования электропроводности почвы необходимое количество почвенных образцов может быть сокращено в несколько раз. Для изучения электропроводности почвы используют контактный (посредством измерения электропроводности) и бесконтактный (с помощью измерения электромагнитной индукции и георадаров) методы измерения.

Контактный метод основан на измерении электропроводности почвы с помощью электродов, которые представляют собой изолированные стальные диски, находящиеся в постоянном контакте с почвой. Для проведения такого измерения используется внедорожник, оснащенный бортовым компьютером с технологией парал-

лельного вождения, GPS-приемником, прибором, определяющим электропроводность и прицепным агрегатом с дисками (с размещенными в дисках электродами) (рис. 6.17). При проведении измерений, агрегат движется по полю согласно технологии параллельного вождения, с погруженными в грунт дисками, при этом на одну пару изолированных электродов подается напряжение, а другая служит для измерения падения напряжения между ними. Замеры электропроводности совмещаются с данными GPS и наглядно отображаются в виде карты.



Рис. 6.17. Картирование электропроводности почвы с помощью прицепного агрегата Veris 3100 (компания «Veris Technologies», США)

Veris 3100 формирует два набора карт – карту поверхностного слоя (30,5 см) и карту, захватывающую корневую зону (91,5 см). Карта верхнего слоя часто используется для выбора мест забора проб, а более глубокая карта – для определения нормы внесения удобрений (особенно азотных).

Бесконтактное определение электропроводности почвы проводят с помощью приборов для измерения электромагнитной индукции и георадаров. В большинстве случаев аппаратура для измерения электромагнитной индукции может быть объединена с ГНСС-приемниками для обеспечения позиционирования проводимых измерений (рис. 6.18).



*Рис. 6.18. Сканер электропроводности почвы
(рисунок с сайта <http://www.eco-razum.com>)*

Интерес представляет датчик электропроводности EM38-MK2 (компания «Geonics Limited», Канада), дающий возможность выделить почвенные контуры и оценить неоднородность почвенных свойств без разрушения почвы и отбора образцов. Он обеспечивает одновременное измерение электропроводности почвы и магнитной восприимчивости в интервалах почвенных глубин 0,75 и 1,5 м. При помощи карт вариаций электромагнитных свойств почвы можно наглядно разделить поля на участки с определенными классами и проводить, например, отбор проб почвы только внутри одного класса без перемешивания с другими классами.

Отечественным прибором, подходящим для использования в сельском хозяйстве при исследовании состояния почв, является многоцелевой электромагнитный сканер «Немфис», разработанный институтом нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (рис. 6.19).



Рис. 6.19. Электромагнитный сканер «Немфис» (ИНГГ СО РАН)

Он реализует метод электромагнитного индукционного частотного зондирования и представляет собой трехкатушечный зонд. Прибор имеет возможность сканирования больших площадей с ГНСС-привязкой, визуализацию карт и разрезов в реальном времени. Сканер управляется с помощью беспроводного модуля на базе карманного ПК по технологии BlueTooth, эксплуатируется одним оператором, обладает высокой помехозащищенностью.

Одной из составляющих технологии «точного земледелия» является мониторинг плотности почвы на поле. В настоящее время в России начинают появляться механические и ультразвуковые пенетромеры – приборы для измерения плотности почвы.

Электронный пенетрометр SC 900 (компания «Spectrum Technologies», США) измеряет индекс пирометрического конуса, сохраняет полученные данные и позволяет пользователю проводить их анализ. Запоминающее устройство и порт RS-232, расположенный на нижней стороне прибора, позволяют измерять уплотнения почвы с привязкой к координатам местности. При обнаружении GPS-сигнала широта и долгота местоположения будет включена в результаты измерения. Память устройства хранит до 772 профилей (или 579, если используется функция GPS). Для под-

ключения GPS-приемника требуются GPS/DGPS кабель и последовательный интерфейсный кабель. Прибор совместим с онлайн картографическим приложением SpecMaps.

Проведение агрохимического анализа почвы имеет большое значение. От полноты, точности и своевременности получения этих данных зависят количество и качество урожая. Агрохимический анализ способствует принятию целесообразных и продуманных решений, способствующих организации мероприятий по повышению плодородия и эффективности использования земель.

6.8. Картографирование урожайности

Измерение количества намолоченного зерна, содержания сухого вещества, убранной площади с привязкой к координатам в поле является необходимым при создании карт урожайности для работы в системе точного земледелия.

Среди оборудования, предназначенного для оценки урожайности, важное место занимают различные датчики (оптический датчик объема зерна в бункере, датчики влажности зерна, поперечных и продольных отклонений и др.), представляющие собой набор сенсоров. Их применение дает возможность определять урожайность и влажность зерна с единицы площади с учетом местоположения комбайна и неровностей поля.

Картирование урожайности в технологиях точного земледелия подразумевает комплекс мероприятий с использованием спутниковых навигационных систем, в основном заключающийся в сборе, обработке и хранении данных об урожайности и влажности зерна в процессе комбайновой уборки.

Для осуществления картирования урожайности на зерноуборочный комбайн устанавливается комплекс следующего оборудования: ГНСС-приемник (рис. 6.20), датчик положения жатки (рис. 6.21), датчик потока зерна (рис. 6.22), датчик влажности зерна (рис. 6.23), дисплей Insight (см. рис. 5.7, 5.8).

Накопление информации осуществляется в режиме реального времени, непосредственно при уборке урожая, при этом комбайнер на основе урожайности и влажности зерна имеет возможность изменять режимы работы комбайна.



Рис. 6.20. ГНСС-приемник

ГНСС-приемник предназначен для регистрации положения объекта на местности.

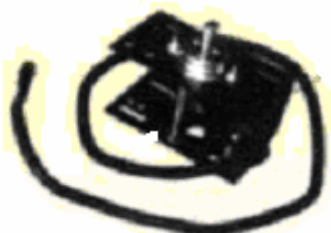


Рис. 6.21. Датчик жатки

Датчик жатки устанавливается под кабиной, а рычаг датчика присоединяется к наклонной камере молотилки. Предназначен для включения и выключения процесса регистрации (расчёта) убранной площади.

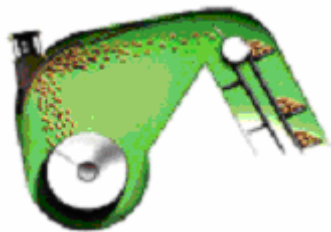


Рис. 6.22. Датчик потока зерна

Датчик потока зерна основан на технологиях пьезодатчика или светодиода и определяет количество материала, проходящего через элеватор комбайна.



Рис. 6.23. Датчик влажности зерна

Датчик влажности устанавливается сбоку на площадке элеватора и служит для измерения влажности и температуры зерна во время обмола.

Кроме создания карт урожайности и влажности зерна по убираемой площади, навигационная система создает карты высотной отметки, скорости, выхода урожая по массе, а также расчетного объема урожая в сухом состоянии.

Возможные варианты расположения оборудования для картирования урожайности на зерноуборочном комбайне показаны на рис. 6.24.



Рис. 6.24. Расположение оборудования на зерноуборочном комбайне для картирования урожайности

Применение навигационной системы, например, EZ-GUIDE 500 с подруливающим устройством или аналогичного оборудования позволяет также осуществлять параллельное вождение комбайна, что актуально в ночное время.

Полученные от датчиков данные отображаются на дисплее полевого компьютера Insight и одновременно записываются на съемную флеш-карту, а при необходимости могут копироваться для последующей работы на стационарный или переносной компьютер.

При построении карты распределения индекса NDVI или урожайности (рис. 6. 25) данные получают методом сплошного учета или непрерывных измерений и представляют в виде карты либо как отдельные точки, где каждая точка соответствует центру учетной площадки, либо в виде контура или картограммы.

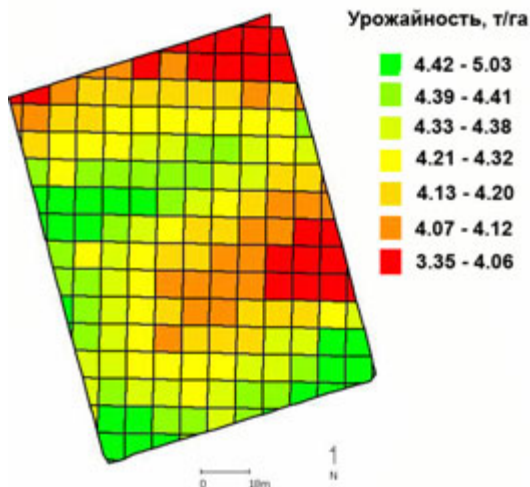


Рис. 6.25. Картограмма урожайности озимой пшеницы на поле Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2010 г.

После уборки урожая строится карта урожайности озимой пшеницы (рис. 6. 26). Для построения карты использовалась программа SMS Advanced.

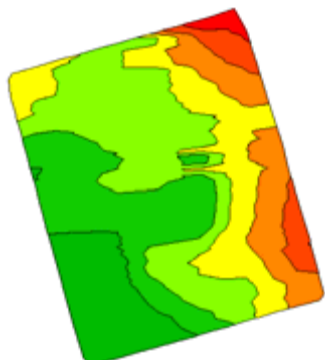


Рис. 6.26. Карта урожайности озимой пшеницы на опыте ЦТЗ в 2011 г. Информация в поле получена по результатам дробного учета урожайности с помощью комбайна «Сампо-Ростов», шаг сетки опробования равен размеру учетной делянки 1,5 × 20 м, карта построена в программе SMS Advanced

Зерноуборочные комбайны фирмы «Claas» оснащаются компьютерной системой ведения точного земледелия Fieldstar. Расположенный в кабине монитор Data Touch выдает цифровую и графическую информацию об урожайности и влажности убираемой культуры, производительности, скорости движения, уровне заполнения

зернового бункера и др. Информация о намолоте зерна поступает от датчика в зерновом элеваторе. По заказу комбайны оснащают системой картирования урожая. В комплект системы Fieldstar входят антенна и приемник сигналов.

Фирма «New Holland» использует на своих комбайнах систему Intellcruise, изменяющую скорость движения в зависимости от плотности хлебной массы, которая измеряется датчиками, установленными на жатке и наклонном транспортере. Высокоточный датчик количества собранного зерна измеряет содержание влаги в зерне в режиме реального времени, отбор проб осуществляется с интервалом 30 с, а данные передаются в монитор IntelliView™ IV, который не требует калибровки при переходе от одной культуры к другой. Фирмой выпускаются четыре варианта оснащения для точного земледелия:

- система регистрации урожайности убираемой культуры;
- система регистрации урожайности и влажности убираемой культуры;
- система регистрации урожайности и влажности убираемой культуры, блок накопления и анализа данных;
- полный набор для внедрения технологий точного земледелия, включающий в себя: DGPS-совместимые антенну и приемник, систему регистрации урожайности и влажности убираемого материала, электронно-картографическое приложение для ПК, материалы для обучения эффективному пользованию компьютерным приложением.

Комбайны фирмы «Case IH» оборудуются системой картирования урожайности ASF, включающей в себя антенну для приема сигналов со спутника, приемник, преобразующий сигнал в данные о положении комбайна, датчики потока и влажности зерна, монитор контроля урожайности, который может рассчитывать и хранить данные в памяти. Полученная информация обрабатывается на персональном компьютере для получения цветной карты урожайности.

Комбайны компании «Challenger» (корпорация «AGCO») оборудованы центром управления урожаем Harvest Management с цифровым дисплеем.

На комбайнах фирмы «Deutz-Fahr» устанавливаемая по заказу электронная контрольно-информационная система TCS может использоваться как часть системы картирования урожайности с по-

следующей передачей полученных данных в персональный компьютер, установленный в офисе.

Для учета урожайности на зерно- и кормоуборочных комбайнах фирма «John Deere» разработала три системы HarvestLab, AutoLOC и HarvestDoc. Датчик системы HarvestLab, расположенный на силосопроводе самоходного кормоуборочного комбайна, автоматически во время уборки собирает данные по содержанию сухого вещества, белка, сахара, крахмала, протеина, клетчатки.

Датчик использует технологию работы с отражением ближнего инфракрасного спектра (NIR). Суть ее состоит в следующем: источник света направляет луч непосредственно на культуру, происходит передача световой энергии, которая частично поглощается или отражается растением. С помощью данных об измеренном отражении и математических методов датчик NIR получает данные влажности. Измерение влажности осуществляется при скорости потока материала до 40 м/с – в среднем один замер на 50 кг силоса. Информация о составе скошенной массы, урожайности, а также показатели пропускной способности для каждого поля или на 1 га отражаются в режиме реального времени на мониторе в кабине. Отчёт, содержащий эту информацию, можно распечатать на бортовом принтере (опция). В зависимости от количества влаги в растительной массе система AutoLOC автоматически регулирует длину резки. Система HarvestDoc позволяет анализировать собранную информацию и в зависимости от количества сухого вещества, длины резки и объёма растительной массы подбирать оптимальную дозу консервантов для наилучшего сохранения силоса, создавать карты полей, составлять отчёты. Систему можно использовать непосредственно при уборке культур и в условиях лаборатории.

На кормоуборочных комбайнах компании «Krone» применяется система замера урожайности Crop Control в режиме реального времени. Индуктивный датчик перемещения смонтирован на обоих последних подпрессовывающих вальцах. Можно вести подсчет убранной массы и с помощью принтера выводить данные на печать.

Фирма «Claas» использует устройство Quantimeter, входящее в бортовую электронную систему Cebis, которое непрерывно измеряет проходное сечение и скорость массы, проходящей через питающий аппарат, и совместно с датчиком влажности определяет урожайность и количество сухой массы на каждом участке поля.

Таким образом, использование большей части современных технологий в области координатного земледелия невозможно без картографирования полей с последующим созданием электронных карт. С применением электронных карт полей возможно, в удобном для пользователя виде, собирать, классифицировать и использовать информацию по севообороту, урожайности, типам почв, болезням, вносимым удобрениям и средствам защиты растений, что обеспечивает экономию средств для сельхозтоваропроизводителей.

МЭЖ сельскохозяйственных угодий и база данных, привязанная к ней, являются фундаментом для формирования серьезных систем мониторинга за свойствами сельскохозяйственных угодий и выработки оптимальных решений по управлению продукционным процессом растений.

Для оказания помощи сельскохозяйственным товаропроизводителям в работе с данными, полученными при мониторинге угодий и позволяющими принять правильные решения по управлению агротехнологиями, выпускается целый ряд коммерческих продуктов. Например, зная расположение участков поля с большей или меньшей урожайностью, можно планировать программу внесения удобрений, для возврата в почву использованных элементов. На основании полученных данных можно сформировать карту рентабельности участков поля. Известны случаи, когда одна половина поля была рентабельной, а другая – убыточной. В таком случае следует принять решение о дальнейшем использовании «убыточных» участков. Возможно, внести поправки в систему севооборота, изменить агротехнологические приемы их возделывания или даже отказаться от обработки убыточных участков.

Краткий обзор данных, получаемых при мониторинге сельскохозяйственных угодий, показывает, что проведение мониторинга сопряжено со сбором, хранением, обработкой и анализом большого количества информации, привязанной к конкретным участкам земной поверхности. Современные информационные технологии позволяют в той или иной степени автоматизировать решение задач. Для этого информация должна быть организована особым образом.

Специальные ГИС-программы имеют широкие технические возможности не только в случае обработки полученной информации и построении карт урожайности, особенно при выявлении проблемных зон на регистрируемых участках поля, но и способны

осуществлять подготовку подробных отчетов о выполняемых на данном поле сельскохозяйственных работах. Несомненно, данная информация в настоящее время необходима как современному агроному, так и руководителю сельскохозяйственного предприятия для системного анализа, оценки рентабельности конкретных сельскохозяйственных площадей и выработки последующих решений не только по повышению урожайности и качества зерна, но и в целом по их использованию в дальнейшем.

В заключение следует отметить, что для дальнейшей интенсификации растениеводства нерационально просто увеличивать дозы удобрений и средств защиты растений. Интенсификация сельскохозяйственного производства становится невозможной без использования высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, которые невозможны без постоянного мониторинга сельскохозяйственных угодий и основанного на его результатах оперативного управления агротехнологиями.

Внедрение технологий координатного земледелия не только минимизирует вред, наносимый окружающей среде, но и выгодно с экономической точки зрения, так как позволяет собирать, обрабатывать и использовать больше информации и принимать более корректные решения, чем это было на предыдущих этапах развития растениеводства.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о геоинформационных системах в сельском хозяйстве.
2. Что собой представляют электронные карты полей?
3. Опишите структуру электронных карт.
4. В чем заключаются технологии создания электронных карт?
5. Какое оборудование необходимо для составления карты плодородия?
6. Как и для каких целей измеряется электрическое сопротивление почвы?
7. Как осуществляется оценка теплопроводности почвы?
8. Как проводится определение сопротивления пенетрации?
9. Какое оборудование устанавливается на комбайн для составления карт урожайности?
10. Для чего предназначен датчик измерения влажности в системе картирования урожайности?
11. Что представляет собой карта рентабельности поля?
12. Для каких целей предназначена компьютерная программа SMS Advanced?

7. ИНДЕКСЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ. ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

7.1. Общие сведения

В практике растениеводства широко используются оптические датчики, с помощью которых проводится оценка развития посевов (посадок) во время вегетации. Цели таких исследований могут быть разными: оценка неоднородности посева для обоснования сценариев применения технологий (*online* и *offline*) дифференцированных обработок, определение пятен развития болезней или распространения сорняков на поле, определение потенциального плодородия почвы и оценка биомассы посевов для прогнозирования урожайности.

Одной из важных задач координатного земледелия является составление пространственных карт плодородия почвы. Пространственные исследования плодородия почвы наземными методами с прямыми измерениями в поле, с отбором и анализом образцов очень трудозатратны, и в силу сильной гетерогенности почвенных свойств не всегда дают однозначные результаты. Поэтому для оценки вариабельности почвенного плодородия все чаще применяются косвенные методы, основанные на оценке состояния растительности во время вегетации. Карты вегетационных индексов и карты урожайности используются в дополнение к картам электропроводности почвы и агрохимических свойств. Совместный анализ информации этих карт позволяет осуществить комплексную оценку почвенного плодородия и на основе этого планировать дозы удобрений в точном земледелии, а также прогнозировать урожай с учётом метеоусловий текущего года. Многолетний мониторинг развития биомассы и учёт урожайности на фоне контролируемых условий производства и совместно с метеонаблюдениями открывает широкие возможности для создания динамических моделей продукционного процесса, что, в свою очередь, является основой для создания удобных и надёжных производственно-аналитических агрономических платформ.

Для оценки состояния растительности используется около 160 вариантов вегетационных индексов, основанных на измерении спектральной отражательной способности растений и почвы в разных диапазонах электромагнитного излучения (Черепанов, 2011).

Наиболее популярный и простой индекс – NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index* – вычисляется по формуле

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED}),$$

где ρ_{NIR} – коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра, ρ_{RED} – коэффициент отражения в красной области спектра. Диапазон абсолютных значений индекса NDVI лежит в интервале от -1 до $+1$. Для растительности индекс принимает положительные значения (примерно от $0,2$ до $0,9$), и чем больше зелёная фитомасса растений в момент измерения, тем значение NDVI ближе к единице.

Показатель NDVI не является абсолютной оценкой свойств растительности в момент измерения, но даёт представление об относительных значениях, которые на основании сопоставления с данными полевых прямых измерений могут быть пересчитаны в абсолютные единицы, характеризующие растительность: биомассу, содержание хлорофилла, площадь листовой поверхности и др.

Зависимость между этими параметрами и NDVI, как правило, не прямая и связана с особенностями исследуемой территории, ее климатическими и экологическими характеристиками, кроме этого, часто приходится учитывать временную задержку параметра и ответной реакции NDVI (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Пример расчета усредненных значений индекса NDVI
(информация с сайта <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>)

Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0,100	0,50	0,700
Разреженная растительность	0,100	0,30	0,500
Открытая почва	0,250	0,30	0,025
Облака	0,250	0,25	0,000
Снег и лед	0,375	0,35	- 0,050
Вода	0,020	0,01	- 0,250
Бетон, асфальт	0,300	0,10	- 0,500

7.2. Дистанционные и наземные методы измерения индекса NDVI

Технология дифференцированного внесения жидких и твердых минеральных удобрений, средств защиты растений – ключевой элемент координатного земледелия. Реализовать данную технологию с учетом неоднородности агрохимических свойств почвы можно путем применения сельскохозяйственной техники, оснащенной различными типами дистанционных сенсорных датчиков, устройствами контроля и управления процессом внесения.

К дистанционным методам оценки значения NDVI относятся спутниковая и аэрофотосъемка, к наземным – использование оптических датчиков непосредственно в поле. В дистанционных методах, как правило, используются пассивные датчики (камеры, фиксирующие отражение в разных спектрах), в наземных – помимо пассивных возможно использование активных датчиков с собственным источником излучения в заданном диапазоне. Разница всех используемых методов, в первую очередь, касается способа сбора информации о посевах, а именно, какую площадь и с какой разрешающей способностью можно оценить в единицу времени.

