

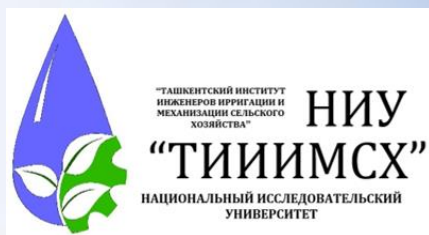
К.Д. АСТАНАКУЛОВ, В.И. БАЛАБАНОВ

ОСНОВЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

/ Учебник для высших учебных заведений /



Ташкент
2022



К.Д. Астанакулов, В.И. Балабанов

Основы точного земледелия

/ Учебник для высших учебных заведений /

**ГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ
И ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
“ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ
И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА“**

К.Д. АСТАНАКУЛОВ, В.И. БАЛАБАНОВ

ОСНОВЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

/ Учебник для высших учебных заведений /

Учебник предназначен для студентов бакалавриатуры по направлению 60810100 – Механизация сельского хозяйства и магистратуры 70810101 – Механизация сельского хозяйства

**Ташкент
2022**

Данный учебник утвержден и рекомендован к публикации в соответствии с приказом ректора НИУ “ТИИИМСХ” за № 323 а/ф от 10 сентября 2022 года.

Регистрационный номер 323 а/ф-050

Данный учебник предназначен для студентов бакалавриатуры по направлению 60810100 – Механизация сельского хозяйства и магистратуры 70810101 – Механизация сельского хозяйства и составлен на основе учебной программы предмета “Основы точного земледелия”.

В учебнике приведены исторические аспекты развития координатного (точного) земледелия; рассмотрена сущность основных направлений 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 и описано дифференцированное внесение удобрений и средств защиты растений, а также картографирование плодородия полей и урожайности. Дополнительно представлены описание и технические характеристики наиболее распространенных моделей курсоуказателей и систем параллельного вождения для сельскохозяйственной техники.

Составители: **К.Д.Астанакулов** – заведующий кафедры “Сельскохозяйственные машины” НИУ “ТИИИМСХ”, доктор технических наук, профессор;

В.И. Балабанов – профессор РГАУ-МСХА,
доктор технических наук, профессор.

Рецензенты: **Ф.М. Маматов** – профессор Каршинского инженерно-экономического института, доктор технических наук, профессор;

А.К. Игамбердиев – заведующий кафедры “Эксплуатация и ремонт машин” НИУ “ТИИИМСХ”, доктор технических наук, профессор.

К.Д.Астанакулов, В.И.Балабанов
/ ОСНОВЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ /
Учебник. – Т.: НИУ “ТИИИМСХ” ,– 2022 г., 307 стр.

**©. НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
“ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА” (НИУ“ТИИИМСХ”), 2022 г.**

ПРЕДИСЛОВИЕ

Существующие в настоящее время во многих сельскохозяйственных предприятиях, агрокластерах и фермерских хозяйствах внедряются новые методы ведения сельского хозяйства и прогрессивные технологии, признанные и успешно применяемые во всем мире, которым уделяются большое внимание для их развития. Кроме того, сегодня актуальна задача реформирования аграрного комплекса, внедрения новых высокотехнологичных методов ведения сельского хозяйства, способствующих не только повышению плодородия почв и получению стабильных урожаев при оптимальных затратах, но и выхода всего агропромышленного комплекса на новый инновационный путь развития, без чего, на наш взгляд, невозможно обеспечения в полной мере продовольственной безопасности нашей страны.

Развитие ресурсосберегающих технологий в сельском хозяйстве позволит отрасли выйти на качественно новый уровень производства, который позволит (при определённых изменениях в политике государства, поддерживающих сельское хозяйство) сельхозпроизводителям конкурировать с иностранными предприятиями.

Одним из базовых элементов ресурсосберегающих технологий в сельском хозяйстве является «точное земледелие» или «координатное земледелие» (его иногда называют «прецизионное земледелие» - precision agriculture). Эта система сельского хозяйства основана на базе навигационных и ГИС технологий и на основе развития технологий точного (координатного) земледелия сформировалось новое научно-практическое направления 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 вообще ведения сельского хозяйства стал возможным благодаря развитию средств связи, ГНСС, компьютеризации и использованию навигационных и информационных технологий в области автоматизации сельскохозяйственного производства.

С другой стороны точное земледелие - это управление продуктивностью посевов с учётом внутривидовой вариативности среды обитания растений. Условно говоря, это оптимальное управление для каждого квадратного метра поля. Целью такого управления является получение максимальной прибыли при условии оптимизации сельскохозяйственного производства, экономии хозяйственных и природных ресурсов. При этом открываются реальные возможности производства качественной продукции и сохранения окружающей среды.

Такой подход, как показывает международный опыт, обеспечивает гораздо больший экономический эффект и, самое главное, позволяет повысить воспроизводство почвенного плодородия и уровень экологической чистоты сельскохозяйственной продукции.

В настоящее время рост цен на семена, минеральные удобрения, средства защиты растений, технику и другие средства производства в сельском хозяйстве приводит к необходимости повышать эффективность их использования.

Поставленную задачу решает новое направление под названием точное (прецизионное) земледелие, которое в настоящее время получает все большее распространение во многих странах.

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
COMPACT	ASCII-файл, создаваемый программой TEQC
CompactRINEX	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 Advansed	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 ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Точное (координатное) 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.

Точное (координатное) земледелие часто называют «точным земледелием», а также «топоориентированным земледелием», «земледелием по предписанию», «точным сельским хозяйством» (англ. precision agriculture) или «точным хозяйством» (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.

Точное (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.

Точное (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 для 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.

Точное (координатное) земледелие — быстроразвивающаяся система с применением наукоемких технологий, последних достижений техники, новейших методов управления. Фундаментальной частью координатного земледелия является 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.

Точное (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 точного 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 в настоящее время 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 над использованием 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 гг. прошлого столетия в Японии, Германии, Англии, Голландии и США. Понятие точного (координатного) 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 Tescoma, оснащенный электронным регулятором пропорциональной подачи раствора в зависимости от скорости движения агрегата, был удостоенный 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 были впервые 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 ряду, 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 ряда других.

Например, в настоящее время немецкая компания «Amazon-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 является бортовые компьютеры «AMATRON +» и «AMATRON 3», как универсальные обслуживающие терминалы, служащие для оптимизации обслуживания, управления количеством, контроля и хранению данных при использовании сеялок, опрыскивателей и разбрасывателей удобрения компании «Amazon».

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 центробежного агрегата для дифференцированного внесения одного вида минеральных удобрений.

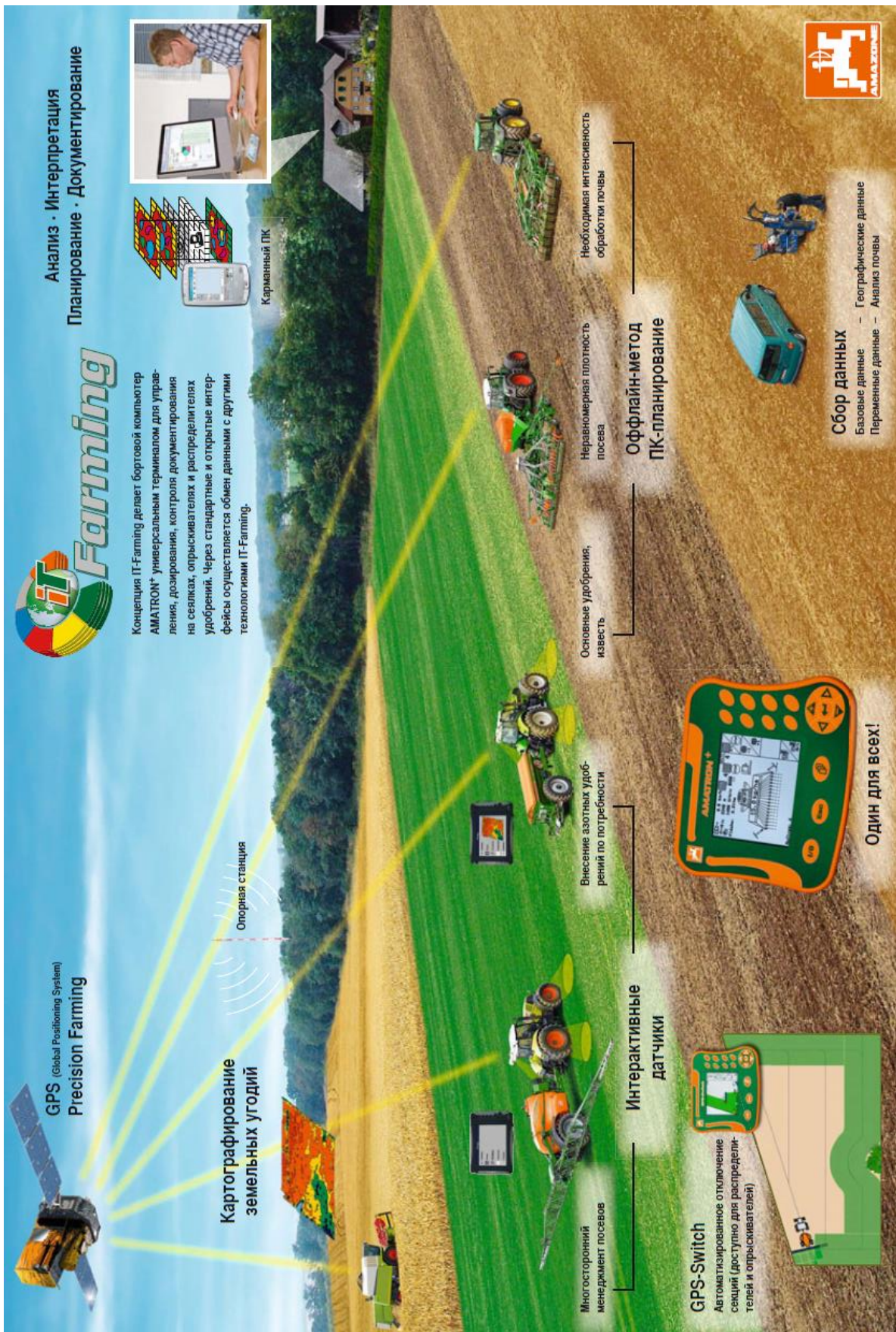


Рис. 1.1. Концепция «IT-Farming» от компании «Amazone»
(рис. с сайта <http://www.amazone.ru>)

Для регулирования дозы вносимых удобрений она использовала электронный прибор Calibrator 2002, отслеживающей 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 вес подаваемого в бункер зерна, по координатам 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 году (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 сельскохозяйственной 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 %.

В настоящее время значительных успехов в электронизации сельскохозяйственной техники добились компании Amazone, AGCO, Baram, CNH, Claas и другие.

Зарубежный и отечественный опыт показывает высокую эффективность технологий координатного земледелия, особенно применительно к крупным хозяйствам. Например, по имеющимся статистическим данным уже в 2006 году 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-х лет его использования и начинают приносить значительную прибыль.

В настоящее время координатное земледелие получает все большее распространение во многих странах, в том числе и в России. В то же время, исследования в области координатного земледелия 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 точное (координатное) земледелие?
2. На каких сельскохозяйственных машинах, и каких марок впервые применялись электронные системы?
3. Когда и где появились первые машины для точного высева семян?
4. Какая фирма первой разместила на своей технике навигационное оборудование?
5. В каких странах в настоящее время технологии точного земледелия получили наибольшее развитие?
6. Что подразумевается под понятием «точное земледелие»?
7. Какие основные критерии при применении точного земледелия обеспечивают улучшение состояния полей и повышение эффективности агроменеджмента?
8. Что является основным отличительным признаком технологий точного земледелия?
9. Для чего при применении технологий точного земледелия необходимы САПР?
10. Что является целью точного земледелия?
11. Назовите основные задачи и направления работ в области точного о земледелия в настоящее время.

2. ГЛОБАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

2.1 Исторические сведения

В бывшем Советском Союзе 4 октября 1957 года был запущен первый искусственный спутник Земли (ИСЗ). Измерения доплеровского сдвига частоты излучаемого сигнала и знание координат пункта таких измерений позволило решить задачу определения параметров движения спутника. Особенности движения ИСЗ по орбите обладают существенными особенностями: такая орбита достаточно стабильна во времени, а местоположение спутника на конкретный момент хорошо прогнозируется. Решение обратной задачи, то есть 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. Шебшаевича. В дальнейшем возникла кооперация научно-исследовательских организаций и предприятий промышленности, которая позволила придать значительный импульс в развитии спутниковой навигации прежде всего с точки зрения повышения точности, глобальности, непрерывности и всепогодности. Созданный научно-технический задел позволил в 1963 году перейти к созданию первой отечественной спутниковой системы «Цикада».

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

Основными пользователями системы «Цикада» являлись морские суда. Для их оснащения была создана навигационная аппаратура 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 1-го поколения вдохновил ученых и конструкторов на дальнейшее развитие систем спутниковой навигации. Одновременно растущие потребности широкого класса потенциальных потребителей обнажили недостатки систем «Цикада» и «Транзит»: невысокая точность, невысокая готовность системы, невысокая 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-х 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 2-го поколения соответственно GPS и ГЛОНАСС.

В октябре 1982 года в СССР был осуществлен запуск космического аппарата «Космос-1413», ставшего первым опытным спутником системы ГЛОНАСС. В 1993 году Распоряжением Президента России система была принята на вооружение видами Вооруженных Сил РФ. В 1995 году 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 году принять Федеральную целевую программу «Глобальная навигационная система». Новый импульс развития системы ГЛОНАСС был дан в 2007...2008 годах принятием ряда нормативно-директивных документов: Указ Президента РФ от 17 мая 2007 года №638 «Об использовании спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития РФ», Постановление Правительства РФ от 30 апреля 2008 года №323 «О полномочиях федеральных органов исполнительной власти по поддержанию, развитию и использованию ГЛОНАСС», Постановление Правительства

РФ от 25 августа 2008 года № 641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS». В феврале 2008 года в РФ принята «Концепция развития навигационных сигналов глобальной навигационной системы ГЛОНАСС», в которой определена необходимость совершенствования системы ГЛОНАСС.

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

В настоящее время также развиваются спутниковые навигационные системы Евросоюза GALILEO и Китая BEIDOU. Кроме того, проект собственной навигационной системы IRNSS имеет и Индия. Однако в настоящее время наибольшее распространение в мире получили именно 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 2-го 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

1-го поколения и, как следствие, иметь координаты навигационных спутников с высокой точностью;

- подъем орбиты спутников также позволил обеспечить 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) позволила обеспечить как глобальность, так и непрерывность навигационных определений;

- использование высокостабильных бортовых атомных задающих генераторов на спутниках 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 позволяют достичь высокой точности и надежности определения местоположения;

- применение математических моделей, учитывающих особенности распространения радиосигналов в атмосфере, позволили 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;
- аккумуляторных, солнечных батарей и т.д.

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 т.д. Дальномерный код, формируемый на борту НКА, бывает двух типов: стандартный – для обычных гражданских потребителей, 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 управление НКА.

НКУ системы ГЛОНАСС в своем составе имеет следующие взаимосвязанные территориально-структурные элементы:

- центр управления системой – в г. Краснознаменск Московской области;

- центральный синхронизатор – в г. Щелково Московской области;

- командные станции слежения – в г. Санкт-Петербург, в г. Воркута, в г. Енисейск, в г. Улан-Удэ, в г. Якутск, в г. Комсомольск-на-Амуре, в г. Петропавловск-Камчатский;

- контрольную станцию и систему контроля фаз – в г. Щелково;

- квантово-оптическую станцию – в г. Комсомольск-на-Амуре;

- аппаратуру контроля навигационного поля – в г. Щелково и в г. Комсомольск-на-Амуре.

В процессе своего 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 означает 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. Краснознаменск. Там эти данные анализируются и, в случае необходимости, в реальном масштабе времени формируются соответствующие команды управления бортовыми системами, которые передаются на НКА с использованием тех же самых 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.