Спутниковые снимки – наиболее производительный способ сбора информации с точки зрения одномоментного охвата площади: один снимок покрывает площадь поверхности Земли в сотни и тысячи квадратных километров. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) со спутников применяется уже более 40 лет не только для распознавания растительных и нерастительных объектов, но и для относительной оценки состояния растительности по индексу NDVI. Первые научные публикации по данной тематике относятся к концу 60-х – началу 70-х годов XX в. (Sixth International Symposium on Remote Sensing..., 1969; Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium..., 1974).

Существенным ограничением спутниковой съемки являются атмосферные явления, которые влияют на качество снимка и распознавание оптической информации с него: облачность, тени от облаков, испарение влаги у поверхности земли. Этот недостаток на сегодняшний день преодолевается путём процедуры атмосферной коррекции, накопления многих снимков одной территории и обработкой композитного изображения. Вторым недостатком до недав-

него времени была низкая разрешающая способность снимков. Например, система Terra MODIS производит съёмку поверхности Земли с разрешающей способностью 250 м/пиксель с периодом съёмки 1-2 дня. Система Landsat имеет более высокую разрешающую способность снимков, 30 м/пиксель, но период между датами съёмки составляет 16 дней. Обе эти системы имеют ограничения в практике агрономического мониторинга посевов в динамике во время вегетации. Так, в Нечернозёмной зоне разрешающая способность системы MODIS не позволяет с необходимой точностью оценивать отдельные поля, так как их размеры и конфигурация сопоставимы с размерами пикселя снимка, а попадание пикселей на края поля существенно искажает среднее значение по полю за счёт «затягивания» на снимок поля соседних территорий. Согласно данным (Савин, 2015), такая ситуация типична для сельскохозяйственных полей Нечерноземья и более южных регионов: при идентификации отдельных пикселей точность получаемых результатов по оценке пашни и посевов невелика, и главной причиной этого является недостаточная пространственная разрешающая способность снимков.

Ограничением для использования более детальных снимков Landsat с целью агрономического мониторинга является слишком длинный период между отдельными датами съёмки. Период более двух недель, как правило, превышает сроки прохождения фенофаз культурами, поэтому проследить развитие посевов от фазы к фазе по данным снимкам весьма проблематично, тем более с учётом возможной выбраковки снимков из-за плохих метеоусловий в момент съёмки. Если по техническим причинам нет возможности получить для анализа серию снимков Landsat во времени, то отдельные спутниковые снимки полей могут быть использованы лишь как одномоментные обследования, по которым можно оценить пространственное варьирование и среднее значение вегетационного индекса и провести его сопоставление со среднесезонными наблюдениями для данной фазы развития культуры.

Несмотря на эти ограничения, анализу возможностей ДЗЗ-систем MODIS и Landsat для решения задач мониторинга в экологии, почвоведении, сельском и лесном хозяйстве посвящены сотни научных публикаций. По данным сайта <http://www.indexdata-base.de/> для MODIS (в период с 1992 г. по 2011 г.) указано 35 ссылок, для Landsat (1972-2011 гг.) – 81. Однако в этих работах рас-

смаатриваются достаточно большие сельскохозяйственные территории (на уровне районов или регионов), и даже если в работе описана неоднородность почвы и посевов, то это не относится к масштабу отдельного агрофитоценоза или поля, так как разрешающая способность снимков, как правило, не позволяет оценить вариабельность на малых расстояниях. Более детальные спутниковые снимки с высоким разрешением (2,5-6 м/пиксель) открывают больше возможностей для оценки внутривольной вариабельности АФЦ, но такие снимки лишь недавно появились в доступе и стоимость их приобретения на сегодняшний день достаточно высока.

Альтернативой дорогостоящей высокодетальной спутниковой съёмке является аэрофотосъёмка с беспилотных летательных аппаратов, которая в течение последних двух-трех лет стала доступной для сельскохозяйственных целей (Amato, 2014; The 7 Best Agricultural Drones on the Market Today, 2014; Васин, Железова, 2015). Аэрофотосъёмка в 10-1000 раз менее производительна, чем спутниковая съёмка, но в 10-100 тыс. раз более детальна. Максимальное покрытие одного снимка на местности составляет в зависимости от высоты полёта и модели бортовой камеры в среднем 5-10 га. Большие площади полей и агроландшафтов обследуют методом серии перекрывающихся снимков, с последующей обработкой в специализированных программах (например, Pix4D Mapper), при этом площадь перекрытия каждой пары снимков должна быть не менее 75%. Максимальная площадь одного обследования ограничивается продолжительностью полёта, которая зависит от технических характеристик летательного аппарата и для большинства лёгких сельскохозяйственных дронов не превышает 1 ч (обычно 25-40 мин) из-за необходимости смены аккумулятора. За один рабочий (световой) день с помощью одного дрона с запасом сменных аккумуляторов можно обследовать от 300 до 3000 га в зависимости от детальности съёмки и метеоусловий.

Преимуществами аэрофотосъёмки с помощью БПЛА над спутниковой съёмкой являются относительная дешевизна получаемых изображений, оперативность, высокая детальность (3-50 см/пиксель), возможность работы в облачную погоду, возможность проводить съёмку практически с любой периодичностью. На обработку материалов фотосъёмки в компьютерной программе требуется от нескольких минут до нескольких часов, в за-

висимости от количества и детальности снимков и мощности процессора вычислительной машины (так как огромный массив точек обрабатывается по типу *bigdata*).

Характерной общей чертой дистанционных обследований со спутников или БПЛА является использование пассивных датчиков (фотокамер), не имеющих активного источника излучения. Перспективно использование для этих целей гиперспектральных фотокамер, которые могут быть установлены на спутниковую систему, беспилотный аппарат или использоваться в наземном режиме. Гиперспектральные данные обладают высоким спектральным разрешением и по коэффициентам спектральной яркости позволяют определять в зеленых растениях содержание различных пигментов: хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов, антоцианинов (Деркачева с соавт., 2015). Также в последнее десятилетие начались исследовательские работы по применению коэффициентов отражения в разных длинах волн для определения распространения сорной растительности на полях (Dammer К-Н., 2007; Joshua Bushong, 2008). Несмотря на широкие открывающиеся перспективы гиперспектральной съемки, в настоящее время чаще всего для оценки растительности используется индекс NDVI.

Наиболее достоверный способ оценки NDVI – наземное обследование посевов оптическими датчиками с активным источником излучения. Преимущество такого обследования состоит в том, что измеряемые значения сразу высвечиваются на экране монитора, не требуют дополнительной обработки и ожидания результатов, т. е. по оперативности отдачи информации этот способ обследования самый быстрый. Вторым преимуществом является то, что работа датчиков с активным источником излучения не зависит от условий внешней освещенности.

Наряду с оптическими датчиками, имеющими активный источник излучения, существуют пассивные датчики. Их стоимость существенно ниже, но необходимое условие для работы с ними – хорошая равномерная освещенность посевов во время обследования. Недостатком оптических датчиков является низкая производительность и высокая себестоимость получения информации с больших площадей. Датчики монтируются на трактор (машину) и снимают посевы автоматически во время движения, отображая показатели на экране бортового компьютера и записывая в файл, одновременно

но с записью трека движения. При детальном обследовании поля происходит существенный расход топлива, так как необходимо осмотреть посевы по всей площади, двигаясь по полю «челноком» по технологическим колеям. Поэтому использование оптических датчиков на тракторах обычно проводится в режиме *online*, например, для внесения азотных подкормок: одновременно сканируют посев и непосредственно по результатам этого сканирования вносят подкормки в дифференцированных дозах в зависимости от развития биомассы посева. Пересчёт дозы удобрения на основе обследования фитомассы и внесение в расчётной дозе осуществляются автоматически во время движения трактора, с записью в бортовой компьютер трека движения, значений индексов и количества внесённого удобрения в каждой точке поля.

7.3. Оптические датчики для координатного земледелия

В настоящее время (по данным Povh & Anjos, 2014) несколько производителей из семи стран выпускают оптические датчики для обследования отражающей способности посевов.

Основное целевое назначение подобных оптических систем в растениеводстве – оптимизация расхода удобрений и пестицидов при внесении по технологии *online* на основе оперативной оценки вариабельности растительной массы посева. В мировой практике наибольшее распространение получили сенсорные датчики GreenSeeker, CropSpec, Miniveg N, N-Sensor, Grop-Sensor, N-Sensor Yara, Grop-Sensor ISARIA.

GreenSeeker® RT от «Trimble» (запатентованное название с 2009 г., прежнее название RT от NTech Industries) – датчик с активным источником света в красном и инфракрасном диапазонах, был разработан в 1990-х гг. в США и опробован в университете Оклахома на посевах бермудской травы, затем кукурузы и пшеницы для внесения азотных подкормок. Первые научные публикации о применении этого датчика для азотных подкормок относятся к 1999-2000 гг. (Raun et al., 1999; Raun et al., 2001), однако коммерческое название оборудования в этих публикациях не разглашается.

Начиная с 2005-2006 гг. датчик становится доступным для покупки: сначала с названием GreenSeeker N-Tech (N-Tech Industries), с 2009 г. – GreenSeeker RT (Trimble). С этого времени появляется

множество публикаций о преимуществах его использования при внесении азотных подкормок в дифференцированных дозах по технологии *online*, что позволяет более рационально расходовать азотные удобрения.

Принципиальная схема работы датчика и пример установки оптических головок (датчиков) на штангу опрыскивателя показаны на рис. 7.1, а пример карты распределения значений NDVI на посевах ячменя представлены на рис. 7.2.

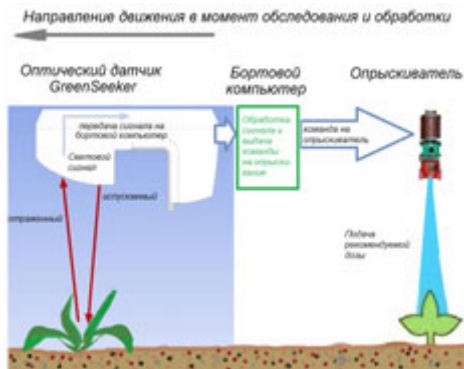


Рис. 7.1. Принципиальная схема работы прибора GreenSeeker (WeedSeeker) в комплекте с бортовым компьютером и опрыскивателем при внесении по технологии *online*. Справа – опрыскиватель с 40 головками WeedSeeker, подключены к собственной форсунке

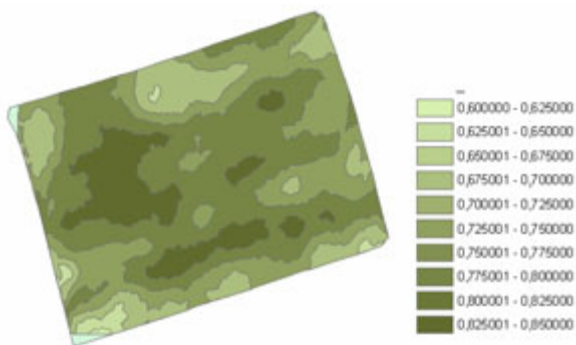


Рис. 7.2. Карта распределения значений NDVI на посевах ячменя в фазу колошения, построенная с помощью GreenSeeker® RT 200 на опытном поле РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Для экономии гербицидов при выборочном опрыскивании от сорняков используется подобный датчик с тем же принципом действия (коммерческое название WeedSeeker от «Trimble»). В этой технологии используются передовые оптические и компьютерные системы для обнаружения сорняков. Встроенные светодиоды сканируют поверхность поля в красном и инфракрасном диапазоне. Ширина сканирования одного сенсора составляет от 30 до 38 см. Отраженный от поверхности свет улавливается детектором, который находится в центральной части сенсора. При попадании сорняка в поле обзора датчика система сигнализирует форсунке о необходимости внесения необходимого количества гербицидов. Работает независимо от времени суток.

Применение фунгицидов в дифференцированных дозах также можно проводить на основании оценки индекса NDVI, так как он показывает уровень развития биомассы посева (или посадок).

Разработки оптической системы N-sensor также были начаты с 1990-х, первой коммерческой моделью был датчик Hydro N-Sensor, выпущенный в производство в 1999 г. Датчик фиксирует отражённый от растений свет в красном и инфракрасном диапазоне, т.е. является «пассивным», так как работает без собственного источника излучения, и лишь «ловит» отражение внешней освещённости, что значительно ограничивает возможности его работы.

Принципиальное отличие этого оборудования от GreenSeeker помимо источника света состоит в том, что система N-Sensor имеет встроенную базу данных по основным возделываемым культурам и рекомендуемым дозам азотных удобрений для них (разработка компании AgriCon на основании анализа данных полевых испытаний в Германии). С 2005 г. выпускается новая модель этого сенсора с активным источником света: Yara N-Sensor ALS (Active Light Source). По данным производителя (www.n-sensor.de), на март 2016 г. встроенная база данных этого прибора имеет 813 готовых сценариев: 727 по применению различных фунгицидов на разных культурах, 62 – по регуляторам роста, 23 – по внесению азотных подкормок на озимой и яровой пшенице, озимом и яровом ячмене, озимом рапсе и картофеле, один – по десикации.

Различия оптических систем GreenSeeker и N-Sensor (далее соответственно GS и NS) также касаются системы крепления на трактор, направления и ширины захвата луча активного источника.

Система GS имеет несколько головок, устанавливаемых на выносную штангу перед трактором или на стойку опрыскивателя позади трактора, ширина захвата луча одной головки менее 1 м, луч направлен вертикально вниз, перпендикулярно поверхности земли (см. рис. 7.1). Отдельно головку GS в комплекте с антенной также можно использовать в режиме ручного обследования (для этого необходим автономный источник питания). NS – это мостовая конструкция на крыше трактора, активные датчики расположены по двум концам «моста», четыре луча направляются в стороны от трактора под углом, вся система имеет ширину захвата 7,5+7,5 м в стороны от трактора со «слепой» зоной около 7 м по центру (рис. 7.3).

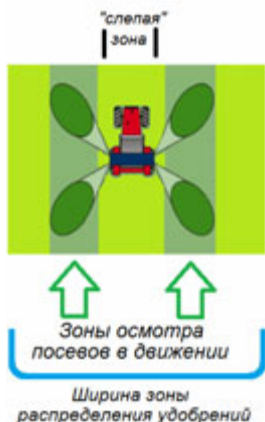


Рис. 7.3. Принципиальная схема обследования посевов оптическим датчиком N-Sensor Yara в комплекте с распределителем гранулированных удобрений Amazone для внесения по технологии online

Обе системы – GS и NS производят измерения импульсно, во время движения, при этом они совмещены с GPS-антеннами, что позволяет записывать координаты точек измерения во время движения и строить пространственные карты вегетационного индекса NDVI (у NS – карты относительной биомассы BI, рассчитанной на основе NDVI). Для прибора NS построение пространственных карт относительной биомассы и доз внесения азотных удобрений осуществляется через онлайн доступ на сайт [http://www. sensor-office.com/](http://www.sensor-office.com/) с сохранением в форматах *.pdf или *.kml/kmz; для

прибора GS – в портативном бортовом компьютере с сохранением в GIS-совместимом формате *.shp. Данные карты имеют, в первую очередь, практическое утилитарное назначение, так как используются для расчёта доз внесения азотных подкормок, но могут быть использованы и в научных целях (мониторинг нарастания биомассы, расчёт моделей продукционного процесса и связанных с ним потоков вещества и энергии в агрофитоценозах при разных технологиях возделывания культур, сравнение со спутниковыми снимками, с результатами аэрофотосъёмки для верификации дистанционных обследований по наземным измерениям).

В комплектацию YARA N-сенсора (фирма «Yara») входит программный пакет Precision Farming Box (PF-Box), позволяющий использовать программу управления сенсором параллельно с другими процессами, например, передача данных в центральный офис или сохранение и работа с данными. Агроном может использовать несколько опций программы, таких как переменное внесение азотных и комплексных удобрений, работа с регуляторами роста и десикация картофеля.

Программа работает в трех режимах на русском языке:

- *online* – ежесекундное измерение состояния растений (вариативное внесение азота);
- *offline* – обработка цифровых карт внесения удобрений (CaO, K, P, Mg);
- комбинированный режим – сверка цифровых карт полей и показаний сенсора.

Программа может быть подключена к внутренним сетевым ресурсам, к интернету, при использовании GPRS/UMTS-карты возможна передача данных на центральный компьютер, а также проведение сервисных и обучающих работ с помощью удалённого доступа. При этом трактор может работать в поле.

Сканер растительного покрова CropSpec (фирма «Topcon») позволяет оператору во время движения агрегата контролировать неоднородность растительного покрова, обеспечивать моментальное внесение удобрений или сохранять данные сканирования для последующих анализа, обработки, составления карт содержания азота в почве и внесения минеральных удобрений. Он состоит из двух сенсоров, установленных на крыше кабины для обеспечения оптимального угла обзора и максимальной ширины захвата. Сенсор при

помощи импульсных лазерных диодов ближнего инфракрасного диапазона измеряет сигнал, отраженный от растений и при помощи спектрального анализа определяет количество хлорофилла (рис. 7.4).



Рис. 7.4. Сканер растительного покрова CropSpec

Использование сенсорных датчиков обеспечивает также и дифференцированное внесение средств защиты растений. Система точного опрыскивания WEEDit Ag (фирма «Romatron») позволяет опрыскивать только сорняки, уменьшая затраты на сплошную химическую прополку, время обработки и трудозатраты, снижая негативное влияние на окружающую среду. Система оснащена сенсорами, расположенными на расстоянии 1 м друг от друга и излучающими красный свет. Сенсор имеет пять «глаз», каждый из которых контролирует одну форсунку с шириной захвата 20 см. При движении агрегата по полю сенсоры распознают хлорофилл в листьях сорных растений, после чего производится точечное опрыскивание: открываются только те форсунки, в зоне которых обнаружены сорняки.

Помимо указанных способов обследования посевов существуют также портативные датчики для бесконтактных измерений показателей травостоя и контактных для работы с индивидуальными растениями. К портативным приборам относятся оптические датчики типа GreenSeeker Handheld от «Trimble» (рис. 7.5) и Yara N-Tester™ (рис. 7.6), с помощью которых проводят листовую диагностику потребности зерновых в азотных подкормках. Оба датчика имеют цифровой экран, на котором высвечиваются средние значения по серии нескольких измерений.

Датчики не оборудованы встроенными антеннами и запоминающими устройствами, поэтому показатели с них необходимо записывать вручную. Датчик N-Tester (далее – NT) также имеет активный источник излучения и ответное принимающее окно, но измеряет не отраженный от листа оптический сигнал, а сигнал после прохождения через листовую пластинку. Для этого лист растения помещают в прижимное устройство датчика и просвечивают насквозь (рис. 7.6). Измерения проводятся по 30-32 листьям, прибор рассчитывает среднее значение: это безразмерный показатель, аналог NDVI, вычисляемый по разнице испускаемого и поглощаемого после прохождения листа сигналов (диапазон показаний прибора от 0 до 999, что условно сопоставляется с диапазоном NDVI от 0,000 до 0,999).



Рис. 7.5. Оптический датчик GreenSeeker Handheld, ручные измерения NDVI посева



Рис. 7.6. Оптический датчик Yara N-Tester™. Измерение по листу

Для обследования посевов в динамике в течение сезона необходимо проводить периодическое сканирование посевов оптическими датчиками GS, NS, обследование датчиком NT. Периодичность обследования посевов во время вегетации зависит от целей исследования. Так, по данным Центра точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, для оценки динамики изменения растительности по индексу NDVI необходимо проводить съёмку не реже одного раза в семь-десять дней, такую же рекомендацию дают другие исследователи (Савин, 2015). С практическими

целями на посевах озимых зерновых необходимо проводить обследование перед применением азотных подкормок для определения рекомендуемой дозы азота, для этого подходят все три датчика: GreenSeeker, N-Sensor, N-Tester. Расчёт доз азотного удобрения для подкормки проводят согласно калибровочным таблицам данных приборов и на основании экспертной оценки агронома под планируемую урожайность зерновых.

7.4. Пространственно-временная оценка NDVI в координатном земледелии

Для создания файлов-предписания по внесению азотной подкормки необходима оперативная оценка пространственного распределения NDVI посева. В данном случае не важно, каким способом получена информация для построения карты NDVI: наземным или дистанционным, пассивным датчиком или активным. Главное требование (ограничение) к таким данным – на снимках должны отсутствовать помехи (пятна) от облаков или тени облаков на поверхности земли. Поэтому для спутниковых снимков следует использовать изображения, полученные в безоблачную погоду, а для снимков с БПЛА лучшие результаты получаются в условиях не очень плотной, но «беспроектной» облачности, при совершении полёта на небольшой высоте под облаками. Для оптических датчиков с активным источником излучения не имеют значения условия освещенности в момент съёмки. Разрешающая способность снимков для создания файлов предписания должна быть такой, чтобы размер пикселя изображения был не меньше ширины, на которой работает распределитель удобрений. В случае высокодетальной съёмки с размером пикселя менее 1 м изображения необходимо заглублять с применением процедуры скользящего окна (размер окна выбирается с учетом внутрипольной неоднородности посева и в идеале должен соответствовать ширине захвата распределителя удобрений или опрыскивателя). Обследования посевов оптически датчиками для создания файлов предписания проводятся в фазы, когда необходима обработка посевов: подкормка или внесение пестицидов согласно технологической карте возделывания. Мониторинг сезонной динамики NDVI позволяет оценить состояние посевов во время вегетации, скорость прироста биомассы, спрогнози-

ровать урожайность и возможные потери от форс-мажорных обстоятельств на поле (вспышка численности вредителей, полегание и др.).