В дальнейшем 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 трекары систем мониторинга транспорта, в геодезические комплексы, в высокоточное бортовое оборудование для параллельного вождения сельскохозяйственной техники, в современные смартфоны и планшеты, в системы управления высокоточным оружием и т.д.

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. В свою очередь навигационный приемник (рис. 2.1) состоит из:

- радиочастотного блока, где происходит 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.

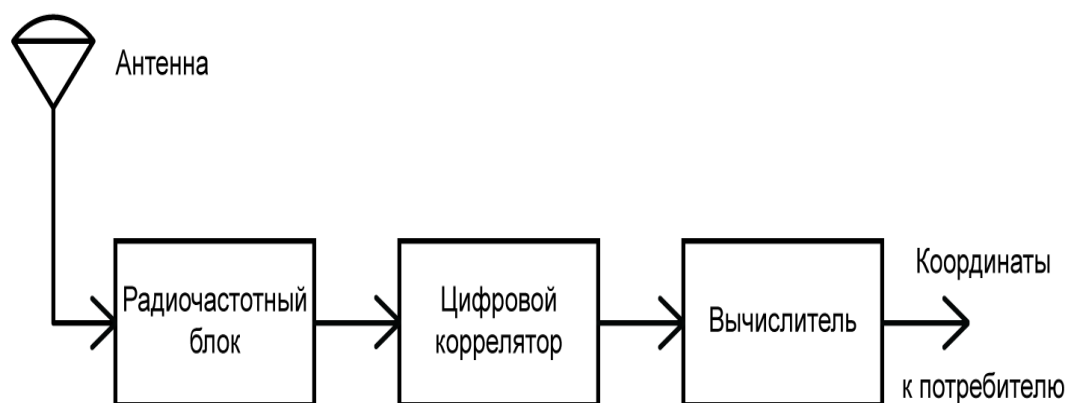


Рис. 2.1 Обобщенная структурная схема НАП

Области использования НАП космических навигационных систем (КНС) неуклонно 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 т.д.

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 года. Новые спутники серии ГЛОНАСС-К, запуск которых начался в 2011 году, передают дополнительные типы сигналов. В ГЛОНАСС используются спутники на круговых геоцентрических орбитах в трех орбитальных плоскостях по восемь спутников в каждой с высотой орбиты 19100 км над поверхностью Земли. Период обращения спутников ГЛОНАСС равен 11 часов 15 минут. 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 РФ 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 20000 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 метров (режим селективного доступа — S/A), но с мая 2000 года 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 одного метра. Два экспериментальных спутника были запущены в 2005 и 2008 годах. В настоящий момент на орбите находится 10 спутников и к 2020 году планируется увеличить их количество до 30. В 2020 году 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 году, 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 году, при этом спутниковая группировка составляла всего 16 спутников. Согласно государственной программе, к 2020 году 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 5 спутников на геостационарной орбите и 3 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 метров, а точность скорости – менее 0.7 метра в секунду. Точность дифференциального решения по фазе несущей составляет около 2-3 сантиметров.

2.2.6 Совместное использование различных спутниковых систем

В конце 2020 года, если реализуются планы по развитию европейской системы GALILEO и китайской BEIDOU, на орбите будет больше ста спутников, которые будут работать в различных навигационных системах. Поскольку геометрический фактор (характеристика потенциальной точности определения координат) зависит от количества спутников и от 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.

Для того, 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 могут выполняться в абсолютном режиме (стандартная навигация) и в дифференциальном режиме (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 метра.

Во вторую группу ошибок входят погрешности связанные с ионосферной и тропосферной задержкой, а также эффект многолучевости распространения сигналов. Следствием неоднородной плотности ионизации в верхних слоях атмосферы является ионосферная погрешность, которая имеет порядок 20-30 метров днем и 3-6 метров ночью. В одночастотной приемнике влияние ионосферы может быть смоделировано по данным навигационного сообщения с точностью около 50%. По этой причине остаточная погрешность ионосферы может достигать 10 и более метров. В двухчастотных

приемниках эффект влияния ионосферы может быть полностью скомпенсирован. Тропосферная погрешность связана с задержкой радиосигнала в нижних слоях атмосферы по причине изменениями 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.

Таблица 2.1

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

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 режиме приведены в таблице 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.

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 в настоящий момент 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 часов, а для GPS - 6 часов.

В навигационном приемнике производится автономный контроль целостности RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring). С помощью RAIM выполняется обнаружение неустойчиво работающего

спутника и исключение его из навигационного решения, 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 точно из-за расхождения шкал времени, задержек распространения сигнала и прочих ошибок.

Для определения местоположения навигационного приемника, находящегося над земной поверхностью, требуется определить псевдодальность минимум до четырех спутников. На основе одновременных 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.

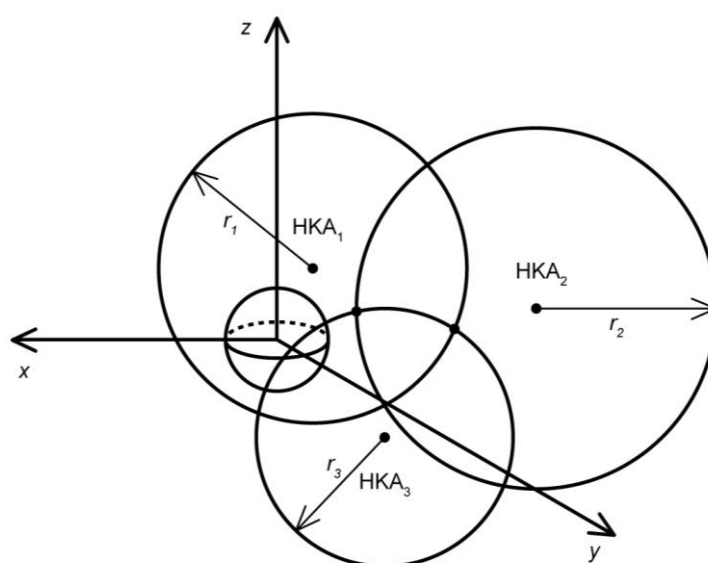


Рис. 2.2 . Определение местоположения методом пересечения сфер

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 (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 сигналы.

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 интегрирована в единый прибор, например, в смартфон. Встроенные антенны (чип-антенны и патч-антенны) обычно устанавливаются непосредственно на печатную плату прибора (рис. 2.4).



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

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. 2.5 Choke Ring антенна со снятым защитным кожухом

Работа радиочастотного блока в приемнике состоит 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 метров. 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 псевдодальности. 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 псевдодальностей (рис. 2.6).

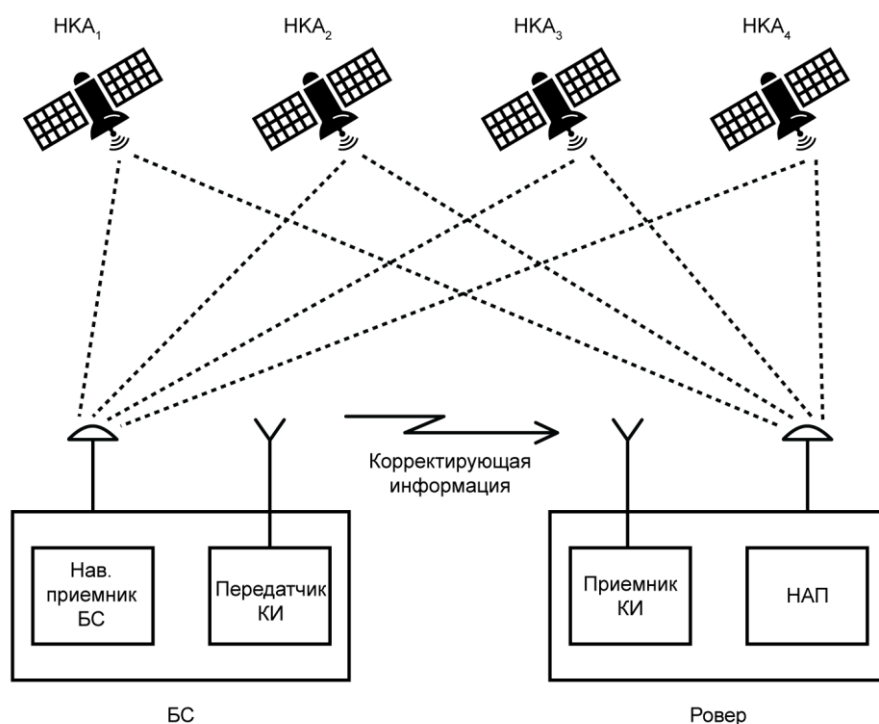


Рис. 2.6 Принцип организации ДР

Ровер, используя поправки от БС, корректирует свои параметры и получает координаты с более высокой точностью. Корректирующая информация БС получается путем сравнения текущих измерений псевдодальностей с точными данными координат БС, которые были получены при геодезической привязке. Если БС и ровер находятся достаточно близко, то измеренные псевдодальности 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. Данным 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 данный 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 снимается 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 таблицы 2.1). Степень компенсации тропосферных и ионосферных погрешностей зависит от идентичности условия прохождения спутниковых сигналов БС и ровера. Типичная остаточная ионосферная погрешность для спутников вблизи зенита составляет 0.1-1 м на дистанции в 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 происходит ослабление

корреляции (декорреляция) ошибок эфемерид из-за разностей в углах, под которыми наблюдаются спутники с разных точек. Так при дистанции в 100 км и ошибке эфемерид 10 м нескомпенсированная 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 метра в динамических условиях и порядка одного метра 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 стандарт 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 МГц и 450-470 МГц с мощностью передатчиков 2-35 Вт. В России для использования фиксированной радиочастоты требуется 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 5000 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 станции (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 ионосферная 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 минуты. 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. Система включает в себя 3 геостационарных спутника, 34 базовых станции мониторинга, а также 4 контрольных и 6 передающих станций. Заявленная точность определения координат при использовании системы EGNOS составляет около 1 метра. Система начала официальную работу с 2009 года.

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 две контрольных станции. Космический сегмент представлен семью геостационарными спутниками, расположенными над экватором на высоте 36000 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 20000 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 часа) и необходимость доступа в Интернет для получения необходимых 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

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

Как видно из представленного рисунка, 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.

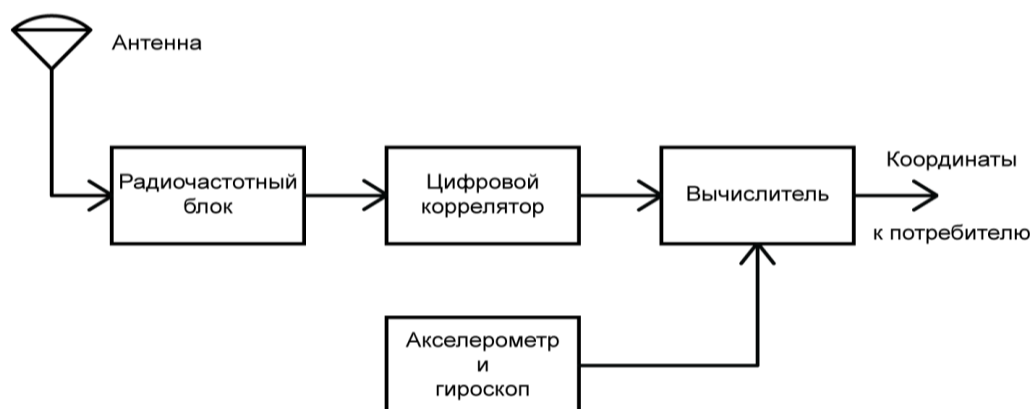


Рис. 2.7 Структурная схема навигационного приемника с ИНС, являющегося слабосвязанной системой

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 ниже.

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 хуже 0,999.

Персональная навигация

Этот сегмент навигации является самым массовым. Навигационные приемники в настоящее время 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). 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 года 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 автомобилями с массой более 12 тонн 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 увеличивает точность и оптимизирует геодезические работы, кроме того данные технологии ускоряют геодезические и кадастровые работы.

Сельское хозяйство

Использование РТК-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 в 2,5 см.

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

Дорожное строительство

Перспективным направлением в дорожном строительстве является использование системам 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 увеличить 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

Еще одной областью применения систем высокоточного позиционирования является 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.

Контрольные вопросы

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 потребителей? 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. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В ПЛАНИРОВАНИИ, МОНИТОРИНГЕ И АНАЛИЗЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНИКИ

3.1. Назначение географической информационной системы.

Географическая информационная система (ГИС) обеспечивает сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных. ГИС предназначены для решения научных и прикладных задач инвентаризации, анализа, оценки, прогноза и управления окружающей средой и территориальной организацией общества. Они позволяют создавать базы данных с пространственной информацией.

Геоинформационные технологии - это совокупность приемов, способов и методов применения программно-технических средств обработки и передачи информации, позволяющих реализовать функциональные возможности геоинформационных систем. Они включают: методы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), системы управления базами данных (СУБД), системы глобального позиционирования (GPS), методы анализа, интернет-технологии, системы картографирования, методы цифровой обработки изображений. Геоинформационные технологии применяются для составления тематических карт хозяйства, таких как карты использования земель, уклонов территории и экспозиций склонов, климатических и гидрологических условий, типов и характеристик почв, агрохимических данных, текущего состояния растений, урожайности и др. На основе анализа данных, представленных на перечисленных картах, осуществляется оценка агроклиматических условий данного хозяйства, необходимости внесения удобрений и возможности выращивания конкретной сельскохозяйственной культуры.

3.2. Модули, компоненты и программные обеспечения ГИС.

Обязательными модулями геоинформационной системы (ГИС) являются: графические и тематические базы данных; преобразование систем координат и трансформация картографических проекций; система управления, анализа и моделирования, система вывода и предоставления данных; взаимодействие с пользователем (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1. Общая схема функционирования геоинформационной системы

Важным компонентом ГИС являются данные двух основных типов: пространственные (картографические, векторные), описывающие положение и форму географических объектов, и их пространственные связи с другими объектами, и описательные (атрибутивные, табличные) - данные о географических объектах, состоящие из наборов чисел, текстов и т. д.

В зависимости от сложности задач и функционального предназначения ГИС может иметь мощное программное обеспечение и обрабатывать большие объемы информации, поступающей из разных источников. К таким ГИС относят AutoCad, ArcInfo, Arc View и др. В сельскохозяйственном производстве используют упрощенные, менее мощные по программному обеспечению (настольные) ГИС, включающие в себя персональный компьютер и требуемый набор пакетов программ, способных обрабатывать пространственную распределенную информацию и составлять карты, учитывающие свойства почв, урожайность культур и др. Среди них зарубежные ГИС - MapInfo, ArcGIS, AtlasGIS, WinGIS, MGE, MapPoint и российские - GeoDraw, Sinteks ABRIS, ГИС

«Хозяйство», «Панорама АГРО», «Карта 2011», мобильная ГИС электронного учета сельскохозяйственных земель «ГЕОУчетчик», информационно-аналитическая система «ГЕО-Агро», ГИАС «Управление сельскохозяйственным предприятием» и др.

Зарубежные разработки ГИС на рынке Узбекистана представлены давно, но из-за их высокой стоимости, а также отсутствия достаточного количества специалистов, умеющих с ними работать, при их использовании возникают определенные трудности.

3.3. Применение ГИС в сельском хозяйстве и решаемые задачи.

Сельское хозяйство — одна из важнейших отраслей материального производства.

Огромная площадь полей, большое количество сельскохозяйственной техники и транспортных средств, многочисленность людей, занятых в сельском хозяйстве определили потребность в разработке качественно новых методов управления земельными ресурсами и сельскохозяйственным производством.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством является использование информационных систем на базе геоинформационных технологий. Подобные системы позволяют решать следующие задачи:

- информационная поддержка принятия решений;
- планирование агротехнических операций;
- мониторинг агротехнических операций и состояния посевов;
- прогнозирование урожайности культур и оценка потерь;
- планирование, мониторинг и анализ использования техники.