Для осуществления мониторинга необходимо проводить обследование посевов оптическими датчиками с периодичностью не реже одного раза в 10-15 дней.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключаются дистанционные методы наблюдения за продукционным процессом в растениеводстве? 2. Что представляет собой индекс NDVI и для чего он рассчитывается? 3. На каких принципах основана работа сенсорных датчиков в системе координатного земледелия? 4. Какие приборы применяются для оценки индекса NDVI в системе координатного земледелия? 5. Расскажите о принципиальной схеме обследования посевов оптическим датчиком N-Sensor Yara. 6. Как работает оптический датчик N-Sensor Yara в комплекте с распределителем гранулированных удобрений в режиме *online*? 7. Что представляют собой портативные датчики для бесконтактных измерений показателей травостоя и как они работают? 8. Для чего нужна пространственно-временная оценка NDVI в координатном (точном) земледелии?

8. ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

8.1. Общие сведения

Важнейший компонент системы координатного земледелия – дифференцированное внесение удобрений и средств химической защиты растений (пестицидов) в зависимости от состояния культурных растений, наличия сорняков на отдельных участках поля.

При традиционной системе земледелия, даже при достаточно точном и обоснованном расчете необходимых доз применяемых агрохимикатов, всё равно отмечается их значительный перерасход, что, как уже отмечалось, не только экономически невыгодно, но и создает реальную опасность загрязнения окружающей среды.

С другой стороны, агрохимический анализ почвы, которую брали на участках с различной урожайностью, показал в пробах значительные отклонения по содержанию азота, фосфора и калия, несмотря на то, что минеральные удобрения вносились достаточно равномерно. Это связано, в первую очередь, с неоднородностью почвенного плодородия, что отмечается, например, в Северо-Западном регионе и Нечерноземной зоне России. Все это является следствием того, что растения поглощают не только вещества, вносимые при выращивании данной (сегодняшней) культуры, но и накопленные ранее в почве. При этом сама биологическая потребность растения в питании на том или ином участке поля может быть разной в зависимости от освещенности, влажности почвы, наличия сорняков и т.д.

Следовательно, при внесении постоянной дозы удобрений нельзя добиться оптимизации питания всех растений. Поэтому удобрения нужно вносить в почву дифференцированно, с учетом количества ранее накопленных в ней основных питательных веществ и ряда других характеристик конкретного участка поля. Еще большую изобретательность и гибкий подход к расчету доз нужно проявлять при борьбе с сорняками, вредителями и болезнями растений.

Внесение удобрений по технологии точного земледелия проводится дифференцированно, т. е., условно говоря, на каждый квадратный метр вносится столько удобрений, сколько необходимо именно здесь (на данном элементарном участке поля). Внесение

проводится в двух режимах – offline и online. Дифференцированное внесение минеральных удобрений является одним из ключевых элементов точного земледелия.

8.2. Режим дифференцированного внесения offline

Режим offline предусматривает предварительную подготовку на стационарном компьютере карты-задания, в которой содержатся пространственно привязанные с помощью ГНСС, дозы удобрения для каждого элементарного участка поля. Для этого осуществляется сбор пространственно привязанных данных о границах поля и контурах неоднородности свойств. Проводится расчёт дозы для каждого элементарного участка поля, тем самым формируется (в специальной программе) карта-задание, которая затем переносится на флеш-карте (или другом носителе информации) на бортовой компьютер, оснащённый ГНСС-приёмником и управляющий контроллером сельскохозяйственной техники. Трактор, оснащенный бортовым компьютером, двигаясь по полю, с помощью ГНСС-приемника определяет свое местонахождение, считывает с карты дозу удобрений, соответствующую месту нахождения и посылает сигнал на контроллер распределителя удобрений (или опрыскивателя). Контроллер, получив сигнал, выставляет на распределителе удобрений нужную дозу (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Бортовые компьютеры и контроллер в кабине трактора

Дифференциальное внесение минеральных удобрений – одно из важнейших экономических и экологических аспектов точного земледелия. Применение данной технологии и оборудования позволяет значительно сократить затраты на удобрения, т.е. вносить их в зависимости от потребности культурных растений, а также обеспечивает оптимальное содержание питательных веществ в почве.

На рис. 8.2 представлена карта-задание для внесения азота на поле озимой пшеницы. Светло-голубой фон – зоны внесения стандартной дозы 70 кг/га азота, синий – повышение дозы до 80 кг/га, темно-синий – доза выше 80 кг/га. При сопоставлении карт видно, что по посевам с хорошей биомассой доза внесения азота составляет стандартную заданную величину 70 кг/га. Темно-синие пятна показывают, что на эти места было внесено азота из расчета более 80 кг/га с целью выравнивания биомассы посева. Наибольший интерес представляет участок поля с исторически низкой урожайностью, где был осуществлен третий сценарий внесения удобрений. Здесь, в связи с неудовлетворительным состоянием посевов, была значительно снижена доза азота.

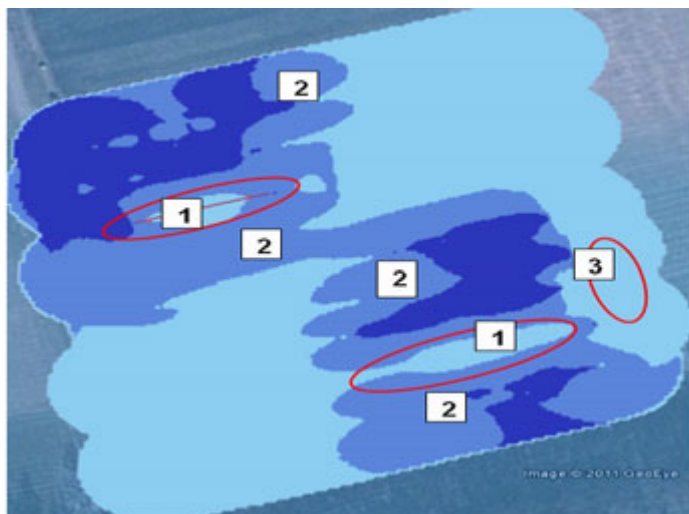


Рис. 8.2. Карта-задание доз внесения азота по технологии online

8.3. Дифференцированное внесение в режиме реального времени (режим online)

Режим реального времени (online) предполагает предварительное проведение калибровки непосредственно на посевах перед выполнением операции, а доза удобрений определяется во время работы агрегата при его движении по полю. Калибровка, в данном случае – это количественная зависимость дозы удобрения от показаний датчика, установленного на сельскохозяйственной технике, выполняющей операцию. Одним из таких датчиков является Hydro-N-Sensor производства фирмы Yara[®], который в инфракрасном и красном диапазонах излучения определяет содержание хлорофилла в листьях и по этим показателям рассчитывает относительную биомассу.

На основании этих данных, а также данных по сорту и фазе развития (фенофазе) растения определяется доза азотных удобрений. Помимо использования N-сенсора (Hydro-N-Sensor) также используется портативный прибор N-Tester, определяющий азотный статус растения и позволяющий рассчитать рекомендуемую дозу внесения удобрений по калибровочным таблицам для разных сортов. Результаты выполнения операции внесения удобрений online (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия исполнителя) записываются на чип-карту.

В режиме online бортовой компьютер получает данные от датчика, сравнивает их с определенными и записанными в память значениями, полученными во время калибровки, и посылает сигнал на контроллер по той же схеме, что и в режиме offline. В настоящее время активно ведутся разработки различных датчиков, позволяющих использовать режим online. Это оптические датчики, работающие в диапазонах разных длин волн, определяющие содержание азота в листьях, засоренность посевов, а также развитие болезней посевов. Отмечается колоссальная польза совместного использования сенсоров и систем навигации при разбрасывании и опрыскивании. В отличие от посева и почвообработки, где заметна обработанная площадь, на этих операциях механизатору ориентироваться на предыдущие проходы значительно сложнее.

Наиболее эффективно применение оптических датчиков при дифференцированном внесении гербицидов по пару, при котором

наблюдается значительное сокращение доз внесения агрохимикатов, а следовательно, снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

8.4. Оборудование для дифференцированного внесения

Как уже отмечалось, навигационное оборудование разрабатывалось для параллельного вождения (исключение пропусков и перекрытий), т.е. основная экономия происходит именно на данном этапе. Так, в ходе работы традиционным (глазомерным) способом было выявлено, что при внесении минеральных удобрений и обработке посевов средствами защиты растений, ввиду отсутствия маркеров на разбрасывателях и опрыскивателях, получены следующие данные: на 11% площади поля были перекрытия, т.е. на этих участках была внесена двойная норма минеральных удобрений и средств защиты растений, посевы на этих участках были угнетенными, либо получили ожог (на 4% площади поля). Там, где были допущены пропуски, урожайность была ниже, чем на нормально обработанных участках, т.е. на 15% площади поля не была соблюдена норма внесения и недополучена прибыль. Необходимо отметить, что при использовании систем автоматического вождения происходит повышение рабочей скорости на 13-20% за счет концентрации тракториста только на технологическом процессе.

В Центре точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева для сканирования посевов используют оптический датчик RT-200 GreenSeeker® (США) (рис. 8.3) и N-Sensor® ALS (Германия) (рис. 8.4).

Особенно важно использование сенсорных датчиков при внесении азотных удобрений в виде подкормок, применение которых является решающим фактором для получения высоких урожаев и улучшения качества сельхозпродукции. Равномерное по площади внесение удобрений при неоднородном составе питательных веществ в почве приводит к их локальной передозировке или недостаточности. Следовательно, удобрения необходимо вносить в соответствии с потребностями растений, что обеспечивает оптимальную эффективность их использования.



Рис. 8.3 Система RT-200 GreenSeeker® в работе



Рис. 8.4 Сканирующая система Yara N-Sensor® ALS, установленная на крыше кабины трактора

Среди систем контроля и управления процессом внесения известна система Field-IQ (компания «Trimble»), которая позволяет одновременно управлять нормами внесения до шести различных материалов, включая семена, гранулированные семена, гранулированные удобрения, жидкости и безводный аммиак в различных комбинациях. Для самоходных опрыскивателей в систему Field-IQ добавлена функция контроля высоты штанги, с помощью которой можно регулировать высоту штанг ультразвуковыми датчиками, измеряющими расстояние до земли или растительного покрова для равномерного внесения материала.

Система контроля высоты штанг Norac UC5 (фирма «Norac») с помощью пяти ультразвуковых датчиков и гидравлических приспособлений, путем мониторинга рельефа земли или поверхности урожая, поддерживает постоянную высоту штанг. Управление секциями штанги осуществляется с помощью бортового компьютера, который запоминает траекторию движения техники и при помощи выключения различных секций штанги не допускает дублирования внесения материалов на пройденных участках.

Функция автоматического включения/выключения секций AutoSwath в системе управления DirectCommand (фирма «Ag Leader Technology»), используя сигнал с расходомера и данные о скорости с GPS приемника, контролирует, регулирует и записывает операции на поле, основанные на нормах внесения, выставленных вручную, или с использованием дифференциальной нормы внесения из файла предписания.

Совместно с системой автоматического вождения AutoTrac Assisted Steering система Swath Control Pro (фирма «John Deere») автоматически включает и выключает отдельные секции штанги и распылители на поворотных полосах, водоотводах и других ранее обработанных участках, обеспечивая снижение нагрузки на оператора и сокращение производственных расходов.

Система Swath Manager (фирма «TeeJet») позволяет автоматически управлять секциями штанги до десяти секций и сохранять информацию об уже обработанных участках.

Как правило, функция автоматического включения/выключения секций штанги идет как дополнительная опция к уже установленному навигатору или автопилоту.

Применение на машинах для внесения удобрений и средств защиты растений компьютерных систем автоматизированного контроля и управления позволяет минимизировать пропуски и двойное внесение; осуществлять контроль технологических параметров и неисправностей рабочих органов; увеличить коэффициент загрузки техники благодаря возможности работы ночью или в условиях плохой видимости (пыль, туман); способствует снижению неблагоприятного воздействия на окружающую среду, меньшей утомляемости оператора, экономии рабочего времени (рис. 8.5).



Рис. 8.5. Опрыскивание картофеля на поле Центра точного земледелия РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева

Система сенсорных форсунок AmaSpot для опрыскивателей – инновация, разработанная компанией «AMAZONEN-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG» в содружестве с компаниями «Rometron» и «Agrotop», позволяет применять технологию дифференцированного внесения агрохимикатов и дает возможность экономить до 80% пестицидов, а следовательно, получать более экологически чистую и безопасную сельскохозяйственную продукцию. В данную систему входят новые форсунки, работающие по принципу широтно-импульсной модуляции, которые очень быстро открываются и закрываются, благодаря чему внесение средств защиты растений выполняется с точностью до одного сантиметра даже на высоких рабочих скоростях (до 20 км/ч). На штангах опрыскивателя устанавливаются инфракрасные датчики GreenSense, с помощью которых вся поверхность поля обследуется на наличие зеленых растений.

Защите окружающей среды способствует также система внесения питательных веществ Connected Crop Protection and Chemical Application Manager – совместная разработка компаний «John Deere» и «BASF SE» (в сотрудничестве с ZEPP, KTBL, JKI, isip). Сочетание комплексной системы защиты посевов Connected Crop Protection и системы контроля применения химических веществ Chemical Application Manager представляет собой решение с удобным управлением, которое помогает планировать применение необходимых веществ и использовать их в точно определенных количествах. Система предоставляет доступ к нормативной докумен-

тации, дает рекомендации по вопросам дозировок и распыления, учитывая при этом буферные зоны. Данные передаются в универсальном открытом формате ISO-XML, который позволяет встраивать в новую систему дополнительные приложения.

Система VoomSight для автоматического управления штангой опрыскивателя от компании «Horsch» включает в себя лазерный сканер, установленный на крыше кабины, который сканирует местность впереди и сбоку от машины, полностью охватывая обрабатываемый участок по ширине. Полученные данные используются для построения модели поверхности. Также в этой системе впервые присутствует функция предварительной регулировки штанги, благодаря этому ее отклонение от установленных по умолчанию настроек будет минимальным. Во время работы модель поверхности используется для регулировки высоты и положения штанги, что позволяет с высокой надежностью обнаруживать препятствия на поле. Затем система определяет, достаточно ли поднятия штанги или необходимо задействовать тормоз.

Мировой опыт показывает, что для дальнейшей интенсификации растениеводства нерационально просто увеличивать дозы удобрений и средств защиты растений. Интенсификация сельскохозяйственного производства невозможна без использования высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, которые требуют постоянного мониторинга сельскохозяйственных угодий и основанного на его результатах оперативного управления агротехнологиями. Это не только минимизирует вред, наносимый окружающей среде, но и выгодно с экономической точки зрения, так как позволяет собирать, обрабатывать и использовать больше информации и принимать более корректные решения, чем это было на предыдущих этапах развития растениеводства.

Контрольные вопросы и задания

1. Что подразумевается под дифференцированным внесением удобрений и средств химической защиты? 2. В чем отличия режимов offline и online при внесении удобрений и средств защиты растений? 3. Какое оборудование необходимо для проведения дифференцированного внесения? 4. Почему эффективно дифференцированное внесение гербицидов по пару? 5. Какова примерная эффективность традиционного и дифференцированного применения удобрений на проблемных участках?

9. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В КООРДИНАТНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

В декабре 2011 г. при Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А.Тимирязева (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) для проведения технической экспертизы и разработки нормативно-технической документации (стандартов) в области радионавигационных средств и геоинформационных технологий на базе глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС для сельского хозяйства Российской Федерации создан, а в марте 2012 г. утвержден Подкомитет (ПК8) «Радионавигационные средства и системы управления в сельском хозяйстве», вошедший в состав Технического комитета ТК363 «Радионавигация» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

Руководителем подкомитета был назначен заведующий кафедрой механизации растениеводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, д-р техн. наук, профессор В.И. Балабанов.

Областями деятельности ПК8 определены следующие направления: 33.060.01 – Радиосвязь, 33.100.01 – Электромагнитная совместимость, 35.020 – Информационные технологии (включая общие аспекты информационно-технологического оборудования), 35.240.01 – Применение информационных технологий, 43.020 – Дорожно-транспортные средства (включая испытания и рециклинг дорожно-транспортных средств, дорожный транспорт), 43.040.01 – Системы дорожно-транспортных средств, 65.020.01 – Земледелие и лесоводство, 65.060.01 – Сельскохозяйственные машины и оборудование.

Основной задачей подкомитета определена разработка национальных стандартов и руководящих документов, регламентирующих требования к бортовому оборудованию, системам диспетчерского управления, автоматизированным системам управления сельскохозяйственной техникой на базе системы ГЛОНАСС, включающим в себя системы автоматического и параллельного вождения, системы управления агрегатами сельскохозяйственной техники и подключаемого оборудования, интерфейсным протоколам взаимодействия, картографирования, а также требованиям к системам информационного сопровождения и мониторинга сельскохо-

зайственной техники и технологиям координатного (точного) земледелия.

В дополнительные функции и компетенции подкомитета входят следующие вопросы:

- анализ работы зарубежных систем, обозначение их достоинств и недостатков, эффекта от использования (рис. 9.1);



Рис. 9.1. Декан факультета «Процессы и машины в агробизнесе» (ПРИМА), д-р техн. наук, проф. В.И. Балабанов знакомит студентов с навигационным оборудованием StarFire компании «John Deere»

- анализ возможности доработки существующих и создания новых высокоточных навигационных решений в интересах сельского хозяйства на базе отечественной глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС;

- анализ возможности доработки существующей и создания новой радиоэлектронной базы для решения задач получения информации с различных агрегатов сельхозтехники, зондирования состояния биомассы и почвы, отслеживания хода выполнения работ;

- анализ возможности доработки существующих и создания новых высокоточных элементов (исполнительных устройств) автоматизированных систем управления, а также их интеграции в сельскохозяйственную технику;

- анализ возможности доработки существующих и создания новых интеллектуальных бортовых систем (контроллеры, компьютеры);
- анализ возможности создания программного обеспечения и ГИС-систем для комплексных интегрированных систем (ПО для бортовой системы, диспетчерского пункта и т.д.), используемых для решения сельскохозяйственных задач;
- оценка возможности продвижения комплексной интеллектуальной системы на базе ГЛОНАСС на российский рынок.

К настоящему времени сформирована организационная структура подкомитета, состоящая из представителей НИИ, вузов, производителей сельскохозяйственной техники и навигационного оборудования, а также передовых сельскохозяйственных предприятий, использующих навигацию в своей хозяйственной деятельности.

В ПК8 входят следующие организации: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева; ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению АПК» («Росинформагротех»), ГНУ «Всероссийский институт механизации сельского хозяйства» (ВИМ), Ассоциация «ГЛОНАСС/ГНСС Форум», НИИ «Прикладной телематики», СП «Руснавгеосеть», Ассоциация испытателей сельскохозяйственной техники (АИСТ) и ФГБУ «Поволжская МИС», ООО «Фарватер», ЗАО КБ «Навис», ЗАО «Инженерный центр «ГЕОМИР», ОАО «Научно-исследовательский институт микроэлектронной аппаратуры «Прогресс» (НИИМА «Прогресс»), ООО «Навтелеком», ООО «Амазоне» и ООО «Консультант Агро».

Подкомитетом подготовлены, прошли утверждение и введены в действие четыре национальных стандарта:

ГОСТ Р 56084-2014. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Термины и определения (введен 01.03.2015);

ГОСТ Р 56054-2014. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Назначение, состав и характеристики бортового навигационно-связного оборудования телематических систем мониторинга и диспетчеризации сельскохозяйственной техники (введен 01.01.2015);

ГОСТ Р 56412-2015. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Общие требования (введен 01.01.2016);

ГОСТ Р 56538-2015. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Классификация систем (введен 01.01.2016).

В стандарте ГОСТ Р 56084-2014 даны базовые понятия и определения, устанавливаемые к применению в производстве и внедрении навигационных модулей, навигационной аппаратуры потребителей, программно-технических комплексов систем навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия.

В стандарте ГОСТ Р 56054-2014, в соответствии с названием, приведены назначение, состав и характеристики бортового навигационно-связного оборудования телематических систем мониторинга и диспетчеризации сельскохозяйственной техники.

В стандарте ГОСТ Р 56412-2015 установлены основные положения по назначению, классификационным признакам видов, функциям, составу, структуре, созданию, развитию, поставке, функционированию и взаимодействию систем навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия.

Стандарт ГОСТ Р 56538-2015 устанавливает классификацию систем навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия, создаваемую на основе применения глобальной навигационной спутниковой системы Российской Федерации (ГЛОНАСС).

В общей сложности на период до 2021 г. запланирована разработка и ввод в действие комплекса, состоящего из 14 национальных стандартов (табл. 9.1).

К 2022 г. планируется разработка и ввод в действие уточненного национального стандарта ГОСТ Р 56084-2014, так как в связи интенсивным развитием данного научно-практического направления за этот период появятся новые термины и определения, а также может измениться их толкование, что потребует внесения изменений.