Рассмотрим каждую из них более подробно.

Информационная поддержка принятия решений. Для обеспечения руководителей комплексом необходимой для принятия управленческих решений информации на платформе ГИС создается база данных, содержащая:

- цифровую модель местности, на которой осуществляются агротехнические операции;
- сведения о дистанционном зондировании;
- информацию о свойствах и характеристиках почв;
- карты посевов по годам;

историю обработки полей и т.д.

Для более эффективного использования, агрономическая ГИС должна содержать многослойную электронную карту хозяйства и атрибутивную базу данных истории полей с информацией о всех агротехнических мероприятиях. Обязательно должны быть включены слои мезорельефа, сведения о крутизне склонов, и их экспозиции, микроклимате, уровне грунтовых вод, содержании гумуса в почве и т.д.

Атрибутивная база данных, содержащая данные различного характера, связана со слоями электронной карты.

Привязку начинают с гидрографической сети, овражно-балочного комплекса, в большинстве случаев дополняют дорожной сетью и другими объектами. К конкретным объектам цифровой карты также привязывают пользовательские базы данных, включающие информацию о посевных площадях, данные о состоянии почв и др.

Для решения задач комплексного анализа в сельском хозяйстве используются электронные карты с результатами спутниковых геодезических измерений. Использование таких методов позволяет получать детализированную информацию об обширных территориях (сельскохозяйственное предприятие, административный район и т.д.). Возможность определения конфигурации полей, их ориентировки, площади, направления вспашки, состояния полей на момент съемки и способствует оперативной оценке сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, создание системы информационной поддержки процессов принятия решений на основе ГИС-технологий позволяет повысить общую эффективность сельскохозяйственного производства за счет предоставления актуальной аналитической информации по всему комплексу необходимых параметров для принятия оптимальных и своевременных управленческих решений.

Планирование агротехнических операций. Информационные системы управления на базе геоинформационных технологий играют немаловажную роль в планировании агротехнических операций.

Агротехническое планирование включает в себя следующие виды работ:

расчет потенциала и эффективности кадров и земельных ресурсов;
обмер полей (например, путем объезда по контуру с высокоточным GPS-оборудованием с максимальной точностью 1–3 см.);

составление структуры посевных площадей и севооборотов в формате векторной электронной карты;
анализ потребности в технике и оборудовании;
расчет необходимого количества удобрений;
формирование очередности операций обработки почвы, внесения удобрений и средств защиты.

На основе вышеперечисленных данных ежедневно для водителей и механизаторов составляются плановые задания на следующий рабочий день и при необходимости утром в них вносятся изменения.

Планирование, осуществляемое на основе данных ГИС позволяет сократить (или полностью исключить) простои в работе в случае нехватки кадров или техники, снизить стоимость агротехнических операций на единицу обрабатываемой площади и улучшить показатели урожайности.

Мониторинг агротехнических операций и состояния посевов.

В ходе решения данной задачи осуществляется регистрация всех агротехнических операций, затрат на их проведении, фиксация состояния посевов посредством наземных измерений, экспертных оценок агрономов и данных дистанционного зондирования Земли (аэро- и космических снимков).

Для мониторинга важны данные агрохимического анализа почв по каждому рабочему участку поля. Они могут быть получены двумя способами:

в результате собственных изысканий с применением пробоотборников и лабораторий по анализу проб;

в результате агрохимических обследований, выполненных специализированной организацией.

Анализ конечного результата и составление отчетов. С помощью ГИС удобно проводить анализ всех проведенных агротехнических операций и отображение этой информации в виде карт, таблиц, графиков. Учитывается поступление продукции с полей, реализация зерна с поля и с тока. При этом данные могут собираться как с диспетчерского центра, так и сниматься с электронных весов установленных на складах или токах. Принимается во внимание расходование пестицидов и удобрений. Изучается объем расходования семян при посеве.

Снизить расходование семян и удобрений становится возможным, например, при сведении к минимуму перекрытий посевных полос, используя систему параллельного вождения.

Прогнозировании урожайности культур и оценка потерь. Система прогнозирования урожайности строится на методах наблюдения за состоянием посевов с учетом влияния природно-климатических условий. Данная технология позволяет отслеживать динамику развития сельскохозяйственных культур, условий вегетации, определять сроки их созревания и оптимальные сроки начала уборки, проводить экономический анализ при минимальном и максимальном уровнях урожайности стабильно возможных для конкретных условий.

С учетом полученного прогноза урожайности на различных участках поля (включая затраты и возможную извлекаемую прибыль) принимается решение о дифференцированной обработке полей. С другой стороны, можно проанализировать возможные потери в соответствии с потенциалом урожая на бедных землях. Для более точного определения уровня урожайности на полях хозяйства используется система компьютерного мониторинга.

Эффективное функционирование картографической системы сельхозпредприятия возможно только при объединении разнородной информации в единую пространственную базу данных. Такая интеграция осуществляется путем построения объектной модели данных, в которую входят:

картографические слои;

таблицы с информацией по объектам (посевные площади, поголовье скота, объемы производства, реализации и потребления сельскохозяйственной продукции и продовольствия и т.д.);

аэро- и космические снимки.

Анализ данных в этой системе проводится средствами картографического анализа что дает возможность получать пространственно определенные данные прироста или снижения продуктивности.

В результате прогнозирования урожайности культур и оценки потерь руководство может рассчитать оптимальную цену на оборудование и материалы, в которых предприятие будет нуждаться в будущем, и определить закупочные цены на сельскохозяйственную продукцию.

3.4. Планирование, мониторинг и анализ использования техники.

Техническая подсистема сельскохозяйственных предприятий также не остается в стороне от использования геоинформационных технологий. Она включает:

- составление графиков использования техники и ее ремонта;
- анализ использования техники и горюче-смазочных материалов (всех перемещений техники, расчет пробега и обработанных площадей);

- определение оптимальных маршрутов движения и транспортировки техники от базы до обрабатываемых полей;

- определение оптимальных маршрутов доставки урожая до пунктов приема;

- контроль за скоростью перемещения техники при выполнении полевых работ;

- определение длины гона или оптимального расстояния между полями и пунктами сдачи сельскохозяйственной продукции по цифровой карте;

- формирование учетных листов трактористов-машинистов.

- формирование путевых листов автотранспорта.

Более подробно аспекты использования систем мониторинга подвижных объектов рассматриваются в статье «Применение ГИС-технологий в системах управления транспортным предприятием».

Также ГИС помогут усовершенствовать процессы, протекающие в животноводческом секторе, например, эффективно и с незначительными затратами решить следующие задачи картирования районов:

- со скудной природной растительностью;

- опустынивания вследствие перегрузки пастбищ;

- деградации природной растительности на пастбищах;

- с выбиванием растительности и эрозией почвенного покрова вокруг водоемов, на трассах перегонов и т.п.;

- с загрязненными стоками животноводческих комплексов и птицефабрик и т.д.

Нужно отметить, что из образующихся отходов в качестве удобрений используются в среднем менее 70%, остальная часть переполняет пруды-накопители, сбрасывается на прилегающие территории, попадая в водоемы и в подземные воды.

Руководящему составу использование ГИС-технологий поможет осуществить дистанционный контроль за работой хозяйства (управлять процессами в реальном времени), а также на основе получаемых отчетов анализировать эффективность вложений в производство.

Для диспетчерской службы применение данных технологий позволяет оперативно отслеживать местоположение техники, координировать работу механизаторов и водителей, в т.ч. посредством установления голосовой связи, а также контролировать расходование ГСМ и состояние техники.

Автоматизированное рабочее место агронома с использованием ГИС-технологий:

предусматривает ведение истории полей по урожайности, культурам, применяемым удобрениям и средствам защиты;

позволяет планировать внесение удобрений с учетом индивидуальных особенностей полей;

оказывает информационную поддержку при оценке качества работ и выработке предложений по их планированию.

Геоинформационные системы позволяют сотрудникам экономического подразделения проводить сравнительный анализ плановых и фактических данных, автоматизировать учет рабочего времени и формирование отчетов и справок.