Таблица 9.1

**Наименования и сроки введения национальных стандартов
по координатному земледелию**

Группа	Наименование	Дата ввода
1	2	3
Основополагающие стандарты	ГОСТ Р 56084-2014. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Термины и определения	01.03.2015
	ГОСТ Р 56412-2015. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Общие требования	01.01.2016
	ГОСТ Р 56538-2015. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Классификация систем	01.01.2016
Оборудование систем	ГОСТ Р 56054-2014. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Назначение, состав и характеристики бортового навигационно-связного оборудования телематических систем мониторинга и диспетчеризации сельскохозяйственной техники	01.01.2015
Системы автоматизированного управления движением	Требования к функциям и задачам, решаемым системами автоматизированного управления движением сельскохозяйственной техники	2017
	Назначение, состав и характеристики программно-технических комплексов систем автоматизированного управления движением сельскохозяйственной техники	2017
Телематические системы	Требования к функциям и задачам, решаемым телематическими системами мониторинга и диспетчеризации сельскохозяйственной техники	2018
	Назначение, состав и характеристики программно-технических комплексов телематических систем мониторинга и диспетчеризации сельскохозяйственной техники	2018

Группа	Наименование	Дата ввода
1	2	3
Системы автоматизированного управления механизированными процессами	Требования к функциям и задачам, решаемым системами автоматизированного управления механизированными процессами	2019
	Назначение, состав и характеристики программно-технических комплексов систем автоматизированного управления механизированными процессами	2019
Системы мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения	Требования к функциям и задачам, решаемым системами мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения	2020
	Назначение, состав и характеристики программно-технических комплексов систем мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения	2021
Информационно-аналитические системы проектирования технологий координатного земледелия	Требования к функциям и задачам, решаемым информационно-аналитическими системами проектирования технологий координатного земледелия	2021
	Назначение, состав и характеристики программно-технических комплексов информационно-аналитических систем проектирования технологий координатного земледелия	2021
Основополагающие стандарты	ГОСТ Р 56084-2014. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Термины и определения (уточнение)	2022

Разрабатываемые национальные стандарты Российской Федерации гармонизированы с существующими и разрабатываемыми международными стандартами ISO/IEC, в том числе со стандартами TC23 (*Tractors and machinery for agriculture and forestry*) / SC 19 (*Agricultural electronics*).

Отработка основных технологий координатного земледелия и положений нормативной документации ведутся в Центре точного земледелия Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени

К.А. Тимирязева, в том числе в рамках соглашения о сотрудничестве с «Ассоциацией разработчиков, производителей и потребителей оборудования и приложений на основе глобальных навигационных спутниковых систем «ГЛОНАСС/ ГНСС-Форум» в сфере развития и использования спутниковых навигационных технологий системы ГЛОНАСС в сельском хозяйстве, а также на производственной и научной базе других членов подкомитета ПК8 «Радионавигационные средства и системы управления в сельском хозяйстве».

Контрольные вопросы и задания

1. Для чего необходима стандартизация в координатном земледелии?
2. Каким органом разрабатываются национальные стандарты по координатному земледелию?
3. Какие задачи решаются при разработке национальных и международных стандартов в области координатного земледелия?
4. Что входит в сферу деятельности подкомитета по стандартизации?
5. Какие дополнительные функции и компетенции входят в обязанности разработчика национальных стандартов?
6. Какие стандарты в области координатного земледелия уже разработаны и какие будут разработаны в ближайшее время?
7. В согласовании с какой зарубежной нормативной документацией разрабатываются отечественные стандарты в области координатного земледелия?
8. На каких площадках осуществляется отработка основных положений нормативной документации по координатному земледелию?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бурное развитие информационных технологий на основе инновационных достижений в области кибернетических, оптических и сенсорных систем, лазерной и компьютерной техники, спутниковых навигационных систем, датчиков различного назначения и средств беспроводной связи, систем математического анализа и программного обеспечения позволило разработать системные решения, которые связывают все элементы комплекса машин сельскохозяйственного предприятия в единое целое, позволяя осуществлять управление целыми технологическими цепочками в автоматическом режиме с оптимальными рабочими параметрами и с учетом информационных взаимосвязей между элементами системы. В результате значительно повышается уровень контроля за выполнением технологических операций на предприятии и качеством производимой сельскохозяйственной продукции, резко возрастает производительность труда и сокращаются производственные затраты, обеспечивается ресурсосбережение и экологическая безопасность. Все это в конечном итоге обеспечивает устойчивую и эффективную работу сельскохозяйственного предприятия и его конкурентоспособность [2].

Разработка и внедрение новых высокотехнологичных методов ведения сельского хозяйства, основанных на применении современных навигационных технологий, средств связи и компьютеризации, а также автоматизации и роботизации сельскохозяйственного производства способствует не только повышению плодородия почв и получению стабильных урожаев при оптимальных затратах, но и выходу всего агропромышленного комплекса страны на новый инновационный путь развития, без чего невозможно обеспечение продовольственной безопасности нашей страны.

Навигационные технологии на базе отечественной ГНСС ГЛОНАСС являются одним из катализаторов инновационных процессов и ускоренного развития многих отраслей экономики Российской Федерации и способствуют созданию необходимой инфраструктуры для развития малого и среднего бизнеса, создают новые рабочие места и способствует технологическому росту отечественного агропромышленного комплекса.

Координатное или точное земледелие – это не только качественно новая система земледелия, но и новая стратегия ведения сельскохозяйственного производства, которая использует информационные технологии, извлекая данные из множества различных источников, обеспечивая принятие оптимальных решений по управлению сельскохозяйственным предприятием.

Ключевыми элементами ее успешного внедрения являются: использование ГНСС ГЛОНАСС с непосредственным вводом информации в бортовой компьютер с сельскохозяйственных машин; использование ГИС; составление специальных многослойных электронных карт, с помощью которых создается компьютерная модель хозяйства, позволяющая оперативно производить расчеты, упорядочивать информацию о сельскохозяйственном производстве, формировать отчеты и задания, ставить виртуальные эксперименты для принятия оптимальных управленческих решений; автоматическое вождение сельскохозяйственных агрегатов на базе навигационных спутниковых систем, обеспечивающих точность технологических операций (посев, обработка, уборка) с учетом особенности рельефа и т.д.; оценка состояния почвы и растительного покрова каждого конкретного участка поля с использованием специального оборудования (датчики, определяющие состояние почвы и содержание в ней минеральных веществ, автоматические почвенные пробоотборники, ГНСС-приемники, специальное программное обеспечение для планирования и фиксации точек взятия проб), корректировка норм посева, доз внесения удобрений и средств защиты растений по потребностям на каждом конкретном участке обрабатываемого поля.

Результаты и эффективность внедрения координатного земледелия в России в значительной степени зависят от создания и поставки на серийное производство отечественных машин, оборудованных электронным оборудованием, а также от развития отечественной спутниковой системы дистанционного позиционирования и навигации ГЛОНАСС, разработки и выпуска российского аппаратного и программного обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 АгроГИС – инновационный инструмент для принятия бизнес-решений в растениеводстве [Электронный ресурс]. URL: [http:// agrobiznes.ru/agro/544558](http://agrobiznes.ru/agro/544558) (дата обращения: 28.04.2016).

2. Агротехнологии [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 27.04.2016).

3. **Антонович К.М.** Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. – Т. 2. – М., 2005.

4. **Балабанов В.И.** Навигационные системы в сельском хозяйстве. Координатное земледелие: учеб. пос. / В.И. Балабанов, С.В Железова, Е.В. Березовский, А.И. Беленков, В.В. Егоров. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. – 143 с.

5. **Балабанов В.И.** Нужно заново учиться работать на селе // Новое сел. хоз-во. – № 4. – М., 2010. – С. 56-57.

6. **Балабанов В.И., Березовский Е.В.** Технологии точного земледелия и опыт их применения в Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева // Вестник ГЛОНАСС. – 2011. – № 2. – С. 56-68.

7. **Баутин В.М.** Центр точного земледелия – основной элемент инновационной инфраструктуры РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Ресурсосберегающее земледелие. – 2009. – № 2. – С. 49-50.

8. **Баутин В.М., Балабанов В.И., Березовский Е.В.** Умные кадры для «умных ферм» // Вестник ГЛОНАСС. – 2012. – № 1. – С. 41-44.

9. **Генике А.А., Побединский Г.Г.** Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Картогеоцентр, 2004.

10. Глобальная спутниковая навигационная система ГЛОНАСС// Интерфейсный контрольный документ. Редакция 5.0. – М., 2002.

11. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб и доп. – М.: Радиотехника, 2010.

12. **Васин К.В., Железова С.В.** Перспективы использования беспилотной аэрофотосъемки в точном земледелии / Матер. X Междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука – сельскому хозяйству»: сб. статей. – Кн. 2. – Барнаул: РИО АГАУ, 2015. – С. 41-43.

13. **Воронков В., Ефимов Н., Тянь Т.** Электронная карта – излишество или необходимость? // Новое сел. хоз-во, 2005. – № 5. – С. 32-36.

14. **Воронков В.Н., Шишов С.А.** Современные технологии и оборудование для наземного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 39 с.

15. ГИС услуга от компании ЦентрПрограммСистем для сельскохозяйственных предприятий [Электронный ресурс]. URL: <http://agritechnology.ru> (дата обращения: 27.04.2016).

16. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М.: Стандартинформ, 2013. – 23 с.

17. ГОСТ Р 56084-2014. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 10 с.

18. ГОСТ Р 56054-2014. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Назначение, состав и характеристики бортового навигационно-связного оборудования телематических систем мониторинга и диспетчеризации сельскохозяйственной техники. – М.: Стандартинформ, 2015. – 8 с.

19. ГОСТ Р 56412-2015. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 6 с.

20. ГОСТ Р 56538-2015 Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного земледелия. Классификация систем. – М.: Стандартинформ, 2015. – 6 с.

21. **Деркачева А., Тутубалина О., Зимин М., Голубева Е.** Применение авиационных гиперспектральных снимков и наземных данных для целей точного земледелия / Земля из космоса (спецвыпуск), 2015. – С. 43-46.

22. **Каштанов А.Н., Булгаков Д.С., Голованов И.Н.** и др. Развитие технологий, методов и средств точного земледелия. – М., 2006. – 97 с.

23. **Кирюшин В.И.** Точные агротехнологии как высшая форма интенсификации адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. – 2004. – № 6. – С. 16-21.

24. **Литвиненко Р., Балабанов В., Березовский Е.** Опрыскивание: инструкция по применению / Новый аграрный журн. – 2011, – № 2. – С. 56-68.

25. **Михайличенко И.М.** Управление системами точного земледелия. – СПб., 2005. – 68 с.

26. Мобильный комплекс для обмера полей «ГЕО-Учетчик» [Электронный ресурс]. URL: http://eco-razum.com/?q=GEO_Ychetchik (дата обращения: 28.04)

27. **Ноак П.О.** До свиданья, маркер! Сравнение 16 систем параллельного вождения // Новое сел. хоз-во. –2007. – № 6. – С. 82-86.

28. Применение геоинформационных систем в сельском хозяйстве России1 [Электронный ресурс]. URL: [http://cyberleninka.ru/ article/](http://cyberleninka.ru/article/)

n/primenenie-geoinformatsionnyh-sistem-v-selskom-hozyaystve-rossii (дата обращения: 28.04.2016).

29. Технология ГИС-картографирования ДДЗ в космическом агропромышленном мониторинге [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gisa.ru/53045.html?action=print> (дата обращения: 28.04.2016).

30. Точное сельское хозяйство (precision agriculture) / Под ред. Д. Шпаара, А.В. Захаренко, В.П. Якушева. – СПб. – Пушкин, 2009. – 400 с.

31. **Савин И.Ю.** Современный спутниковый мониторинг почв и посевов: достижения и проблемы / В сб.: Матер. Всероссийской науч. конф. «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2015. – С. 29-32.

32. **Соловьев Ю.А.** Системы спутниковой навигации. – М.: ЭкоТрендз, 2000.

33. **Федоренко В.Ф.** Информационные технологии в сельскохозяйственном производстве. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 223 с.

34. **Черепанов А.С.** Вегетационные индексы / Геоматика, 2011. – № 2. – С. 98-102.

35. **Шпаар Д., Лайтхольд П., Даммер К.-Х., Файфер А.** Дифференцированное управление посевами с учетом гетерогенности полей в рамках PRECISION AGRICULTURE // Агротехнологии XXI века. – М.: ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2007. – С. 6-8.

36. Экология и сельскохозяйственная техника // Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и с.-х. машин // Матер. 5-й Междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2007. – 380 с.

37. **Якушев В.П.** На пути к точному земледелию. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2002. – 458 с.

38. **Якушев В.П., Петрушин А.Ф., Петрушин В.В., Шерстобитов С.В.** Технические основы применения информационных технологий точного земледелия. – СПб.: АФНИИ, 2004. – 368 с.

39. **Якушев В.П., Якушев В.В.** Информационное обеспечение точного земледелия. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.

40. **Amato A.** The 7 Best Agricultural Drones on the Market Today. / 2014 / Ссылка доступа: <http://dronelife.com/2014/10/01/best-agricultural-drones/> Просмотрено 05.05.2016.

41. **Dammer K-H., Wartenberg G.** Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time / Crop Protection. Volume 26, Issue 3, March 2007. – P. 270-277.

42. **Bushong J.** The Use of Remote Sensing in Weed Control. 2008. Ссылка доступа: <http://www.powershow.com/view2b/45130aNTkyN/>

The_Use_of_Remote_Sensing_in_Weed_Control_powerpoint_ppt_presentation. Просмотрено 05.05.2016.

43. **Povh F.P. & Anjos W.P.G.** Optical Sensors Applied in Agricultural Crops. 2014. Ссылка доступа: <http://dx.doi.org/10.5772/57145> Просмотрено 05.05.2016.

44. **Raun W.R. & Johnson G.V.** Improving nitrogen use efficiency for cereal production. / *Agronomy Journal*, V. 91 (3), 1999. – P. 357-363.

45. **Raun W.R., Solie J.B., Johnson G.V., Stone M.L., Lukina E.V., Thomason W.E.**, et al. Inseason prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. / *Agronomy Journal*, V. 93 (1), 2001. – P. 131-138.

46. www.n-sensor.de. Просмотрено 05.05.2016. <http://www.sensoroffice.com>. Просмотрено 05.05.2016.

47. The Yara N-SensorTM Complete Solution to Precision Farming. 2015 / Ссылка доступа: www.yara.co.uk. Просмотрено 05.05.2016.

48. **Christensen S.** et al. Site-specific weed control technologies. 2009. *Weed Research*. V. 49. Issue 3. – P. 233-241.

49. Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, 1969 Ссылка доступа: <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/13479/ProceedingsSixthInternationalSymposiumRemoteSensing.pdf?sequence=1>

50. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium..., / the proceedings of a symposium held by Goddard Space Flight Center at Washington, D.C. on December 10-14, 1973 National Aeronautics and Space Administration. Washington, 1974.

51. <http://www.indexdatabase.de/>. Просмотрено 05.05.2016.

52. **Pollinac F.W., Maxwell B.D. & Menalled F.D.** Weed community characteristics and crop performance: a neighborhood approach. 2009. *Weed Research*. V. 49. Issue 3, 242-250.

53. **Wallinga J., Kropff M.J., & Rew L.J.** 2002. Patterns of spread of annual weeds. *Applied Ecology*, V. 3, 31-38.

СЛОВАРЬ

Абонентский телематический терминал – аппаратно-программное устройство, устанавливаемое на контролируемые транспортные средства для определения их текущего местоположения и параметров движения, обмена данными с дополнительным бортовым оборудованием, взаимодействия с телематическим сервером в части передачи мониторинговой и обмена технологической информацией.

Автоматическое вождение сельскохозяйственных машин (ГОСТ Р 56084-2014) – процесс автоматического управления направлением движения сельскохозяйственных машин по заданной траектории под управлением системы автономного вождения с использованием системной навигационной информации об объекте навигации.

Автопилот – автоматизированная система, производящая управление рулевым колесом трактора или самоходной сельскохозяйственной машины при его движении по заданной траектории, в том числе с использованием ГНСС. Различают автопилоты с гидравлическим исполнительным механизмом и автопилоты с электрическим исполнительным механизмом.

Агрolandшафт – природно-территориальный комплекс, естественная растительность которого на подавляющей его части заменена агроценозами.

Актуальная информация – информация, получаемая в режиме реального времени и используемая для предупреждения и оперативного управления.

Аппликационная карта (ГОСТ Р 56084-2014) – электронная карта, содержащая расчетные значения доз дифференцированного внесения материалов на элементарных участках.

Базовая линия – эталонная линия, задающая схему движения, создаваемая в полевом навигаторе на основе траектории первого прохода трактора или самоходной сельскохозяйственной машины по полю.

BEIDOU (COMPASS) – космическая навигационная система Китая.

Всемирное координированное время (Coordinated Universal Time (UTC)) – синхронизировано с атомным временем и является международным стандартом, на котором базируется гражданское время.

Выравниватель почвы – орудие, предназначенное для выравнивания микрорельефа почвы с одновременным боронованием.

GALILEO – космическая навигационная система стран Евросоюза.

Геоинформационная система (ГИС) – интегрированная информационная система, предназначенная для сбора, обработки, анализа, моделирования и отображения пространственно-распределенных данных, а также решения информационно-расчетных задач с использованием цифровой картографической информации.

Геоморфология – наука о рельефе земной поверхности.

Геофенсинг (в системе навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия) (ГОСТ Р 56084-2014) – функция, позволяющая создавать виртуальные границы реальных географических объектов и осуществлять контроль пересечения объектом навигации границ зон с уведомлением пользователя информации об этом событии.

Гидравлическая система – гидравлический привод, объёмный гидропривод, совокупность устройств с одним или несколькими объёмными гидравлическими двигателями для приведения в движение механизмов и машин с помощью жидкости под давлением.

ГЛОНАСС – российская глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) второго поколения навигации и определения положения (позиционирования), изначально разработанная в СССР; затем ее дальнейшую разработку и эксплуатацию продолжила Россия. Система использует спутники, принимающие устройства и программное обеспечение для определения точного географического положения.

Глубина обработки почвы – один из основных агротехнологических (полевых) параметров, определяющих качество процессов вспашки, культивации, посева и энергетические затраты; значение этой величины, как правило, изменяется, например, на основной обработке почвы от 15 до 35 см (а иногда и более) при допустимой погрешности измерения до $\pm 5\%$.

Грядоделатель – машина для формирования гряд перед посевом овощных культур на почвах с близким уровнем грунтовых вод.

Данные аэрокосмического зондирования (ДЗЗ) – данные о поверхности Земли, объектах, расположенных на ней или в ее недрах, полученные в процессе съемок любыми неконтактными, т.е. дистанционными методами.

Дифференцированное внесение (в координатном земледелии) (ГОСТ Р 56084-2014) – процесс внесения в почву материалов (семян, удобрений, средств защиты растений) с переменной дозой, рассчитанной на основе анализа плодородия почв и/или состояния посевов.

Дискатор – почвообрабатывающая машина, рабочими органами которой являются вырезные диски, установленные на индивидуальных пружинных стойках на раме в 3-4 ряда. Предназначен для интенсивного измельчения растительных остатков (особенно целесообразно для грубостебельных культур) и заделки их в верхний слой почвы при мульчирующей системе земледелия.

Жатка – навесное оборудование (часть косилки или комбайна), предназначенная для скашивания сельскохозяйственных культур, подачи их в молотильный (зерноуборочного комбайна) или измельчающий (кормоуборочного комбайна) аппарат или укладывающая на поле в валки.

Зерноуборочный комбайн – машина для уборки зерновых и других культур прямым (скашивание с одновременным обмолотом) или раздельным (скашивание валковой жаткой с укладкой в валки и последующим обмолотом валков) способом, выделение зерна, его очистки и сбора в бункер, сбора соломы и половы в копнитель (тележку), а также распределения их на поле (в валок или по ширине захвата).

Зона – очерченный на оцифрованной карте контур, означающий площадь на поверхности земли с достигнутой точностью. При пересечении границы площади контролируемым объектом срабатывает тревожный сигнал.

Звездное время – местное звёздное время – часовой угол точки весеннего равноденствия для данного места (для местного меридиана).

Информационно-аналитическая подсистема проектирования координатного земледелия (ГОСТ Р 56084-2014) – интегрированная информационная система, обеспечивающая извлечение информации из разнородных источников, предварительную обработку и консолидацию данных, визуализацию, моделирование, прогнозирование и предоставление данных потребителю информации для решения информационно-поисковых, оперативно-аналитических и интеллектуальных задач управления производственным процессом сельскохозяйственных культур с целью оптимизации агротехнологических решений.

История перемещения – сохраненные данные о движении объекта. Добавлена возможность просмотра по каждой точке трека при наведении на неё курсора.

Картографирование – автоматизированный процесс мониторинга, обработки, анализа, учета, построения и хранения электронных карт.

Картофелесажалка – машина для посадки клубней картофеля (гладкой или в нарезанные культиватором гребни) с одновременным внесением в них минеральных удобрений.

Комбайн (*combine* – соединение) – машинный агрегат (сложная машина), предназначенный для выполнения нескольких разных технологических операций, входящих в единый технологический процесс, например, процесс уборки сельскохозяйственных культур (зерноуборочный, кормоуборочный, картофелеуборочный, ягодоуборочный, свеклоуборочный, льноуборочный и другие комбайны).