Особенно важны ГИС-технологии в управлении сельскохозяйственным производством в регионах с рискованным земледелием. Для данных территорий необходим постоянный контроль за условиями развития культур и проведением агротехнических и агрохимических мероприятий. Надзор может осуществляться как на отдельных полях, так и в пределах района, области или более обширной территории.

В европейских странах использование ГИС-приложений в сельском хозяйстве уже давно стало необходимым компонентом в системе управления хозяйством. В нашей стране имеющиеся у сельхозпроизводителей картографические материалы часто не пригодны для работы, отсутствуют достоверные сведения как о местности, так и о характере землепользования, а уровень информационной подготовки работников хозяйства, как правило, не отвечает современным требованиям.

Отсутствие систематизации и отображения на карте всех данных агропромышленной деятельности и результатов их анализа негативно влияет на эффективность сельскохозяйственного производства. Для ру-

ководства предприятий это прежде всего непроизводительные затраты, снижение урожайности и качества продукции.

Внедрение прикладной ГИС и обучение сотрудников помогает в сравнительно небольшие сроки повысить эффективность работы сельхозпредприятия.

Практика показывает, что период окупаемости инвестиций направленных на внедрение прикладных ГИС составляет от 1 года до 3-5 лет в зависимости от масштаба внедряемой системы, а первый эффект от внедрения системы отчетливо виден уже по окончании первого сезона применения. Конкурентоспособность растет вместе с прибыльностью бизнеса в результате снижения затрат и роста эффективности использования имеющихся ресурсов.

Контрольные вопросы и задания

1. Чем заключается назначение географической информационной системы?
2. Какие модули и компоненты имеются для ГИС?
3. Что Вы знаете о программном обеспечении ГИС?
4. Для чего применяется ГИС в сельском хозяйстве и какие задачи решаются с их помощью?
5. Как осуществляется планирование, мониторинг и анализ использования техники с помощью ГИС?

4. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

4.1 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 мы 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 ДЗЗ является наличие источника излучения, которым

может являться как сам исследуемый объект (в этом случае регистрируется 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.

4.2. 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:

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

где v – 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.

4.3 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) (таблица 4.1).

Таблица 4.1.

Внутри диапазонные подгруппы ультрафиолетового излучения

Наименование	Длина волны в нанометрах	Аббревиатура
Ближний	400—300 нм	NUV
Ультрафиолет А, длинноволновой диапазон	400—315 нм	UVA
Средний	300—200 нм	MUV
Ультрафиолет В, средневолновой	315—280 нм	UVB
Дальний	200—122 нм	FUV
Ультрафиолет С, коротковолновой	280—100 нм	UVC
Экстремальный	121—10 нм	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 фотолюминесценции. Большая часть УФ-В и УФ-С поглощается атмосферой. Общее количество УФ-лучей, достигающее поверхности Земли, зависит от следующих факторов:

- от высоты Солнца над горизонтом
- от высоты над уровнем моря
- от рассеяния в атмосфере
- от состояния облачного покрова
- от степени 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.

Таблица 4.2

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 зеленый 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, отличаются в зависимости от длины волны. Международная организация стандартизации предлагает следующее разделение ИК-диапазона на подгруппы (таблица 4.3).

Таблица 4.3.

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

Диапазоны инфракрасного излучения по ISO 20473.

В англоязычных источниках используется схема деления, основанная на наблюдаемых свойствах Ик-излучения (таблица 4.4):

Ближний ИК (NIR) слабо поглощается атмосферой, поэтому в качестве источника этого типа излучения можно использовать Солнце. По своим свойствам ближний ИК близок к видимому свету, может регистрироваться видеокамерами 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 (**SWIR**) заключаются в том, что в этом диапазоне расположены полосы поглощения воды (1,45 мкм и др.).

Таблица 4.4.

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

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 основе арсенида индия-галлия (InGaAs). Больших успехов в производстве InGaAs и приборов на его основе достигли в США и Японии. По состоянию на 2016 год, 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 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, и даже могут проникать сквозь воду и почву. Активное зондирование в СВЧ-диапазоне (микроволны) используется для радиолокации, измерения почвенной влажности и в других задачах.

4.4 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. В случае зондирования с космического аппарата, преодолеваемое излучением расстояние значительно больше, чем в случае авиационного зондирования, 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 зависимость интенсивности рассеянного света от длины волны в 1871 году. 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 тот факт, 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, т.н. «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, а над тропическим лесом – огромное. Следует обратить внимание, что облака представляют собой сконденсированный водяной пар, т.е. воду в жидкой или кристаллической фазе (лед). Водяной пар (т.е. вода в газообразном состоянии).

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 интенсивно. 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).

4.5 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:

1. Поглощение
2. Пропускание

3. Отражение.

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

Согласно закону сохранения энергии, энергия падающего излучения равна сумме поглощенной энергии, энергий отраженного излучения 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, равной 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 . Так же 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 длины 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.

4.6 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 съёмки, 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 aberrаций. 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 разрешение» заключается в том, что данная величина является характеристикой изображения, а параметры регистрирующей системы являются лишь одним из факторов, ее ограничивающих (рис. 4.1 и 4.2).



Рис.4.1. Изображение опоры ЛЭП, пиксельное разрешение 5 см



Рис.4.2. Изображение опоры ЛЭП, пиксельное разрешение и 15 см

В то же время, пиксельное разрешение однозначно может быть определено для заданного прибора и заданной 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. Про более детальные картографические материалы говорят «крупный масштаб», про менее детальные – «мелкий масштаб».

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.

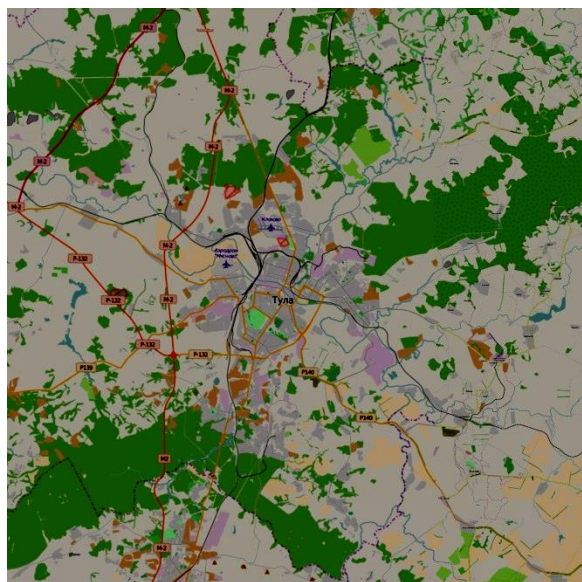


Рис. 4.3. Карта области – мелкий масштаб



Рис. 4.4. Карта района города – крупный масштаб

© Участники OpenStreetMap¹¹ Изображения карты лицензированы под CC-BY-SA. (См. <http://www.openstreetmap.org/copyright> и <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>).

Альтернативным способом изучения спектральных характеристик является применение цифровых камер, в которых разделение по длинам волн достигается за счет применения светофильтров. При этом, возможно 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 проходами КА над фиксированной точкой поверхности Земли. Другими словами, это минимальный временной интервал между получением двух снимков одной и той же территории 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 т.ч. 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.

4.7 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 т. д.

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.

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

- *пространственные координаты* определяют положение точек объекта в пространстве;
- *координаты на фотографии* определяют положения точек объекта на аналоговом или цифровом снимке;
- *элементы внешнего ориентирования* фотоаппарата определяют его положение в пространстве и направление съёмки;
- *элементы внутреннего ориентирования* определяют 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 пр.) 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 измерительную марку совмещают 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 своем большинстве 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.