Комбинированные машины и агрегаты – системы, позволяющие за один проход выполнять несколько операций: предпосевную обработку почвы, посев, внесение удобрений и пестицидов, прикатывание, применение которых дает возможность экономить топливо, сокращать трудовые затраты и снижать себестоимость сельскохозяйственной продукции.

Комплексная механизация – сельскохозяйственные работы производственного процесса, выполняемые машинами.

Контроль качества выполняемой работы – регламентированные технологической картой операции и средства контроля, осуществляемые и применяемые трактористом-машинистом в процессе работы и приемщиком работы (хозяином, агрономом) в процессе выполнения технологической операции и по ее окончании.

Контрольно-корректирующая станция дифференциальной подсистемы ГНСС – комплекс радиоэлектронных и технических средств, расположенный в точке с известными координатами, предназначенный для приема и обработки навигационных сигналов ГНСС, вычисления поправок к пространственным координатам точки и передачи их по каналам связи потребителю ГНСС для повышения точности определения его пространственных координат при нахождении потребителя в радиусе действия дифференциальных поправок.

Контрольная линия – граница между поворотной полосой и остальной частью загона, на которой включают и выключают рабочие органы сельскохозяйственных машин.

Координаты – набор цифр, которые описывают Ваше место на Земле или над ней. В типичном случае координаты основываются на опорных линиях широты/долготы или на проекции глобальной региональной сетки (например, UTM, Мейденхэд).

Координатное (точное) земледелие (ГОСТ Р 56084-2014) – система управления производственным процессом сельскохозяйственных культур, основанная на комплексном использовании современных информационных, навигационных и телекоммуникационных технологий, программно-технических средств и систем, обеспечивающих оптимизацию агротехнологических решений применительно к конкретным почвенно-климатическим и хозяйственным условиям.

Кормоуборочный комбайн – машина для скашивания сеяных и естественных трав, высокостебельных культур, а также для подбора из валков провяленной травы с одновременным измельчением и погрузкой массы в тракторный прицеп или в кузов рядом идущего транспорта.

Косилка – машина для скашивания сеяных и естественных трав и укладки их на стерню врасстил или в валок.

Культиватор – сельскохозяйственное орудие для рыхления почвы, уничтожения сорняков, окучивания и подкормки растений.

Курсоуказатель сельскохозяйственных машин (ГОСТ Р 56084-2014) – устройство, используемое для индикации отклонений фактической траектории движения сельскохозяйственных машин от заданной при активном вождении объекта навигации.

Лушительник – сельскохозяйственное орудие для лушения почвы (т. е. мелкой обработки почвы с частичным оборачиванием пласта). Лушительники подразделяют на дисковые и лемешные. Дисковые лушительники с плоским или сферическим диском работают на глубину 4-10 см, лемешные с отвальным корпусом шириной захвата 25 см – на глубину до 18 см.

Навигационное поле – совокупность радионавигационных сигналов в рабочей зоне Глобальных Навигационных Систем (ГНСС), позволяющая измерять навигационные параметры и определять местоположение и время потребителя с требуемым уровнем доступности, надежности и точности.

Навесные машины – сельскохозяйственные машины (и орудия), навешиваемые на трактор или другое энергетическое средство с помощью навесной системы или жесткого крепления рамы орудия к раме трактора.

Низкоорбитальный комплекс – системы связи на базе низкоорбитальных космических аппаратов (КА). К низкоорбитальным спутникам LEO (до нескольких десятков малых спутников массой до 500 кг – Low Earth Orbit) относятся КА, высота орбит которых находится в пределах 700-1500 км.

Норма выработки – количество продукции или конкретной работы установленного качества, выраженное в установленных единицах (гектарах, тоннах, тонно-километрах и др.), которое должно и при рациональной организации труда может быть выработано исполнителем на данном агрегате и в данных условиях работы за единицу времени (час, смену, рабочий день).

Норма высева – число всхожих семян, высеваемых на единице площади, измеряется в млн/га, тыс/га. Весовая норма высева – кг/га.

Оборотный плуг – сельскохозяйственное орудие для гладкой пахоты без разъемных (развальных) борозд и свальных гребней.

Обработанные данные дистанционного зондирования (при наблюдении поверхности Земли аэрокосмическими средствами) (ГОСТ Р 56084-2014) – материалы (аэрокосмические снимки), полученные в результате обработки первичных данных дистанционного зондирования и представленные в форме, обеспечивающей возможность их использования.

Обработанные данные дистанционного сканирования (при наблюдении поверхности поля наземными средствами) (ГОСТ Р 56084-2014) – материалы, полученные в результате обработки первичных данных дистанционного сканирования и представленные в форме, обеспечивающей возможность их использования.

Обработка почвы – оптимизация агрофизических свойств почвы, ее биологических процессов, режимов в системе «почва – растение»; поддержание для сельскохозяйственных культур фитосанитарного потенциа-

ла почвы и посевов при ограниченном применении пестицидов; предупреждение эрозионных процессов (уменьшение стока воды, потерь почвы, гумуса, питательных веществ); ресурсосбережение; устранение причин деградационных процессов и техногенного воздействия на почву (переуплотнения, подкисления и др.); обоснованное поддержание основных параметров и нормативно-технологических показателей: сроков, способов, глубины и качества обработки, мощности пахотного слоя и др.

Опрыскиватель – машина, предназначенная для транспортировки, дробления (диспергирования) жидких растворов удобрений и средств защиты растений (инсектицидов, фунгицидов, гербицидов и др.) и их равномерного внесения в форме суспензий, эмульсий и смесей на растения или почву на больших площадях.

Ортофотоплан – фотографический план местности на точной геодезической опоре.

Параллельное вождение сельскохозяйственных машин (ГОСТ Р 56084-2014) – процесс ручного управления направлением движения сельскохозяйственных машин по заданной траектории, в том числе с использованием курсоуказателя.

Плуг – орудие для вспашки почвы рыхлением и с оборотом пласта.

Первичные данные дистанционного зондирования (при наблюдении поверхности Земли аэрокосмическими средствами) (ГОСТ Р 56084-2014) – необработанные данные, полученные при дистанционном зондировании и переданные или доставленные на Землю посредством телеметрии в виде электромагнитных сигналов, фотопленки, магнитной ленты или какими-либо другими способами.

Первичные данные дистанционного сканирования (при наблюдении поверхности поля наземными средствами) (ГОСТ Р 56084-2014) – необработанные данные, полученные при дистанционном сканировании и переданные или доставленные потребителю посредством телеметрии в виде электромагнитных сигналов, фотопленки, магнитной ленты или какими-либо другими способами.

Поворотные полосы – участки поля, оставляемые в каждом конце загона для поворотов и заездов агрегата и заделываемые после обработки основной части загона.

Подготовка поля – осмотр поля и устранение препятствий; выбор способа и направления движения агрегата, по которому устанавливают расположение загонов; отбивка поворотных полос с установкой вешек и нарезкой контрольных борозд при тоновом способе движения агрегата; разбивка поля на загоны, прокосы на поворотных полосах или углах загонов при уборке и провешивание линий первого прохода агрегата.

Подкормки – рассев удобрений на растения по всей поверхности участка возделывания, например, зерновых озимых культур (внекорневая подкормка) или заделывание удобрений в почву вдоль рядков пропашных культур одновременно с уходом за растениями (корневая подкормка).

Подсистема управления движением сельскохозяйственной техники [Нрк. *система автоматического (параллельного) вождения*] (ГОСТ Р 56084-2014) – бортовая автоматизированная система управления, обеспечивающая контроль рулевой системы и управление движением объекта навигации по заданной траектории посредством управляющего воздействия на рулевой механизм или рулевое колесо объекта навигации с использованием системной навигационной информации об объекте навигации.

Подсистема управления механизированным процессом в координатном земледелии (ГОСТ Р 56084-2014) – многоуровневая система, обеспечивающая взаимодействие функционирующих на борту объекта навигации технически и информационно совместимых автоматизированных систем управления и бортовых навигационно-информационных систем.

Подсистема управления параметрами агротехнологической операции (ГОСТ Р 56084-2014) – автоматизированная система управления, обеспечивающая контроль, регулирование и управление переменными параметрами агротехнологической операции, в том числе с использованием системной навигационной информации об объекте навигации.

Подсистема мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения (ГОСТ Р 56084-2014) – комплекс внешних систем, обеспечивающих информационно-аналитическую подсистему проектирования координатного земледелия данными, содержащими результаты оперативных, периодических и базовых наблюдений за изменением качественного и количественного состояния земель сельскохозяйственного назначения, их хозяйственного использования и обследований этих земель, почв и их растительного покрова, проводимых с определенной периодичностью.

Прореживатель – машина для вдольрядного прореживания с одновременной шаровкой всходов сахарной свеклы.

Радиосигнал – радиотехнические сигналы (радиоволны) используются для передачи сообщений в системах передачи информации. Такая система называется радиотехнической. Специфика радиотехнических систем передачи информации (РТСПИ) связана с особенностями распространения радиоволн, которые учитываются при выборе модели канала связи.

Развальная (разъёмная) борозда – углубление, образующееся на границе двух встречных проходов плуга, при которых пласты наклонены в

разные стороны; создает неблагоприятную для работы сельскохозяйственной техники поверхность поля.

Расход топлива – часовой (кг/ч – на рабочем режиме, на холостом ходу, на остановках, на номинальном режиме); сменный (кг/ч); удельный (г/(Втч) – по режимам работы на единицу мощности двигателя, а также кг/(Втч) – по режимам работы на единицу мощности на крюке); погектарный (кг/га).

Ротационное орудие – почвообрабатывающая машина, имеющая принудительный (от трактора или от собственного двигателя) привод вращающихся рабочих органов.

Рыхлители – сельскохозяйственные орудия, используемые для рыхления почвы без оборота пласта. Навесные культиваторы-плоскорезы-глубокорыхлители (КПГ-2-150, КПГ-250, КПГ-2-250, КПГ-2,2) применяются для основной безотвальной обработки и рыхления почвы в зонах, подверженных ветровой эрозии.

Рядковая жатка – уборочная машина для скашивания зерновых культур, семенников трав и сахарной свёклы, формирования скошенной массы в валок и его укладки на поле при раздельной уборке.

Свальный гребень – выступ, образующийся на границе двух встречных проходов плуга.

Селекционно-семеноводческий комбайн – машина для уборки урожая зерновых культур с опытных делянок селекционно-семеноводческих посевов.

Сельскохозяйственная техника – машины, оборудование, приборы, средства автоматизации, участвующие в процессе производства сельскохозяйственной продукции и сырья для промышленности.

Сельскохозяйственные работы (технологические процессы) в растениеводстве – лущение стерни, вспашка, культивация предпосевная, культивация паров с боронованием, боронование весеннее и до всходов, прикатывание почвы предпосевное; посев узкорядный (зерновых), широкорядный (овощных культур, сахарной свеклы, технических культур), посадка (картофеля); прореживание всходов, культивация междурядная (первая, вторая), опрыскивание и опыливание посевов, погрузка, транспортировка и внесение органических удобрений.

Сеялка-культиватор – машина для предпосевной обработки почвы и посева семян сельскохозяйственных культур с одновременным подрезанием сорняков и прикатыванием рядков.

Сеялка – машина для посева семян сельскохозяйственных культур с распределением их параллельными рядами, размещенными на одинаковом расстоянии (междурядье) один от другого.

Сеялка точного высева – машина для высева семян сельскохозяйственных культур с заданным интервалом между ними в рядке или определенным числом семян в гнезде.

Силосоуборочный комбайн – машина, выполняющая в едином технологическом процессе скашивание, измельчение и погрузку в транспортные средства силосных сельскохозяйственных культур.

Система дифференциальной коррекции и мониторинга – предназначена для выработки и передачи потребителям в реальном масштабе времени корректирующей информации к сигналам ГНСС, а также обеспечения высокоточного определения координат потребителей в режиме пост-обработки с использованием накопленной измерительной информации СДК (Российская широкозонная дифференциальная система – СДКМ).

Сканирование биомассы растений – последовательный анализ заданного участка поля с помощью оптических датчиков.

Составление и подготовка агрегатов – подготовка трактора, сцепки и машин; проверка их технического и эргономического состояния, проведение технического обслуживания; регулировка и установка рабочих органов машин в сочетании с колеей трактора; составление агрегата и при необходимости оборудование его дополнительными устройствами (маркерами, слепоуказателями, визирными приспособлениями и др.); опробование агрегата на холостом ходу и в работе.

Спутниковый мониторинг – система мониторинга объектов, построенная на основе систем спутниковой навигации, оборудования и технологий сотовой и/или радиосвязи, вычислительной техники и цифровых карт.

Среднеорбитальный комплекс – среднеорбитальный космический сегмент, состоящий из навигационных спутников, представляет собой совокупность источников радионавигационных сигналов, передающих одновременно значительный объем служебной информации. Основные функции каждого спутника – формирование и излучение радиосигналов, необходимых для навигационных определений потребителей и контроля бортовых систем спутника. Средний радиус орбит 20000 км.

Сцепка – устройство в виде рамы (либо несколько шарнирно соединенных рам на колёсах или без них), предназначенное для составления широкозахватного машинно-тракторного агрегата из нескольких сельскохозяйственных машин.

Телематика – термин, образованный путем сложения слов «Телекоммуникация» и «Информатика».

Техническая эксплуатация МТП – совокупность организационных, технических, технологических и других мероприятий по поддержанию машин в работоспособном, исправном состоянии и предупреждению

снижения технической, технологической и метрологической надежности в течение срока эксплуатации.

Технологии (схемы) поворотов – схемы поворотов агрегата в зависимости от способа движения МТА на поворотной полосе: повороты на 180° (при гоновых способах движения) – беспетлевые (дугообразные, с прямолинейным участком), петлевые (грушевидный – открытая петля, восьмеркой – закрытая петля), с задним ходом (закрытая и открытая петля при навесных машинах – орудиях, игольчатые при реверсивном ходе трактора с оборотными орудиями); повороты на 90° (при круговых способах движения) – беспетлевой; петлевые с открытой и закрытой петлей; с задним ходом при навесных сельскохозяйственных машинах; повороты на угол менее 90° (при диагональных способах движения) – беспетлевой, петлевой, с задним ходом; возможны и иные (частные) схемы поворотов: односторонние; согнуто-петлевые; с прямолинейным задним ходом; с прямолинейным передним ходом (П-образные).

Технологическая операция – один из основных элементов технологического процесса (наряду с операциями обслуживания, подготовительными, управления и т.д.), характеризующийся неизменностью процесса труда рабочих-исполнителей, а также применяемого оборудования; организационное или технологическое действие, способствующее выполнению всего алгоритма функционирования и нормальному протеканию каждого режима функционирования; в понятие операции входят трансформация энергии, материи, информации, а также весь комплекс отдельных механических, электрических, физико-химических, информационно-управляющих, биологических и других явлений, которые естественно протекают или антропотехногенно искусственно вызываются в природе и обществе; функция (объект) управления, зависящая от производственной или научной деятельности человека, работы автомата.

Технологические карты возделывания сельскохозяйственных культур, выполнения конкретных работ – рекомендательно-нормативные документы, необходимые для рациональной организации производства (расчета необходимого парка машин, приборов, инструмента, составления графика работ, определения экономических показателей).

Технология возделывания и уборки сельскохозяйственной культуры – последовательность выполнения основных и вспомогательных технологических процессов (операций) по контролю и подготовке семян, поля, агрегатов к посеву, уходу за посевами, уборке, транспортированию и послеуборочной обработке продукции с операционным контролем технологических операций, порядок которых регламентирован в технологических картах: типовых для зоны, конкретных – для данного хозяйства.

Точность (Accuracy) – критерий того, насколько близка оценка положения спутника к его истинному положению. Точность – это степень соответствия между оцененными или измеренными местом и/или скоростью платформы в данный момент времени и истинным положением или скоростью.

Трактор – самоходная машина на колёсном или гусеничном ходу для приведения в действие прицепленных к ней или навешиваемых на нее технологических (рабочих) машин и орудий, а также для привода стационарных машин.

Транспортно-производственные процессы – процессы, составляющими операциями которых являются: транспортные, погрузочно-разгрузочные, технологические, выполняемые полевыми сельскохозяйственными машинами и агрегатами либо транспортными средствами, оборудованными устройствами для осуществления технологических операций.

Тяговая характеристика трактора – зависимость основных характеристик двигателя и трактора в целом от нагрузки на крюке.

Уборка урожая – наиболее ответственный и напряженный период по срокам и объемам работ в растениеводстве; включает в себя ряд технологических операций, основанных на применении системы машин, позволяющей исключить или существенно сократить затраты ручного труда.

Урожай – продукция, полученная в результате выращивания сельскохозяйственных культур.

Урожайность – урожай сельскохозяйственных культур с единицы площади посева. В одних и тех же условиях урожайность одного сорта бывает больше или меньше, чем другого.

Условный КПД трактора – отношение полезно используемой мощности к возможной (номинальной).

Условный эталонный трактор – трактор, имеющий выработку в один условный эталонный гектар за 1 ч сменного времени.

Фитосанитарное состояние растений – состояние экосистем, их компонентов, продукции или партии продукции растительного происхождения на определенной территории в конкретно указанное время по составу и уровню развития вредных организмов.

Фенологические фазы развития растений – онтогенетическое развитие растений, фиксируемое по морфологическим признакам.

Фреза – почвообрабатывающая машина для интенсивного рыхления и перемешивания почвы ножами или зубьями, закреплёнными на вращающемся фрезерном барабане. Различают навесные и прицепные фрезы.

Чизель-культиватор – машина (орудие) для рыхления (сплошной обработки) почвы на глубину до 18 см. Снабжается приспособлением для внесения минеральных удобрений.

Чизельный плуг – машина для глубокой безотвальной обработки почвы без оборота пласта на глубину до 40 см (в том числе для разрушения плужной подошвы).

Электронная карта агрохимического обследования почв земель сельскохозяйственного назначения (ГОСТ Р 56084-2014) – электронная тематическая карта, содержащая количественные характеристики показателей содержания питательных веществ и химических элементов на элементарных участках в пределах обследованного пространственного объекта.

Электронная карта урожайности (ГОСТ Р 56084-2014) – электронная тематическая карта, содержащая количественные характеристики показателей урожайности и состояния посевов культуры в пределах обследованного пространственного объекта.

Электронная карта биомассы растений (ГОСТ Р 56084-2014) – электронная тематическая карта, содержащая значения нормализованного индекса вегетации сельскохозяйственной культуры в пределах обследованного пространственного объекта.

Элементарный участок (ГОСТ Р 56084-2014) – наименьшая площадь, которая может быть охарактеризована одним объединенным показателем (содержанием питательных веществ, урожайностью, биомассой).

Эфемеридная информация – система пространственных координат навигационного космического аппарата ГНСС, формируемая в функциональной зависимости от времени; параметры модели движения навигационного космического аппарата ГНСС, передаваемые в эфемеридной информации, позволяющие потребителю ГНСС вычислять пространственные координаты навигационного космического аппарата ГНСС, составляющие его вектора скорости движения на любой момент времени по шкале времени потребителя ГНСС

CAN (шина CAN – Control Area Network) – асинхронная последовательная коммуникационная шина (последовательная магистраль), обеспечивающая увязку в сеть «интеллектуальных» устройств ввода/вывода, датчиков и исполнительных устройств.

GDD – степень вегетации в днях между посадкой и измерением при температуре выше 40° по Фаренгейту (период предположительной возможности роста культуры). Алгоритмы GreenSeeker используют это значение как исходное для определения предполагаемой стадии вегетации растения.

GPS (Global Positioning System) – глобальная система навигации и определения положения (позиционирования), разработанная и эксплуатируемая США.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности (стандартизированный индекс вегетации)

биомассы) – искусственный безразмерный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (плотности растительности), используемый для решения задач количественной оценки растительного покрова:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра; *RED* – отражение в красной области спектра.

NUE – коэффициент использования азота – процентная доля азота, потреблённого растением. Например, NUE 60 % означает, что в этом году предполагается использовать 6 фунтов азотного удобрения на каждые 10 фунтов применения. Для получения подробной информации – www.nue.okstate.edu.

NRS – полоса насыщения азотом. Эта базовая полоса/участок позволяет определить количество азота, получаемое растением из окружающей среды (минерализация и т.д.), важные данные по предполагаемому максимальному потенциальному урожаю за этот год и отзывчивость на дополнительный азот.

RI – индекс отзывчивости. Определяет отзывчивость культуры на дополнительный азот в текущем году. Для определения индекса отзывчивости необходимо разделить NDVI полосы насыщения азотом на значение NDVI поля.

SMS Advansed – геоинформационная программа (SMS – Spatial Management System) – достаточно простой в использовании, но мощный программный комплекс системы точного земледелия. Обладает уникальными функциями для поддержки всего оборудования системы точного земледелия и позволяет интегрировать имеющуюся информацию, полученную из других источников или оборудования.

User Interface – портативный компьютер и дисплей. Может быть представлен TDS Recon Pocket – портативное цифровое устройство на базе персонального компьютера.

UT (Universal Time) – Всемирное время UT (Universal Time) – это среднее солнечное время на гринвичском меридиане.

VI – вегетационный индекс – значение, подсчитываемое (или выводимое) из комплектов данных, снятых дистанционно, и используемое для количественного определения здоровья растений, стресса и мощи.

VRA – дифференцированное внесение. Основывается на данных, передаваемых в контроллер дозирования.

3D-модель рельефа (ЦМР) – математическое представление участка земной поверхности, полученное путем обработки материалов топографической съемки.

КУРСУКАЗАТЕЛИ И СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЖДЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Система «Outback S-Lite»

Устройство параллельного вождения Outback S-lite (рис. 1) – самое простое в линейке сельскохозяйственных GPS-навигаторов.



Рис. 1. Устройство Outback S-lite

Предназначено для ведения сельхозтехники параллельно предыдущему проходу при любой видимости – ночью, в туман, при сильной запыленности, если не требуется более ничего другого. Два блока светодиодов – указатель поворота руля и шкала прогноза движения, ЖК-дисплей с синей подсветкой предоставляют всю необходимую информацию, ничего лишнего.

Возможности прибора удовлетворяют большинству сельскохозяйственных запросов:

- вождение по параллельным и кривым линиям;
- измерение площади поля или участка поля;
- запоминание точки в любом месте поля и ведение техники на эту точку;
- индикация номера ряда, скорости движения, угла, координат;
- оперативная коррекция расположения базовой линии (при необходимости);
- русифицированное меню.

Outback S-lite может работать только с бесплатными ДИФ-поправками (сигналами повышения точности) – EGNOS, не работающем в

России, и E-DIF. При этом работа с патентованной ДИФ-поправкой E-DIF (электронная дифференциальная поправка) позволяет достигать точности в 25-30 см без использования дополнительных платных дифференциальных поправок.

Комплектация: курсоуказатель, компактная антенна с магнитным держателем, комплект кабелей для питания через прикуриватель трактора, крепление курсоуказателя в виде присоски, инструкция на русском языке и памятка для механизатора.

Назначение: использование на сельскохозяйственных операциях, не требующих сверхвысокой точности ведения агрегата, например, на внесении сухих минеральных удобрений. При этом увеличивается равномерность внесения агрохимикатов, экономятся сами агрохимикаты, а также ускоряется работа за счет снижения погрешностей и увеличения скорости в условиях плохой видимости (ночь, туман, пыль).

Основные недостатки: отсутствие возможности работы с RTK-станциями, с Omnistar-сервисами. Из-за отсутствия экрана не очень удобная навигация меню, нет визуального отображения участка, нет возможности загружать и выгружать карты, отображать задание. Не поддерживает протокол ISOBUS и не может управлять сельхозоборудованием. Не реализованы все возможные режимы движения. Невысокая точность работы, так как используется одночастотная антенна.

Система параллельного вождения Outback S3

Система параллельного вождения Outback S3 (рис. 2) – это новая разработка компании «Agrosom». Большой цветной сенсорный экран позволяет отображать режимы вождения и результат движения трактора или комбайна. Полноразмерная русская экранная клавиатура значительно облегчает ввод дополнительных параметров, таких как номер поля, условия при работе (температура, ветер, влажность) и т.д.



Рис. 2. Система Outback S3

Функции:

- вождение по прямым и кривым линиям;
- замер площади поля или его участка;
- отображение на экране движения техники и обработанных участков поля в режиме реального времени с разных ракурсов: с высоты птичьего полета (2D) и из кабины (3D);
- отображение на экране «линейки светодиодов» для привычного поведения после работы с Outback S и Outback S2;
- изменение масштабов отображения поля на экране;
- привязка к определенной точке для повышения точности определения координат;
- возможность экспорта на USB флэш-карту данных навигации сделанной работы;
- возможность работы в составе автопилота;
- русифицированный интерфейс;
- дополнительные программы для дифференцированного внесения удобрений.

Outback S3 имеет встроенную поправку e-Dif, возможна работа с платными сервисами Omnistar – при дополнительной покупке внешнего приемника (антенны) Trimble Ag252.

Назначение. Предназначен для различных сельскохозяйственных операций, вплоть до требующих идеальной точности вождения. При операциях, не требующих высокой точности ± 30 см, возможна работа с простой одночастотной антенной и поправками e-Dif и WAAS/EGNOS, но уже с возможностью работы с автопилотом. При этом реализуема запись проделанной работы на внешние носители для последующего учета в офисных условиях, а также экспорт треков в различные популярные форматы. Для более точной работы ± 10 см необходима доставка высокоточного приемника Ag252 и подруливающего устройства.

Недостатки: несовершенное программное обеспечение, отсутствие возможности работы с RTK-станциями, с системой картирования урожайности, ограниченные возможности работы по дифференцированному внесению удобрений.

CLAAS GPS CopilotTS

Основные возможности CLAAS GPS CopilotTS (рис. 3):

- максимально используется ширина агрегата, перекрытия проходов техники сводятся к минимуму;
- может работать ночью и при низкой видимости – увеличивается коэффициент использования техники;

не требуются дополнительные материалы для маркирования строк, что важно для широкозахватных агрегатов;

повышаются скорость движения агрегата (актуально для мощной техники); комфортность работы водителя (важно для неподготовленных механизаторов);

за счет более точного ведения, уменьшения перекрытий между проходами рационально используются горючее, посевной материал, удобрения, средства защиты растений, другие материалы.



Рис. 3. CLAAS GPS CopilotTS

Основной недостаток: рассчитан для работы с сельскохозяйственными машинами фирмы «CLAAS», при использовании с другими машинами имеет ограниченные функциональные возможности.

Trimble EZ-Guide 250

Устройство параллельного вождения – самое простое в линейке устройств фирмы «Trimble» (рис. 4).

Предназначено для вождения сельхозтехники вдоль рядов при любой видимости (ночь, туман, сильная запыленность) с точностью ± 30 см. Устройство не позволяет работать с платными дифпоправками и базовыми станциями – используется только встроенный фильтр OnPath или сигналы бесплатной системы EGNOS. В остальном функции прибора очень широки.

Оснащен цветным ЖК-дисплеем и линейкой светодиодов.

Позволяет задавать несколько типов базовых линий (прямая, идентичная кривая, адаптивная кривая, круговое движение, конец гона, свободный формат).



Рис. 4. Устройство параллельного вождения Trimble EZ-Guide 250

Запоминает точку в любом месте поля и позволяет в нее вернуться.

Сохраняет результаты работы на внешнюю флэш-карту с интерфейсом USB для последующего просмотра в Microsoft Word (Open Office) или специализированных программах.

Позволяет загружать сохраненные результаты работы с внешней флэш-карты с интерфейсом USB для повторного использования проходов техники.

Отображает условия работы в широких пределах: информацию по текущему полю, состоянию GPS, расстояние до ряда, текущая площадь/общая площадь работы, скорость и т.д.

Имеет русифицированное меню.

При работе со встроенной коррекцией отклонений точности GPS-координат (фильтр OnPath) производителем гарантируется точность не ниже 30 см в течение 15 мин.

Комплектация: курсоуказатель, компактная антенна с магнитным держателем (опционально может быть улучшена до антенны AG-15), комплект кабелей для питания через прикуриватель трактора, крепление курсоуказателя к корпусу трактора, инструкция на русском языке.

Не предназначен для расширения до автопилота, но может работать с подруливающим устройством Trimble EZ-Steer.

Устройство параллельного вождения Trimble EZ-Guide 500

Устройство параллельного вождения Trimble EZ-Guide 500 (рис. 5) – multifunctional курсоуказатель фирмы «Trimble».

Предназначено для проведения различных операций в сельском хозяйстве. Оснащено цветным ЖК-дисплеем и линейкой светодиодов. В минимальной комплектации позволяет работать с бесплатными дифпоправками EGNOS и встроенным фильтром OnPath или с платной дифпоправкой Omnistar VBS.



Рис. 5. Устройство параллельного вождения Trimble EZ-Guide 500

По желанию курсоуказатель может быть расширен до работы с Omnistar XP/HP или RTK.

Функционал прибора чрезвычайно широк:

позволяет задавать несколько типов базовых линий (прямая, идентичная кривая, адаптивная кривая, круговое движение, конец гона, свободный формат);

запоминает точку в любом месте поля и позволяет вернуться на эту точку;

позволяет сохранять результат работы на внешнюю флэш-карту с интерфейсом USB для последующего просмотра в Microsoft Word (Open Office) или специализированных программах;

позволяет загружать сохраненные результаты работы с внешней флэш-карты для повторного использования проходов техники;

отображает следующую информацию: по текущему полю, состоянию GPS, обработанная площадь/общая площадь поля, расстояние до ряда, скорость и т.д.;

имеет русифицированное меню;

работает с электрическими и гидравлическими автопилотами фирмы «Trimble»;

имеет встроенные функции картирования: нанесение границ поля, указание объектов на поле и предупреждение механизатора о приближении к ним;

позволяет управлять внесением удобрений (при использовании подготовленных для этого разбрасывателей и опрыскивателей).

При работе со встроенной коррекцией отклонений точности GPS-координат (фильтр OnPath) производителем гарантируется точность не ниже 30 см в течение 15 мин.

Комплектация: курсоуказатель, одночастотная или двухчастотная антенна (для работы с дифпоправками VBS или XP/HP); комплект кабелей

для питания через прикуриватель трактора; крепление курсоуказателя к корпусу трактора; инструкция на русском языке.

Назначение: EZ-Guide 500 – универсальный прибор. Позволяет выполнять любые задачи, связанные с точным земледелием, но основное его назначение – работа в составе автопилотов. Точность позиционирования, которую позволяет обеспечить этот прибор, не в состоянии обеспечить механизатор, если будет управлять трактором вручную. Поэтому целесообразно устанавливать его на технику в составе подруливающего устройства или автопилота или с расчетом на будущую установку автопилота. В результате может быть обеспечено вождение сельхозтехники любой ширины захвата, с точностью до 2-3 см (при наличии сервиса RTK) круглосуточно. При этом наличие внешнего звукового сигнала обеспечивает безопасность техники с механизатором: EZ-Guide 500 способен сигнализировать о приближении к концу ряда, помехам на поле или контролировать бездействие оператора (проверка на сон – механизатор должен нажать на кнопку и подтвердить, что не спит).

Наличие соответствующих компьютерных программ (EZ-Office или EZ-Office Pro) позволит органично вписать Trimble EZ-Guide 500 в цикл мероприятий точного земледелия.

Многофункциональный дисплей Trimble CFX-750

Предназначен для параллельного вождения по курсоуказателю вдоль рядов в условиях любой видимости в ручном либо автоматическом режиме в составе автопилота, для управления секциями опрыскивателей и сеялок, нормой высева, дифференцированного внесения удобрений (рис. 6).



Рис. 6. Многофункциональный дисплей Trimble CFX-750

Состав: базовый блок – курсоуказатель со встроенным двухчастотным L1/L2 GPS-приемником и креплением типа RAM-MOUNT на саморезах;

антенна AG-25 – двухчастотная L1, L2, двухсистемная GPS/ГЛОНАСС, с магнитным основанием; комплект кабелей для антенны и питания.

Технические характеристики

Цветной сенсорный дисплей с диагональю 8”;

27 светодиодов в курсоуказателе.

Интерфейсы:

два порта RS232/CAN;

один порт CAN/Питание;

USB – для подключения USB накопителей;

TNC – в/ч вход для антенны AG 25;

TNC – в/ч вход для антенны RTK;

слот для радиомодема RTK 450 или 900 МГц.

Типы дифференциальных поправок:

OnPath – встроенная бесплатная поправка – предназначена как резервная в случае пропадания сигнала – действует в течение примерно 20-30 мин. Точность около 30 см.

EGNOS – бесплатный европейский сервис. На территории России работает нестабильно и не рекомендуется для работы.

Omnistar HP/XP – платный спутниковый сервис. Точность около +/- 10 см.

RTK-поправка поступает через радиоканал или GSM (при наличии полного покрытия) от базовой станции. Точность около +/- 2 см.

Для расширения функций курсоуказателя возможно подключение следующих опций:

подключение автопилота Trimble Autopilot или устройства подруливания EZ-Steer;

подключение внешнего курсоуказателя LB 25 и джойстика EZ-Remote;

подключение до двух внешних видеокамер Trimble CFX-750 AgCAM для наблюдения за агрегатами во время работы на поле;

подключение внешнего GSM/GPRS модема Ag3000 или Sierra для передачи данных с прибора в офис в режиме реального времени при работе с программным обеспечением Connected Farm, FarmWorks;

активация функции Field-IQ при работе совместно с системой Trimble True Count для управления секциями (до 48 шт.) сеялок и опрыскивателей, управления точным высевом семян, а также функции VRA – дифференциального внесения удобрений на сеялках, опрыскивателях и разбрасывателях;

активация режима дифференциальных спутниковых поправок OmniStar HP/XP;

активация режима RTK для работы с базовыми станциями;

активация ГЛОНАСС.

Системы параллельного вождения Outback S-lite, Outback S3, Trimble EZ-Guide 500, Trimble EZ-Guide 250 и Trimble CFX-750 являются разработкой компании «Trimble».

Подруливающее устройство Trimble EZ-Steer

Предназначено для высокоточного вождения сельскохозяйственной техники при выполнении технологических операций (рис. 7). Точность работы устройства определяется навигационным прибором, т.е. поправкой GPS-сигнала: EGNOS – 15-30 см, OnPath – 20-40 см, Omnistar VBS – 15-20 см, Omnistar HP/XP – 5-10 см и настройками навигационного контроллера, имеющего в составе два акселерометра и два гироскопа. Запатентованная система компенсации неровностей T2 позволяет проводить работы на неровных поверхностях с высокой точностью.



Рис. 7. Подруливающее устройство Trimble EZ-Steer

Преимущества Trimble EZ-Steer AgGPS:

подруливающее устройство просто в установке, настройке и эксплуатации;

может работать практически на любой сельскохозяйственной машине с легким рулевым управлением.

Недостатки: важным недостатком данной системы является часто возникающее проскальзывание прижимного ролика. Не может использоваться на технике с «тугим» рулевым управлением (тракторы типа МТЗ).

Система рулевого управления Trimble EZ-Pilot

Система рулевого управления Trimble EZ-Pilot (рис. 8) аналогична системе Trimble EZ-Steer AgGPS.

Достоинства:

быстро реагирующий мотор. Ускорение вывода агрегата на курс и надежное его удержание на нем;



Рис. 8. Система рулевого управления Trimble EZ-Pilot

высокий крутящий момент. Управление агрегатами с «жестким рулем», возможна установка на тракторы типа МТЗ-1221 с гидрообъемным рулевым управлением;

плавный, чистый дизайн. Интеграция в рулевую колонку обеспечивает свободный доступ ко всем приборным панелям, сохраняя свободное место для ног в кабине;

совместимость опций. Установка системы управления на оригинальную штангу и рулевое колесо агрегата;

высокая гибкость. Не мешает ручному управлению трактором, когда электродвигатель не используется.

Система автоматического управления Trimble AgGPS Autopilot

Автоматизированная система рулевого управления осуществляет автоматическое вождение сельскохозяйственной техники. Технология компенсации поверхности ТЗ обеспечивает точную работу системы в составе трактора с прицепными орудиями на склонах и полях с грубым рельефом. Включает в себя:

интегрированный дисплей FmX – большой цветной дисплей, прием сигналов GPS + ГЛОНАСС, поддержка всех приложений Trimble;

курсоуказатель CFX-750 – встроенный двухчастотный GPS-приемник, поддержка ГЛОНАСС, OmniStar XP/HP, RTK;

GNSS-приемник 442 – встроенный 72-канальный приемник с поддержкой GPS, ГЛОНАСС, RTK и сигналов L1/L2/L2C/L5, идеален для работы в сложных условиях;

GPS-приемник 262 – все в одном, приемник GPS/DGPS/RTK и антенна с поддержкой RTK, Omnistar HP/XP, Omnistar VBS или SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS);

датчик поворота колес, который измеряет угол поворота, не используя движущиеся части или тяги, и непрерывно передает на контроллер данные, используемые системой управления для точного следования курсу, даже при движении по склонам и холмистой местности;

навигационный контроллер с технологией ТЗ, получает данные о наклоне агрегата от шестиселевых датчиков, корректирует истинную позицию и передает команды системе управления для удержания трактора и агрегата на курсе.

Системы параллельного вождения Leica moJoMINI

Основные возможности системы параллельного вождения Leica moJoMINI (рис. 9):



Рис. 9. Системы параллельного вождения Leica moJoMINI

максимально используется ширина агрегата, перекрытия проходов сводятся к минимуму;

может работать ночью и при низкой видимости – увеличивается коэффициент использования техники;

повышена скорость движения агрегата (актуально для мощной техники);

повышена комфортность работы водителя, что важно для неподготовленных механизаторов.

Технические характеристики устройства стандартны для GPS-навигационных систем: цветной сенсорный экран 4,3 дюйма с управлением стилусом, слот для карты SD, зарядный порт mini USB, разъем для наушников и встроенный громкоговоритель.

Система работает на базе DGPS-приемника Leica SmartAg, имеющего 14 каналов L1 GPS, SBAS (для WAAS, EGNOS и др.) и работающего по технологии GLIDE GPS для обеспечения точности навигации.

Установлено навигационное ПО компании «Leica Geosystems», обеспечивающее максимальную эффективность GPS-навигации как во время полевых работ, так и на дороге.

Функционирование пошаговой навигации на Leica moJoMINI обеспечивает компания «Intrinsyc Software International, Inc.», одна из крупнейших в области программного и навигационного обеспечения мобильных телефонов.

Компактный навигатор Leica moJoMINI легко устанавливается в кабину трактора или в салон автомобиля. Многофункциональная система позволяет оптимизировать технологические процессы, а в дороге – маршрут.

В комплект поставки входят автомобильное зарядное устройство, крепление на приборную панель и держатель.

Характеристики и спецификации: цветной сенсорный экран 11 см; встроенный громкоговоритель; питание от 12-24 В; встроенный аккумулятор обеспечивает автономную работу около двух часов; GPS-приемник, встроенный в навигатор; агрономический калькулятор.

DGPS-приемник Leica SmartAg:

питание 12-24 В;

14 каналов L1 GPS;

технология GLIDE для сверхвысокой точности;

точность между рядами +/- 12,5 см с использованием SBAS (для WAAS, EGNOS и др.). Данные поправки не работают в России, максимальная точность без поправок сопоставима с аналогичными приборами +/- 30 см;

шнур питания 5 м;

магнитное или обычное крепление.

Навигация в поле:

автоматическое Bluetooth® подключение к приемнику Leica SmartAg; A+ направление (угол); контурные параллельные линии (кривые); кругоподобные параллельные линии;

разные режимы параллельного вождения: АВ прямые параллельные линии;

трехмерное навигационное изображение;

имитация светодиодов;

дневной и ночной режимы работы;

индикатор точности сигнала;

установка расстояния между рядами в метрах;

индикатор скорости в км/ч.

Сенсорный экран Leica mo3D

Сочетает в себе 18-сантиметровый цветной сенсорный экран с уникальным 3D-изображением и графическим меню, компьютер надежно защищен крепким пылевлагоустойким металлическим корпусом (рис. 10).

Позволяет наращивать нужные пользователю функции. Может использоваться как система параллельного вождения с измерением поля и маркированием обработанной площади, или дополнительно с функцией отключения секций опрыскивателя, или как система автопилот с бесплатным сигналом или базовой станцией.



Рис. 10. Цветной сенсорный экран Leica mo3D

Технические характеристики и функции устройства

Вождение: прямые АВ, А+, угол; импорт/экспорт линий; сохранение линий на флешку.

Картография: запись обработанной площади; запись/возобновление пройденного маршрута; импорт/экспорт маршрутов и обработанных участков; 3D-моделирование техники; задание габаритов техники и агрегата (высота, длина, ширина); несколько режимов изображения трактора на поле; детальное, последовательное задание параметров вашей техники и агрегата.

Глобальная система спутниковой навигации: вмонтированный L1 GPS-приемник с GLIDE, усовершенствованная технология GLIDE для допустимой точности от прохода к проходу.

Ручное управление и возможность доосначивания автопилотом: 18-сантиметровый цветной сенсорный экран с высококачественной 3D-графикой; удобное графическое управление, 3D-изображение поля или традиционное изображение трактора «сверху»; удобный индикатор смещения с линий движения; влагопылестойкий металлический корпус Virtual Wrench.

Дистанционная поддержка: дистанционная диагностика бортового компьютера; дистанционное обновление программного обеспечения.

Настройка понятна через ассоциированные рисунки; обновление, сохранение и возобновление всех параметров с карточки памяти; система подсказок к каждой кнопке и настройке.

Основным недостатком курсоуказателей Leica является отсутствие возможности подключения к другим внешним устройствам и бортокомпьютерам сельхозмашин, нет поддержки протокола ISOBUS.

Автопилот (подруливающее устройство) Leica mojo GLIDE

Позволяет работать трактору или другой самоходной технике с точностью 7-12 см (рис. 11).



Рис. 11. Автопилот Leica mojo GLIDE

Обладает самой высокой бесплатной точностью среди аналогов за счет использования двухантенного решения. Комбинация антенн и датчиков позволяет вычислять отклонения для компенсации неровностей, т.е. выполняет функцию навигационного контроллера.

Есть возможность дополнительного повышения точности работы автопилота (подруливающего устройства) путем обновления программного обеспечения и установки в хозяйстве одной базовой станции для повышения точности принятия сигнала. Таким образом, точность вождения может быть повышена до 2-3 см.