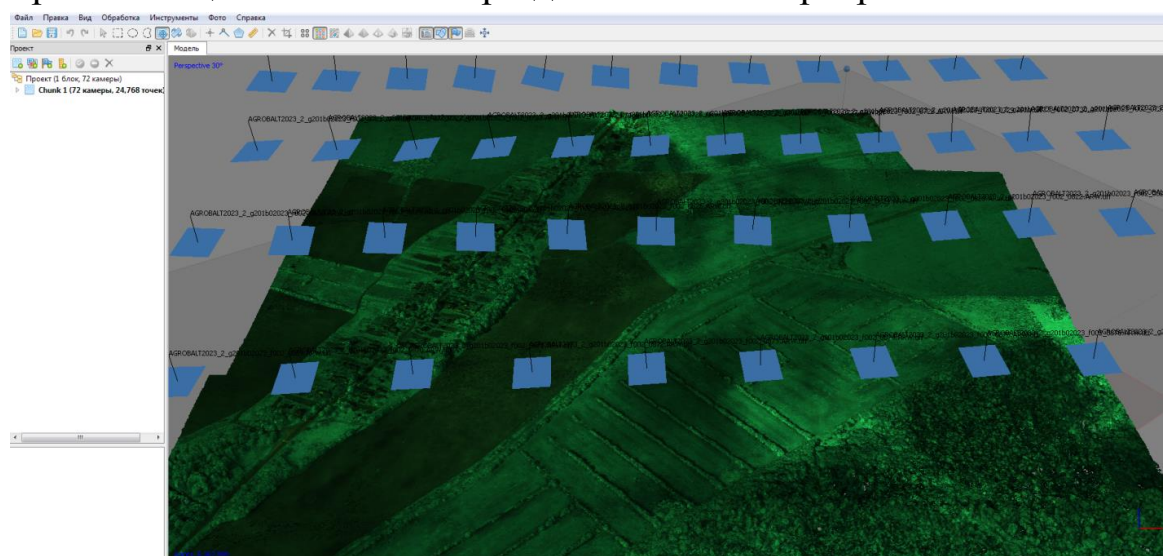


Рис. 4.5. Вид рабочего окна фотограмметрического ПО Agisoft Photoscan. Отобрана восстановленная трехмерная модель местности (штрихи над прямоугольниками указывают ориентацию камеры).

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** непосредственно рассчитывается из трехмерной модели, как только у модели появляется геодезическая привязка.

При дальнейшем анализе, ортофотопланы используются для дешифрования, как автоматического, так и визуального. Ортофотоплан 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, для вертикальной планировки склоновых земель, профилирования осушаемых и орошаемых земель, выявления потенциально затапливаемых участков пашни, предотвращения водной эрозии почв.

4.8. 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 аппаратов -- 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 года. Предыдущий аппарат серии, Landsat 7, выведен на орбиту в 1999 году и продолжает работу. Landsat 8 получает изображения в видимом диапазоне, в ближнем ИК и в дальнем ИК, с разрешением от 15 до 100 метров. По сравнению с предшественником, радиометрическое разрешение получаемых изображений увеличено с 8 бит до 12 бит.

Набор инструментов Operational Land Imager (OLI) является основным на спутнике. Ширина поля зрения спутника — 185 километров. OLI работает в 9 спектральных диапазонах, семь 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 в 185 километров. 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.

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 времени 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.

Таблица 4.5

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

В качестве аппаратуры для ДЗЗ на БЛА наиболее часто используются 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. Также 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 метров, 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?

5. БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

5.1 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 году в небе над Парижем с воздушного шара. А первую в мире аэрофотографию с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) получил французский фотограф Артур Батут в 1887 году с использованием воздушного змея. И только в 1935 году 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) на текущий момент входит 135 производителей беспилотных летательных из 52 стран мира.

Гражданская область применения БПЛА весьма 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 видео съемка) 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 хозяйство и лесничество,
- 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 своим спецификациям и набору характеристик (назначение, вес, размер, продолжительность и высота полёта, система запуска и приземления, наличие систем автопилотирования и навигации, формат фото- и видеосъёмки и др.).

5.2. 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.

5.3. Управление беспилотными летательными аппаратами

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

Существует 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 прежде 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. Автоматическое управление 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 авиамодели – 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, т.к. 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 влиять на полет с наземной станции может помочь избежать внештатных ситуаций.

5.4. Беспилотная авиационная система

В Федеральном законе от 30 декабря 2015 г. N 462-ФЗ "О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов" вводится термин

Беспилотная авиационная система - комплекс, включающий 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:

- Интегрированная навигационная система;
- Приемник спутниковой навигационной системы;
- Автопилот. Задачи автопилота:
 - 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.

5.5. Предпосылки применения беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки

Предпосылками применения 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 удается 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:

Съемка 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 Агистралы.

Таким образом, плюсами применения БПЛА являются:

1. Рентабельность
2. Возможность съемки с небольших высот и вблизи объектов.

Получение снимков высокого разрешения.

3. Оперативность получения снимков.
4. Возможность применения в зонах чрезвычайных ситуаций без риска для жизни и здоровья пилотов.

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

5.6 Обзор моделей беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки

Исходя из вышеприведенного, можно сформулировать ряд признаков 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.

- Коммерчески доступные – 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 вышеперечисленным признакам и активно применяются на практике. Российские эксплуатанты БПЛА предпочитают закупать отечественные модели, поскольку данная техника требует высокого уровня тех. поддержки (тестирование перед покупкой, обучение работе с БПЛА персонала) и оперативного сервиса (ремонт, зап. части). Кроме того, ввоз импортных БПЛА сопряжен с таможенными хлопотами и получением разрешений.

5.6.1 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 нагрузок.

Система специально разработана для выполнения аэросъемочных работ. Использование специализированного программного обеспечения для планирования аэросъемочных маршрутов и профессионального аэросъемочного оборудования позволяют качественно выполнять все

виды аэрофотосъемочных работ, в том числе и плановую топографическую аэрофотосъемку местности.



Рис.5.1. Беспилотная авиационная система (БАС) «Птеро-G0»

Таблица. 5.1

Технические характеристики БАС «Птеро-G0»

Характеристика	Величина, размерность
Силовая установка	4-х тактный Saito FG-40 (бензиновый)
Топливо	смесь двухтактного масла с бензином Аи-95 (1:30)
Автопилот	PteRoBot
Минимальная безопасная высота полета	80 м
Практический потолок	3000 м
Максимальная высота старта над уровнем моря(с высотным винтом)	2000 м
Крейсерская скорость	85...125 км/ч

Характеристика	Величина, размерность
Скорость срыва в горизонтальном полете при массе 20 кг	50 км/ч
Время полета с полезной нагрузкой 2 кг	до 8 ч
Максимальная прямая техническая дальность полета	до 800 км
Взлетная масса БЛА с полной нагрузкой	20 кг
Масса полезной нагрузки	до 5 кг
Радиус действия ближнего канала связи при высоте полета 500 м над рельефом	до 15 км в прямой видимости
Радиус действия дальнего канала связи при высоте полета 500 м над рельефом	до 75 км в прямой видимости
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	15 м/с
Максим. скорость встречного ветра при старте	8 м/с
Максим. скорость ветра при парашютной посадке	4 м/с
Взлет	с пневматической катапульты
Посадка	на парашюте с амортизирующей подушкой
Площадка для взлета и посадки	200x100 м
Влажность	до 98%
Диапазон температур	-30...+40° С
Метеорологические условия эксплуатации	ПМУ

5.6.2 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, датчиком влажности, датчиком температуры, датчиком тока, датчиком температуры двигательной установки, отцепом парашюта, воздушным амортизатором для защиты целевой нагрузки при посадке и поисковым передатчиком.



Рис.5.2. Беспилотный самолет ZALA 421-16E

Таблица 5.2.