Есть возможность использования данного оборудования с подруливающим устройством, устанавливаемым непосредственно на руль при невозможности подключить автопилот в штатную гидравлическую систему трактора.

Система навигации GPS, ГЛОНАСС

В состав входят две DGPS-антенны, а не одна, как у других аналогичных приборов (повышается точность).

Основные недостатки: не поддерживает протокол ISOBUS, нет возможности подключать внешнее оборудование, проскальзывание прижимного ролика.

Варианты установки:

Для трактора, подготовленного к установке автопилота (на борту стоит надпись «Autotrack Ready» или «GreenStar Ready») moJoGLIDE с помощью специальных проводов встраивается в систему трактора и обеспечивает автоматическое подруливание колес при выполнении технологических операций в поле.

Для трактора без предварительной подготовки к установке гидравлического автопилота к moJoGLIDE с помощью специального кабеля (CAN-шины) подключается устройство автоматического подруливания Quick Steer.

Система параллельного вождения TeeJet CenterLine 220

Система параллельного вождения (курсоуказатель) CenterLine 220 (рис. 12) разработана компанией «TeeJet Technologies» (США) для эффективного управления машинно-тракторными агрегатами. Стандартная точность CenterLine 220 составляет ± 30 см, что позволяет использовать его при проведении полевых работ по внесению удобрений и др.



Рис. 12. Система параллельного вождения (курсоуказатель) CenterLine 220

Главными достоинствами CenterLine 220 являются простота в управлении, надежность в работе и доступная цена. Прибор позволяет точно по заданной траектории водить трактор, опрыскиватель или комбайн при любой видимости – ночью, в тумане, при сильной запыленности.

Основные характеристики:

линейка светодиодов и графический дисплей для выдачи полной информации по управлению сельскохозяйственной машиной;

наличие высококачественного встроенного GPS-приемника с наружной антенной;

простота в установке, настройке, эксплуатации и управлении на любом сельскохозяйственном агрегате;

режимы движения по прямым и кривым параллельным линиям (рис. 13);

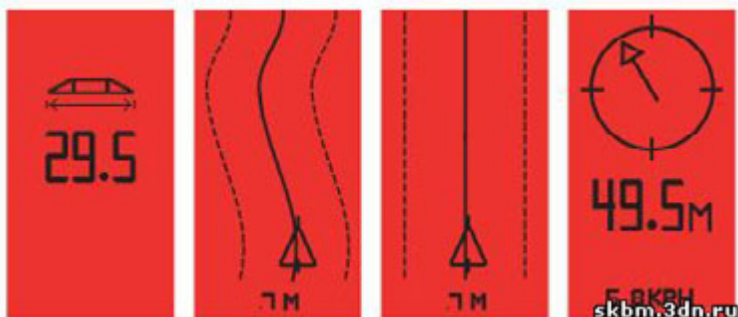


Рис. 13. Примеры отображения информации на дисплее

функция «вернуться в заданную точку»;

износостойкая панель управления с защищенным регулируемым экраном для дневной и ночной работы. Отсутствие солнечных бликов на экране;

возможность использования информации о скорости движения агрегата с другим оборудованием;

возможность подключения к системе автопилота.

Система TeeJet Matrix 570G+RXA30

Система имеет экран размером 5,7" (14,5 см); G – guidance (рис. 14).

Навигация в режиме реального видео RealView™ – эксклюзивная функция от «TeeJet». Навигационная информация и реальное видеозображение поля одновременно отображаются на экране.

Имеет сенсорное управление, USB-порт позволяет обновлять программное обеспечение и экспортировать данные на внешние носители.

Встроенный световой дисплей с Led-индикаторами обеспечивает постоянное целеуказание вне зависимости от состояния экрана (рис. 15).

Составляется карта обработанной площади.

Прибор легко крепится в кабине трактора с помощью стандартного кронштейна.



Рис. 14. Система TeeJet Matrix 570G+RXA30

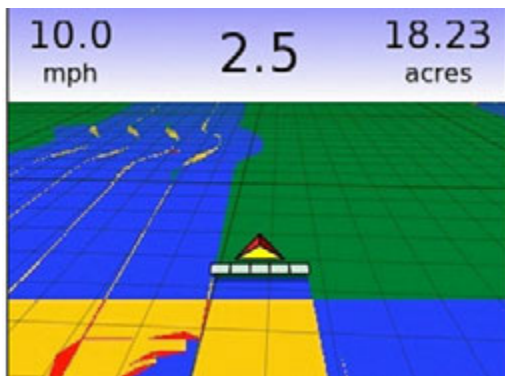


Рис. 15. Экран системы TeeJet Matrix 570G+RXA30

Дополнительно может оснащаться автопилотом FildPilot™; автоматическим контролем секций – BoomPilot™, датчиком компенсации наклона, видеоселектором для подключения до 4 камер, внешним GPS-приемником или улучшенной антенной.

На экране обработанная площадь отображается голубым цветом; площадь, обработанная дважды, – желтым; площадь, обработанная три раза и более – красным.

При картировании информация сохраняется в форматах SHP – для использования в агропрограммах (GIS); PDF – заранее составленный отчет, KML – для просмотра обработанного участка в Google Earth.

Основным недостатком курсоуказателей TeeJet является отсутствие возможности работы с разбрасывателями минеральных удобрений и системами картирования урожайности.

Курсоуказатель Raven Cruiser

Отличительная особенность прибора (рис. 16) – полное отсутствие кнопок – все управление осуществляется через цветной сенсорный экран.



Рис. 16. Курсоуказатель Raven Cruiser

Основные преимущества:

простота и удобство работы достигаются за счет использования большого цветного сенсорного экрана с диагональю 16 см, обладающего высоким разрешением, а также интуитивно понятных меню и индикаторов состояний, основанных на применении значков;

полностью русифицированное меню. Дневной и ночной режимы обеспечивают хорошую видимость в любое время суток;

встроенная индикаторная панель гарантирует высокую точность навигации;

простая установка в два этапа. Позволяет установить устройство за несколько минут;

в качестве источника питания используется прикуриватель.

Встроенный DGPS-приемник на 10 Гц от прохода к проходу обеспечивает высокую точность данных о перемещении машины по обрабатываемой полосе. Точность при использовании бесплатного сигнала EGNOS составляет +/- 15-20 см. Также существует возможность использования системы поправок E-Diff в местах, где корректирующий спутник EGNOS недоступен.

Выбор системы навигации. Четыре схемы навигации облегчают выбор траектории и обеспечивают более точное покрытие. Схемы включают в себя движение по прямой А-В, фиксированной кривой, по кругу, а также эксклюзивную схему Raven «по последнему проходу» для полей неправильной формы. Схема навигации по последнему проходу, используемая системами Raven, является самой простой технологией навигации по кон-

туру предыдущего прохода и превосходно подходит для террасовых полей.

Возможность просмотра изображения в режимах вида сверху или трехмерного изображения. Экран обзора поля позволяет убедиться в том, что обработана вся площадь поля, и обнаружить пропущенные участки. Устройство ведет подсчет площади в пределах заданных границ.

Отчетность об обработанном участке. В Cruizer заложена возможность записи треков на флеш-накопитель. Далее файлы точечной графики можно быстро сохранять и печатать отчеты, показывающие карту покрытия, обработанную площадь и т.п. Файлы SHP (Shapefile) привязаны к географическим координатам и могут импортироваться в большинство стандартных картографических ПО. С помощью файлов KML можно импортировать информацию о покрытии в Google™ Earth и использовать их ПО для нанесения карты покрытия на фотографии полей со спутника, что позволит достичь оптимальной визуализации.

Дополнительное оборудование: система позволяет установить дополнительное оборудование, а именно: систему автоматического вождения Raven (SmarTrax или SmarSteer), а также датчик компенсации наклона Raven (TM-1).

Панель Raven Envizio Pro

Это система навигации, которая, кроме основных способов ведения агрегата (прямая АВ), использует для ориентирования последний на данный момент времени проход по полю – LastPass (рис. 17).



Рис. 17. Панель Raven Envizio Pro

Схема LastPass позволяет оператору двигаться по полю параллельно последнему проходу, без учета предыдущих или первого проходов. Акту-

альна для работы на поле с препятствиями, где необходимо отклоняться от заданной линии. Она позволяет определить, какая часть поля уже обрабатывалась, что снижает вероятность пропусков или наложения участков обработки:

Достоинства:

совместимость с контроллером SmarTrax и панелями Raven Lightbar;

режим обзора поля из кабины и сверху;

экран состояния GPS с функцией автоматической настройки Auto-detect;

отображение площади поля и обработанной площади, общего плана поля с возможностью изменения масштаба изображения и фиксации отражения транспортного средства на экране;

интерфейс с цветным сенсорным экраном;

автономная установка или интерфейс с уже имеющимися светодиодными панелями Raven Lightbar.

Курсоуказатель Raven RGL600 Lightbar (рис. 18)

Характеристики:

2 USB-порта для передачи данных;

система крепления RAM;

светодиодные индикаторы и система экранной навигации;

отображение карт покрытия на экране путем аппаратного обнаружения штанги или с помощью нажатия на сенсорный экран;

режим «План поля» с указанием наложения обрабатываемых участков;

регистрация данных: возможность сохранения и загрузки карт покрытия;

функция «наземный курс» (COG) для схемы прямолинейного движения;

возможность переключения между схемами LastPass и прямолинейного движения по линии АВ в рамках одной задачи.



Рис. 18. Курсоуказатель Raven RGL600 Lightbar

Устройство подруливания RAVEN Smart Steer

Предназначено для высокоточного управления сельскохозяйственной техникой (рис. 19).



Рис. 19. Устройство подруливания RAVEN Smart Steer

Точность работы Smart Steer в комплекте с курсоуказателем составляет 2-30 см (в зависимости от поправки GPS-сигнала): EGNOS – 15-30 см, E-Diff – 15-30 см, Omnistar VBS – 15-20 см, Omnistar HP/XP – 5-10 см, работа с базовой станцией – 2-5 см при идеальном состоянии рулевого управления.

Состоит из курсоуказателя Cruiser с GPS-антенной, датчика наклона, блока управления, навигационного контроллера с гироскопом, набора проводов и кронштейнов.

Основные характеристики Smart Steer:

прост в установке, эксплуатации и переустановке на другую технику (если понадобится);

механический автопилот устанавливается на большинство видов техники, включая отечественную, может учитывать колебания антенны, при передвижении техники по неровной местности за счет гироскопов.

Штатно системы RAVEN устанавливаются на сельскохозяйственные машины корпорации AGCO («Challenger», «Massey Ferguson», «Valtra», «Fendt»). Имеется возможность работы с телеметрией.

Система параллельного вождения Green Star John Deere (Parallel Tracking) и автопилоты (Auto Trac) Система параллельного вождения Parallel Tracking

Система параллельного вождения Green Star John Deere (Parallel Tracking) и автопилоты (Auto Trac 200) (рис. 20) – это решение для установки системы вождения на машины предшествующих моделей производства компании «John Deere», а также на тракторы, комбайны и кормоуборочные комбайны других производителей.

При установке на другие машины позволяет воспользоваться преимуществами высокой производительности, которые обеспечивает проверенная в эксплуатации система AutoTrac.

Преимущества универсального комплекта AutoTrac

Работает с оригинальной системой Green Star (приемником StarFire iTC, дисплеем Green Star, мобильным процессором), новыми дисплеями системы Green Star2 и программным обеспечением AutoTrac KeyCard.

Легко устанавливается и обладает возможностью переустановки с одной машины на другую.

Дает возможность воспользоваться функцией автоматического вождения с варьируемой точностью и встроенным модулем коррекции положения с учетом рельефа.



Рис. 20. Система параллельного вождения Green Star John Deere

Обеспечивает высокую производительность и экономичность на предыдущих моделях оборудования «John Deere», а также на моделях других производителей.

Позволяет снизить уровень усталости оператора, помогая ему сосредоточиться на работе. Оператору не нужно вести транспортное средство, так как оно работает в автоматическом режиме, ему приходится брать за руль только при разворотах на конце гона или при объезде препятствий.

Позволяет сократить площади взаимных перекрытий за счет высокой точности и меньшего количества проходов.

AMS – система точного земледелия John Deere (StarFire)

Позволяет проводить обработку полей в соответствии с зональными особенностями (урожайность, структура почвы, влажность или высота местности), более точно определять нормы внесения удобрений и химикатов, оптимизируя затраты и максимизируя прибыль (рис. 21).



Рис. 21. Система точного земледелия John Deere (StarFire)

Система Green Star – известнейший бренд среди систем точного земледелия, включает в себя три общих аппаратных компонента, созданных для совместной работы:

- Green Star 3 2630 дисплей;
- приемник Star Fire 3000 – совместим с ГЛОНАСС, с сигналами: SF1, SF2, RTK;
- Green Star 3 2630 поставляется с установленным приложением Parallel Tracking.

Для большей функциональности следует обновить систему с AutoTrac или AutoTrac Universal 200 или добавить передовые решения, такие как IТЕС Pro, Pivot Pro.

Green Star 2630 экономит затраты на дополнительный монитор. Дает краткий обзор значений производительности машины, таких как использование топлива (л/ч), рабочая скорость, производительность, нагрузка на двигатель. Дисплей имеет видеовход. Видео можно просматривать во время работы машины непосредственно на дисплее.

Обеспечивает новые характеристики системы вождения (показ границ поворотной полосы, сигнал о приближении к концу полосы, многоконтурная разметка А-В на каждое поле), системы сбора данных и новые программные модули системы.

Управление машинным парком – целый программный пакет, позволяющий осуществить эффективную организацию и управление парком машин даже при пиковых нагрузках.

Fleet Management позволяет отслеживать работу машин в поле, не выходя из офиса, обеспечивая передачу информации о местоположении, состоянии и производительности машины.

Пакет **Preventive Maintenance** обеспечивает сбор данных в целях контроля наработки. Такой контроль позволяет грамотно составить график регламентного обслуживания.

Система вождения **Parallel Tracking** позволяет выполнять смежные проходы по полю строго параллельно, повышая степень точности обработки почвы и производительности; помогает снизить площади огрехов и перекрытий, позволяет экономить вносимые удобрения и снижает затраты.

Приложение **Auto Trac** – система, обеспечивающая параллельность смежных проходов в автоматическом режиме (оператору не нужно братья за руль, кроме как при разворотах в конце гона и для объезда препятствий).

i-Solutions – система интеллектуальных решений компании «John Deere»

Система интеллектуальных решений, созданных для оптимизации и автоматизации управления при выполнении работ в области сельского хозяйства (рис. 22).

i-решения применимы во всех сферах деятельности сельского хозяйства. Благодаря им в технику закладываются интеллектуальные характеристики, снижающие нагрузку на оператора и повышающие эффективность и производительность работы машины. Включают в себя ассортимент i-машин, поступающих непосредственно с завода-изготовителя и оборудованных пакетом i-компонентов, идеально агрегируемых с любым видом машин.



Рис. 22. Выполнение задания с использованием i-Solutions

Система i-Solutions включает в себя:

- i-машины, которые непосредственно на заводе оснащаются интеллектуальными, автоматическими функциями для повседневной работы в поле. Они дают возможность сконцентрироваться на процессах, обеспечивающих повышение производительности;

- i-комбайны оборудуются системами AutoTrack, HarvestSmart и HarvestDoc для оптимизации контроля объема убираемого зерна и проведения анализа урожайности;

- i-кормоуборочные комбайны – система HarvestLab непрерывно контролирует уровень влажности; система AutoLock автоматически выбирает оптимальную длину резки для наилучшей сохранности силоса; система HarvestDoc гарантирует запись и сохранность всех данных об урожайности;

- i-опрыскиватели оснащаются системами SprayerPro, BoomTrack, AutoTrac, а также имеют поддержку системы ISOBUS;

- i-tools для каждой i-машины компании «John Deere» предлагает дополнительные интеллектуальные опции (i-tools), которые позволяют расширить функциональную базу машин согласно возрастающим нуждам.

Штатно данные терминалы устанавливаются на сельскохозяйственные машины компании «John Deere» с возможностью работы системы i-tes pro (система интеллектуального управления сельскохозяйственной машиной). Имеется возможность работы с телеметрией.

Система Müller-Elektronik TRACK-Guide

Представляет собой усовершенствованную модель популярного Basic Terminal Top (рис. 23). Является системой ведения по трекам, работает в режиме параллельного вождения по линии АВ или от предыдущего прохода.



Рис. 23. Система Müller-Elektronik TRACK-Guide

На цветном дисплее отображаются границы поля, обработанные и необработанные площади, проходы и препятствия. Перед препятствием или при достижении границы поля водитель предупреждается звуковым сигналом и сообщением на дисплее. В нижней части дисплея отображаются скорость движения, обработанная площадь и качество сигнала D-GPS.

Система предоставляет возможность запоминания данных агрегата и трактора, а также различных данных о полях. При следующей операции на поле эти данные могут быть снова использованы.

Центральная часть экрана показывает схематичное изображение поля и машины, а также уже обработанную площадь (зелёная маркировка). Изображение всегда ориентируется в направлении движения. Масштаб изображения может быть в любой момент изменён поворотом рукоятки. Обычно показывается двухмерное изображение, но нажатием кнопки 3D может показываться трехмерное изображение с учётом перспективы.

В левом нижнем углу показывается скорость движения, пройденное расстояние и обработанная площадь. Расчёт обработанной площади производится без учёта перекрытия дорожек. Это означает, что дважды обработанная площадь будет суммироваться и обработанная площадь окажется больше фактической площади поля.

Программа TRACK-Guide поддерживает два режима вождения – параллельное и контурное (автоматическое).

При параллельном вождении, называемом также АВ вождением, используют только прямые линии на поле. Для их расчёта необходимо задать два пункта, А и В, отстоящие друг от друга для точного расчёта на максимально возможном расстоянии (не менее 20 м).

При вождении параллельно предыдущему проходу (идентичная кривая или адаптивная кривая) место очередного прохода определяется через непрерывное запоминание пройденных точек между началом и концом движения соседнего прохода.

Компоненты данной системы чаще всего идут в комплекте с опрыскивателем, разбрасывателем минеральных удобрений либо сеялкой.

Система параллельного вождения Topcon System 110/150/250/350

Система параллельного вождения System 110 GPS/ГЛОНАСС/Omnistar VBS/RTK Corse/Deon (рис. 24) включает в себя цветной экран 5", точность по встроенной бесплатной дифференциальной поправке DEON (аналог E-Diff) – **15–30 см**; есть возможность расширения до автопилота, поддержка одночастотной базовой станции с точностью 5 см, возможность управления секциями опрыскивателя.



Рис. 24. Система параллельного вождения System 110 GPS/ГЛОНАСС/Omnistar VBS/RTK Corse/Deon

Типы дифноправок: бесплатная встроенная корректирующая поправка DEON (15-30 см), Omnistar VBS (15-20 см), Omnistar HP/XP (5-10 см).

Опция: RTK (2-3 см) с базовой станцией на расстояние до 25 км.

Комплектация: цветной дисплей GX-45, 5", антенна AGI-3 с встроенным приемником GPS/ГЛОНАСС/Galileo и инерциальным блоком, универсальное крепление для антенны на крышу трактора, электронный руль AES-25, адаптер на руль трактора (предназначен для крепления электронного руля), зависит от модели трактора.

Опция: CAN интерфейс, применяется вместо AES-25 для тракторов, подготовленных к автопилотированию AutoTrack Ready.

Функциональные возможности:

встроенный в антенну двухчастотный приемник GPS/ГЛОНАСС/Galileo;

электронный руль устанавливается вместо штатного руля с помощью адаптера, который подбирается под модель трактора.

Для подготовленных на заводе тракторов для автопилотирования (например, John Deere AutoTrack Ready, CASE AccuGuide Ready, NH IntelliSteer Ready, AGCO Auto-Guide Ready) система 150 напрямую подключается к трактору через CAN интерфейс.

Базовая версия системы 150 Omnistar HP/XP легко расширяется до RTK за счет добавления высокоточного инерциального блока с встроенным радио или GSM модемом, а также мобильной или стационарной базовой станции RTK.

Преимущества:

наличие дополнительного приемника ГЛОНАСС позволяет устойчиво работать в зонах с затрудненным приемом сигналов – в балках, посадках и т.д.;

высокая точность вождения – до 2-3 см;
легко переставляемый руль позволяет установить автопилот на любую технику с гидросилителем руля.

Topcon System 350 консоль 30x

Прибор оборудован большим (12,1 дюйма) сенсорным экраном с графикой высокого разрешения (рис. 25). Панель построена на базе процессора с частотой 1,6 ГГц. Объем памяти – 32 Гбайта. Сертификат прочности IP67. Контроллер X30 позволяет управлять функциями распыления, разбрасывания или посева и содержит систему виртуального переключения панелей. Имеет плавное управление скоростью для 8 продуктов/каналов, автоматическое управление с интерфейсом ISO для распылителей и сеялок. Система ASC-10 обеспечивает автоматическое десятиканальное управление распылителями, сеялками или разбрасывателями с управлением интенсивностью потока жидкости до восьми продуктов



Рис. 25. Topcon System 350 консоль 30x

Консоль 30X предлагает несколько функций ввода-вывода для максимального использования данных. Меню клиент/ферма/поле/задача позволяет сократить несколько настроек полей и задач для различных хозяйств, затем создать подобные отчеты для отслеживания данных и анализа результатов за несколько лет.

Функции:

отчет по задачам, которые можно экспортировать для дальнейшего просмотра в файлы PDF;

регистрация площади обработки, а также возможность экспорта в виде карт обработанных площадей с пометками в виде флажков;

импорт файлов, форм и карт задания;

расчет обработанной и оставшейся площади.

Функция AutoLocate (автоматического распознавания поля) упрощает идентификацию поля и загрузку задания.

Виртуальный терминал ISO взаимодействует со всеми распространенными контроллерами и различными блоками управления навесного оборудования.

Функция автоматического управления System 350

Приемник и контроллер системы рулевого управления AGI-3

Комплексное решение для рулевого управления с полностью интегрированными инерционными датчиками. В системе AGI-3 (рис. 26) имеется функция полной компенсации рельефа. Кроме того, она отличается отличной обработкой профиля и поддержанием заданной траектории.



Рис. 26. Приемник и контроллер системы рулевого управления AGI-3

Дополнительные компоненты рулевого управления AGI-3 включают в себя электрический, гидравлический интерфейс AES-25 или прямое подключение к машинам, поддерживающим автоматическое управление.

Для достижения максимальной точности достаточно лишь подключить модуль обновления для использования технологии RTK на частоте 900 МГц, цифрового диапазона UHF или GSM.

Совместимость с базовыми станциями Topcon, сетями GSM и CORS.

В приемнике AGI-3 используется чип комбинированного приемника G3 тройного назначения Topcon Paradigm, что позволяет ему принимать сигналы со всех имеющихся спутников. Большое число спутников означает повышенную точность, лучшее качество приема вкруг холмов, деревьев, а также ежедневную и круглосуточную работу.

Дополнительная система точного электрического управления AES-25

Удобство электрического управления в сочетании с производительностью гидравлической системы. Система AES-25 обеспечивает быстрое и

четкое реагирование с точностью до 2 см. Установка аккуратна и удобна, без внешних компонентов, которые могут мешать нормальной работе внутри кабины. Прямой привод, двигатель с высоким крутящим моментом обеспечивают бесшумную работу.

Поддержка виртуального терминала (VT) ISO

X30 VT поддерживает технологию автоматического конфигурирования для прямого управления основными мониторами и контроллерами сеялки, посевного агрегата и распылителя с использованием отраслевого стандарта ISO 11783. Терминал VT работает параллельно с системой автоматического управления X30.

Штатно системы Topcon устанавливаются на сельскохозяйственные машины корпорации AGCO («Challenger», «Massey Ferguson», «Valtra», «Fendt»). Имеется возможность работы с телеметрией.

Система параллельного вождения Arag

Системы параллельного вождения и автопилоты SKIPPER производства Arag (рис. 27) – это приборы-курсоуказатели, использующие системы спутниковой навигации для определения текущего положения машин, сельхозтехники. Таким образом, достигается высокая точность вождения по заданным траекториям даже в условиях плохой видимости. Использование таких систем в сельском хозяйстве дает огромную экономию средств и увеличивает производительность.



Рис. 27. Системы параллельного вождения и автопилоты SKIPPER

Спутниковый навигатор модели SKIPPER производства ARAG (Италия)

Спутниковая навигационная система параллельного вождения. Предназначена для работы с машинами для внесения минеральных и органических удобрений с любой шириной захвата. Позволяет рассчитывать и

проложить траекторию движения машины по необходимому оптимальному маршруту.

Система DGPS навигации выполняет следующие функции: параллельное вождение, система копирования, выравнивание траектории, работа по заданному контуру, определение площади поля, контроль за производительностью, возвращение к заранее установленной точке, запись в память необходимых параметров, переключение режимов дневной и ночной работы, совместная работа с компьютером опрыскивателя BRAVO 300 (автоматическое отключение секций опрыскивателя в зависимости от траектории движения). Погрешность позиционирования – 1-2 м. Рабочая скорость – от 0 до 60 км/ч.

Комплектация: противоударный корпус с цветным ЖК-дисплеем 4", порт USB 1.1, GPS-антенна, силовой кабель 12 В, вход для подключения системы управления компьютером опрыскивателя BRAVO 300, крепление для корпуса.

Основные недостатки: низкая точность позиционирования, недостаточные функциональные возможности, отсутствие системы автоматического вождения.

Система параллельного вождения Farmnavigator Satcon System

G 6 Farmnavigator (система параллельного вождения, курсоуказатель) (рис. 28) – это результат партнерства компании «AvMap», итальянского лидера в области GPS навигации с 1994 г и компании «Satconsystem», специализирующейся на высокотехнологичных решениях для сельского хозяйства.



Рис. 28. Система параллельного вождения, курсоуказатель G 6 Farmnavigator

Принцип работы: для получения помощи в вождении по курсовой линии необходимо задать тип желаемой траектории (шаблон): прямая, кривая, кругу или колея. После того как курсовые линии заданы, указатель курса отображается в верхней панели над картой поля для поддержания

движения согласно рассчитанной траектории. В режиме «Прямая», G6 Farmnavigator отображает на экране параллельные прямые линии, вдоль которых должно осуществляться движение. Нажатием А в начале и Б – в конце желаемой траектории задают курсовую (виртуальную) линию.

При задании курсовой линии «По кругу» создаются concentрические замкнутые траектории с периметра внутрь поля. В режиме «Кривая» задают курсовые линии на извилистом поле нажатием А в начале кривой и В – в конце. После чего параллельные курсовые линии будут отображены на экране.

Достоинства: G6 Farmnavigator имеет функцию виртуального контроллера штанги опрыскивателя. Эта функция может быть использована для управления опрыскивателем, а также другими прицепными машинами, такими как разбрасыватели удобрений и сеялки с похожим принципом работы. При распределении агрохимикатов на поле очень важно контролировать обработанную зону и не допускать повторной обработки. G6 Farmnavigator наглядно отображает опрыскиватель, воспроизводя точное количество секций и форсунок, и помогает определить, какая секция должна быть включена или выключена в определенный момент. Когда секция опрыскивателя захватывает уже обработанную часть поля, соответствующий указатель виртуального контроллера подсвечивается красным, рекомендуя выключить данную секцию. После прохождения обработанного участка индикатор секции загорается желтым, что означает, что секцию нужно включить. Виртуальный контроллер штанги опрыскивателя работает со всеми типами курсовых линий. Когда начинается работа на поле, все его данные (периметр, площадь, обработанная зона, метки, время, максимальный DOP и скорость) будут сохраняться в базе данных. Работа на поле может быть приостановлена и затем продолжена в любой момент. Возможно экспортирование данных в формат Google Earth™, а затем просмотр информации по каждому полю на компьютере.

G6 Farmnavigator может быть подключен к USB камере. Нет необходимости в дополнительном экране, так как камера использует экран G6 Farmnavigator. Проверить работу машины или посмотреть вид сзади прицепа можно простым нажатием кнопки «Камера», видеозображение появится на экране.

Влагозащищенная внешняя GPS-антенна работает в любых условиях, имеет качественное решение для стационарного размещения, поддержку WAAS / EGNOS DGPS. Камера, удобная для автомобильного и сельскохозяйственного применения, выводит изображение на экран G6 Farmnavigator.

Основные недостатки: невысокая функциональная возможность, нет поддержки протокола ISOBUS.

Система параллельного вождения AVMAP Satellite Navigation

Особенности AVMAP Satellite Navigation (рис. 29): навигация для земледелия с точностью +/- 30 см и для автомобиля, GSM/GPRS-телефон, алкотестер, проигрыватель-мультимедиа.



Рис. 29. Система параллельного вождения AVMAP Satellite Navigation

Технические характеристики: 4.8" сенсорный экран; master/slave USB; встроенный GPS U-Blox LEA5; внешняя GPS антенна LEA-5H 4Hz, WASS/EGNOS DGPS; GSM, GPRS; bluetooth для громкой связи.

Основные возможности: настройки штанги опрыскивателя, курсовые линии, измерение периметра и площади, база данных полей, совместимость с AvMap USB внешней камерой (опция).

Основные недостатки: невысокая функциональная возможность, нет поддержки протокола ISOBUS.

Терминал AMATRON 3 GPS-Track

AMATRON 3 – разработка компании «AMAZONEN-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG» одна из новинок среди терминалов управления ISOBUS, объединяющая известные свойства AMATRON+, такие как управление одной рукой, в одном корпусе и в новой цветовой гамме.

AMATRON 3 предлагает дисплей с разрешением VGA для максимальной чёткости цвета и более широкого угла наблюдения. Дисплей, как и клавиши, имеет подсветку для большей эргономичности при работе в тёмное время суток, а также полноценную совместимость с программным обеспечением менее высокого уровня AMATRON+ и более высокого – ISOBUS, обеспечивая связь между орудиями с системой ISOBUS и орудиями без неё.



Рис. 30 Терминал ISOBUS AMATRON 3 с функцией GPS-Switch и GPS-Track

С помощью AMATRON 3 пользователи могут надёжно и комфортно управлять всеми машинами AMAZONE с оснащением AMATRON+, а также любыми другими машинами с системой ISOBUS. При наличии ISOBUS можно одновременно управлять несколькими машинами, отражаемыми на дисплее.

Для этого AMATRON 3 предлагает ряд опций программного обеспечения, многие из которых уже заранее установлены и предлагаются в виде пробной версии на 50 ч работы без дополнительных затрат. По истечении этого времени можно определиться с активацией той или иной опции, при сохранении основной функциональности.

Опции GPS-Track (серия 2012):

система параллельного вождения на базе GPS, позволяющая работать автономно, например, при культивации;

графическое изображение, диодная шкала и ввод величины отклонения в сантиметровом диапазоне, позволяющая механизатору выбрать правильный путь;

графическое изображение рекомендуемого пути, помогающее легко и безопасно придерживаться заданного курса.

Функции GPS-Track:

все известные режимы колеи;

линия А-В, повороты;

адаптация поворотов;

графическая индикация на дисплее;

виртуальная индикаторная полоска (с возможностью настройки);

индикация отклонений;

нумерация колеи;

наглядное определение номера текущей колеи;

назначение препятствий и управление ими;
возможность автономного использования;
функция записи обработанной площади.

GPS-Track применяется:

при отсутствии технической колеи;
при использовании после обработки жнивья;
при использовании гербицидов;
при внесении основных удобрений;
при предвсходовой обработке на лугах и пастбищах;
при использовании различных систем технологической колеи (например, трактор проходит только по каждой n -й колее).

Система параллельного вождения «COMMANDER»

В ООО «КСМ – Интех» (г. Казань) разработана система параллельного вождения COMMANDER (рис. 31), обеспечивающая пять видов движения: по прямой, по кривой, по кругу, по спирали и режим последнего прохода. Точность позиционирования составляет 15-20 см в режиме e-Diff (бесплатный) и 5 см – в режиме Omnistar HP/XP.



Рис. 31. Система параллельного вождения «COMMANDER»

На экране прибора отображаются качество сигнала, отклонения от центральной линии, перекрытия (окрашены красным цветом) и данные об обработанной площади, скорости движения, номере прохода, текущем времени. Другие возможности системы: сохранение отчетов в форматах PDF и KMZ, сохранение данных о каждом обработанном поле площадью до 1000 га, экспорт информации на USB флэш-карту для просмотра отчетов о проделанной работе на персональном компьютере, возврат к точке последней обработки поля. Через распределительную коробку к прибору можно подключить устройство «Vars-5», обеспечивающее автоматическое равномерное внесение средств защиты растений при работе с опрыскивателем. Одновременно активизируется опция UnitControl, автоматически

закрывающая секции опрыскивателя в местах повторной обработки поля. Для упрощения управления при работе с опрыскивателем подключается внешняя кнопка. Она позволяет без прикосновения к экрану включать или отключать на нем закраску перекрытий, а также управлять главным клапаном опрыскивателя во время работы с «Vars-5» (включать и отключать опрыскивание).

Назначение системы позиционирования опрыскивателя «Трек» компании «ЭРА-НТ» (г. Барнаул) – обеспечение параллельного вождения агрегатов при обработке посевов средствами защиты растений и внесении удобрений. Кроме того, с ее помощью можно замерять и рассчитывать площади полей, составлять их электронные планы, сохранять треки и базы данных полей. Прибор, монтируемый в кабине, имеет цветной сенсорный экран с диагональю 20 см, антивандальный металлический корпус с защитой экрана, простой в управлении и понятный интерфейс.

Оператор имеет возможность изменить яркость экрана (шесть позиций и режимы дневного и ночного видения) и масштаб отображения трека. На экране дополнительно отображается информация о текущей скорости, пройденном пути, обработанной и общей площади. Система позиционирования более эффективна при комплексном использовании с автоматической системой управления расходом рабочей жидкости «Мастер» производства этой же компании.

Навигатор «Агронавт» (ООО «Элеком»)

Разработчик – ООО «Элеком» (г. Курган).

Навигатор представляет собой программный комплекс, состоящий из планшетного компьютера (рис. 32) с кронштейном для крепления в кабине трактора и инсталлированной программы «Агронавт».

При использовании в комплексе с бортовым контроллером системы спутникового мониторинга «АвтоГРАФ» наряду с коррекцией движения позволяет производить обмер полей, вести их электронные базы данных и истории обработок, составлять электронные схемы полей и оптимальные маршруты движения, выявлять необработанные участки, осуществлять дифференциальную обработку почвы в соответствии с картами агрохимического анализа, передавать данные о положении техники, остановках, включении механизмов и расходе топлива в режиме онлайн на компьютер диспетчера. Также предусмотрена передача информации на компьютер с использованием флешки. Перед проведением работ механизатор выбирает необходимое поле из базы данных и параметры обработки. Точность в такой комплектации находится в пределах 15-50 см, а при оснащении навигатора специально разработанным ГЛОНАСС/GPS приемником сигналов достигает 5-10 см.

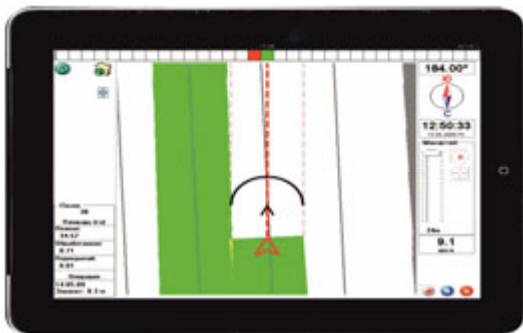


Рис. 32. Экран навигатора «Агронавт»

Навигационный пульт «Азимут-1» (ЗАО торгово-промышленная компания «Асгард плюс», г. Омск) предназначен для параллельного вождения сельскохозяйственных агрегатов по полю при внесении средств защиты растений и удобрений, определения направления движения (курса) агрегата, измерения скорости передвижения и обработанной площади поля. Выпускается в металлическом корпусе со встроенным приёмником сигналов системы глобальной спутниковой навигации GPS, имеет белый контрастный экран размером 130x70 мм с подсветкой в темное время суток. Поставляется с внешней антенной на магнитном держателе и сетевым блоком питания. Для управления используются клавиши.

При работе в поле для водителя задача управления агрегатом сводится к тому, чтобы изображенная на экране окружность, символизирующая агрегат, проходила по касательной к линии предыдущего прохода. Изменяя масштаб изображения, можно видеть на экране все обрабатываемое поле или его часть, на которой ведется работа. Для передачи информации может подключаться к персональному компьютеру. Точность вождения до 0,5 м, измерения площади – до 1%. При комплектации расходомером для измерения нормы расхода рабочего раствора навигационный пульт имеет название «Азимут-2».

Бортовой навигационный комплекс «Агронавигатор»

Разработчик – ООО «ЛТЦ «Аэросоюз» (г. Новосибирск»). Изготовлен в металлическом помехозащищенном корпусе, имеет экран с подсветкой в темное время суток (рис. 33), встроенный 32-канальный ГЛОНАСС/GPS-приемник, внешнюю GPS-антенну с магнитом для крепления.

Возможности БНК «Агронавигатор»: параллельное вождение агрегата; одновременное отображение на экране текущего рабочего участка, всего обрабатываемого поля и местоположения трактора; загрузка шаблонов и

контуров препятствий на поле, подготовка технологической колеи (шаблона поля) на основе предыдущей обработки или по космическим снимкам; расчет обработанной площади и всего поля, измерение пройденного расстояния (длин линий гона); автоматическое сохранение результатов обработок и сортировка сохраненных файлов полей по их удаленности от текущего местоположения при открытии для продолжения обработок; обмен данными с персональным компьютером через USB-порт в текстовом формате и в формате программы «Google Планета Земля».



Рис. 33. Бортовой навигационный комплекс «Агронавигатор»

На навигаторе установлены две программы: «Опрыскивание сельскохозяйственных растений» и «Дифференцированное внесение удобрений». Первая – обеспечивает параллельное вождение агрегата с различными функциями управления внесением раствора пестицидов в зависимости от дополнительного оборудования, используемого на опрыскивателе. Так, при доукомплектовании опрыскивателя электрокранами, датчиком-расходомером и блоками управления автоматически в зависимости от текущей скорости обработки подбирается расход жидкости для поддержания установленной нормы внесения и отключается опрыскивание при заходе секций штанги на обработанную поверхность.

Программа «Дифференцированное внесение удобрений» также обеспечивает параллельное вождение агрегата с регулированием расхода удобрений в зависимости от скорости движения и положения на поле. При подключении внешнего «точного» ГЛОНАСС/GPS приемника БНК используется для вождения посевных агрегатов.

Навигационное программное обеспечение «Кампус» для системы параллельного вождения разработано компанией «Кампус» (г. Омск) для карманных компьютеров (Pocket PC на платформе WinCE) и коммуникаторов с сенсорным экраном, оснащенных встроенным или внешним GPS-приемниками. Работает на базе обычного автомобильного навигато-

ра. При использовании современного навигационного оборудования точность вождения не отличается от зарубежных аналогов. Определяет и отображает текущую позицию на «карте» и записывает траекторию движения в виде трека. Может быть применена для агронавигации в сельскохозяйственной авиационной и наземной технике. С помощью ПО «Кампус» можно выполнять посев зерновых и пропашных культур, обработку почвы, междурядную культивацию, внесение удобрений и средств защиты растений. К дополнительным возможностям программы относятся: подсчет обработанной площади, отображение скорости движения, отображение и настройка длины направляющей, настройка радиуса захвата, сохранение обработанного поля в памяти с возможностью его последующей загрузки для доработки, отображение индикатора точности данных GPS, режим «Пауза», возможность изменения масштаба, визуализация обработанного участка, паролльная защита редактирования (удаления) полей.

Планшетный компьютер Yuma

Планшетный компьютер Yuma (компания «Trimble») предназначен для использования в полевых условиях, может работать при температуре от -30°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Оборудован дисплеем, обеспечивающим хорошую видимость при ярком солнечном свете; включает в себя встроенные модули Wi-Fi b/g и Bluetooth 2.0, для подключения дополнительных устройств имеются слоты SDIO и ExpressCard; оснащен двумя цифровыми камерами, GPS-приемником (рис. 34).



Рис. 34. Планшетный компьютер Yuma (компания «Trimble»)

Многофункциональные дисплеи с сенсорным управлением AgGPS FmX и CFX-750 (компания «Trimble») и одновременным использованием приемников GPS и ГЛОНАСС позволяют добиться точности позиционирования менее одного дюйма, или 2,54 см. Дисплеи могут работать как

отдельная ручная система управления, и как часть автоматизированной системы контроля и управления. Сенсорный экран FmX имеет диагональ 12,1 дюйма, что на 16% больше стандартного размера (10,4 дюйма), но в то же время он не требует большего места для установки.

Также на рынке представлены курсоуказатели и системы параллельного вождения других марок, таких как **Ag Leader Technology**, **Tecnoma**, **Bertu**, **Horsh**, **Lemken**, которые являются аналогами **Trimble**, **Leica** и **Müller-Elektronik**.

**Балабанов Виктор Иванович, Федоренко Вячеслав Филиппович,
Гольяпин Владимир Яковлевич, Железова Софья Владиславовна,
Куликов Вячеслав Юрьевич, Петрушин Алексей Федорович,
Прокофьев Никита Александрович,
Таркинский Виталий Евгеньевич,
Трубицын Николай Владимирович,
Худяков Андрей Владиленович**

**ТЕХНОЛОГИИ, ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ КООРДИНАТНОГО (ТОЧНОГО) ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Обложка художника *П. В. Жукова*

Компьютерная верстка *Т. В. Морозовой*

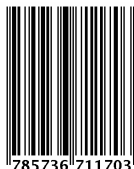
Корректоры: *Н.А. Буцко, С.И. Ермакова, Л.Т. Мехрадзе, В.И. Сидорова*

fgnu@rosinformagrotech.ru

Подписано в печать	Формат 60x84/16		
Бумага писчая	Гарнитура шрифта “Times New Roman”	Печать офсетная	
Печ. л. 15,0	Тираж 300 экз.	Изд. заказ 92	Тип. заказ 378

Отпечатано в типографии ФГБНУ “Росинформагротех”,
141261, пос. Правдинский Московской обл., ул. Лесная, 60

ISBN 978-5-7367-11-70-3



9 785736 711703