Технические характеристики ZALA 421-16E

Характеристика	Величина, размерность
Радиус действия видео/радиоканала	50 (70*) км / 50 (70*) км
Продолжительность полета	более 4 ч
Размах крыла БЛА	2815 мм
Длина БЛА (без ЦН)	1020 мм
Максимальная высота полета	3600 м
Взлет	Пневматическая или механическая катапульта

Характеристика	Величина, размерность
Посадка	Парашют /в сеть
Тип двигателя	Электрический толкающий
Скорость	65-110 км/ч
Максимальная взлетная масса	8 - 10,5 кг
Масса целевой нагрузки	до 1,5 кг
Навигация	ИНС с коррекцией GPS/ГЛОНАСС, радиодальномер
Целевые нагрузки	Тип «16Е+»
Дополнительные ЦН	Встроенный фотоаппарат 16 Мп
Планер	Две съемные консоли и фюзеляж
АКБ	21000 мАч 7S или 10000 мАч 10S
Максимально допустимая скорость ветра	15 м/с
Диапазон рабочих температур	-30°C...+40°C
Встроенный модуль автоматического сопровождения цели	

5.6.3. Беспилотный летательный комплекс Геоскан 201 Агро

Комплекс на базе Геоскан 201 PRO производства группы компаний Геоскан, специально разработанный для решения целого спектра задач сельского хозяйства. С мультиспектральной камерой и ГИС Спутник Агро в комплекте Вы сможете проводить обследование и инвентаризацию земель, сопровождать мелиоративное строительство, оперативно создавать карты NDVI, планировать внесение удобрений и контролировать проведение агротехнических мероприятий.



Рис.5.3. Беспилотный летательный комплекс Геоскан 201 Агро

Технические характеристики Геоскан 201 Агро

Характеристика	Величина, размерность
Продолжительность полета	до 180 мин
Макс. протяженность маршрута	210 км
Площадь съемки за 1 полет	7-22 км ²
Рекомендуемая допустимая скорость ветра	до 10 м/с
Макс. допустимая скорость ветра	12 м/с
Скорость полета	64-130 км/ч
Максимальная взлетная масса	8 кг
Макс. масса полезной нагрузки	1.5 кг
Размах крыльев	230 см
Двигатель	электрический
Мин. безопасная высота полета	100 м
Макс. высота полёта	4000 м
Время подготовки к взлёту	10 мин
Температура эксплуатации	От -20 до +40 °С (доп.опция от -40 до +40 °С)
Взлет/ посадка	с катапульты / на парашюте, в автоматическом режиме

5.6.4. 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 1 год в объеме 50 часов и расширенную гарантию в 70 полетов на БПЛА.



Рис.5.4. Беспилотный летательный комплекс Геоскан 401 Про

Технические характеристики Геоскан 401 Про

Характеристика	Величина, размерность
Продолжительность полета	до 60 мин
Макс. протяженность маршрута	15 км
Площадь съемки за 1 полет	до 0.5 км ²
Макс. допустимая скорость ветра	до 10 м/с
Скорость полета	0-50 км/ч
Макс. взлетная масса	9.5 кг
Макс. масса полезной нагрузки	2 кг
Размер в сложенном виде	71x20x19 см
Двигатели	электрические
Размер в полетном виде	156x156x56 см
Мин. безопасная высота полета	10 м
Макс. высота полёта	500 м
Время подготовки к взлёту	5 мин
Температура эксплуатации	От -20 до +40 °С (доп. опция от -40 до +40 °С)
Взлет/ посадка	вертикально, в автоматическом режиме, площадка 5x5 метров

5.7 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 с/х 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. 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 сохранения урожая, либо произвести адресную обработку посевов, с целью экономии агрохимикатов.

Проведение аэрофотосъемки в ранне-весенний период, после схода снега, позволяет определить эрозионные участки поля и откорректировать агротехнологию, для предотвращения деградации почвенного слоя (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Эрозионные участки поля

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



Рис. 5.6. Пример агротехнологических погрешностей

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.5.7). Данная информация позволяет оценить объемы возможного выноса питательных веществ с поверхности при различных погодных условиях и рассчитать объем работ по профилированию поля.

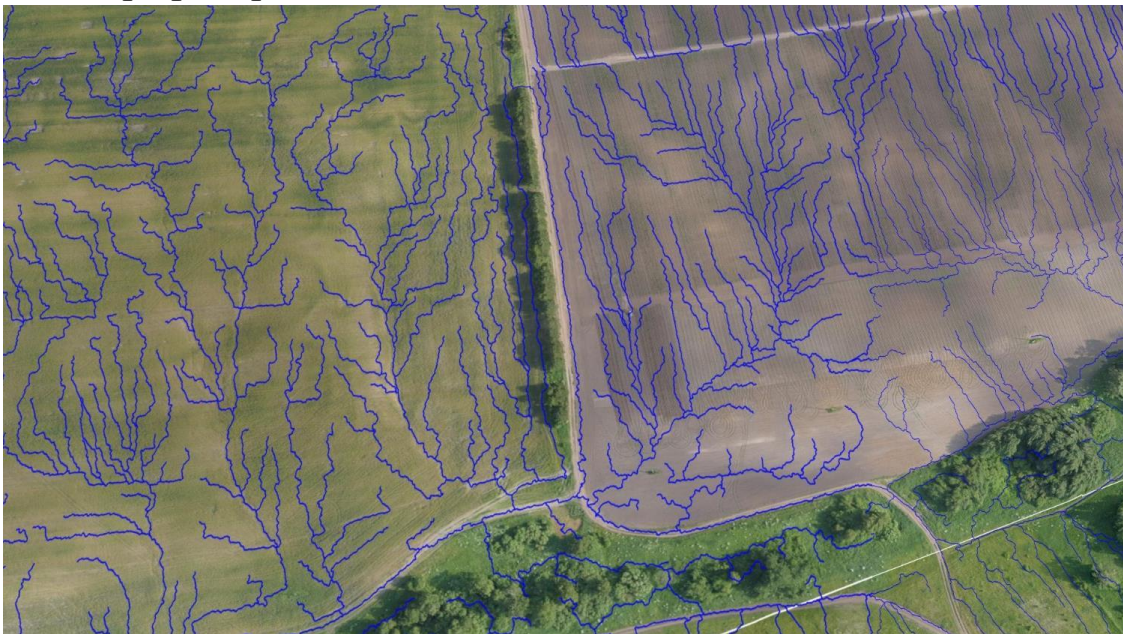


Рис. 5.7. Моделирование движения водных потоков

Особую важную роль беспилотная аэрофотосъемка имеет 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.5.8.).

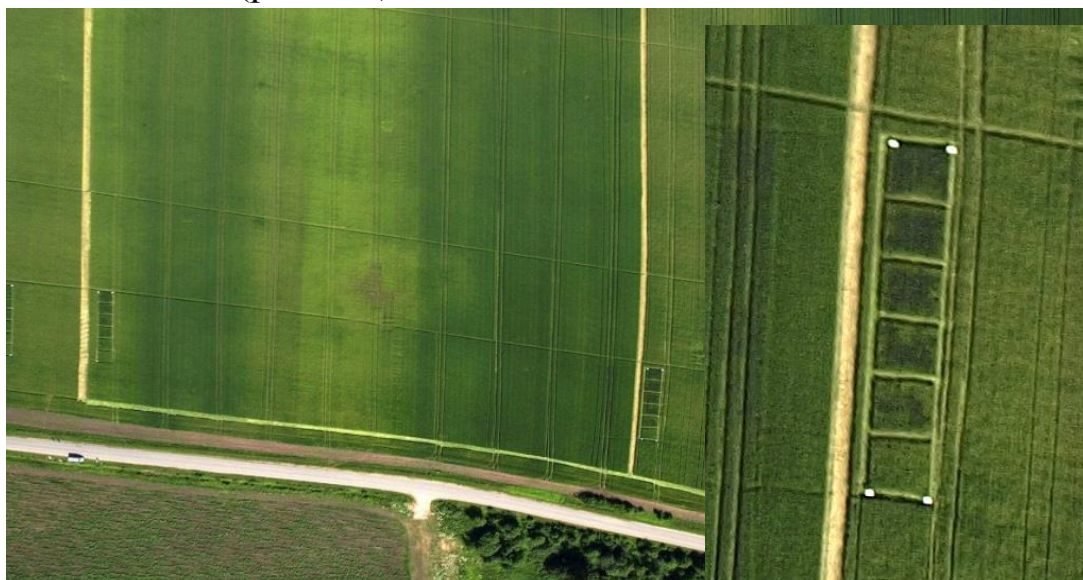


Рис. 5.8. Тестовые площадки с различными известными дозами азотного питания



Рис. 5.9. Фрагмент неработающего водоприемника, в котором наблюдается застой воды.

При проведении калибровки аэрофотоснимков, эти площадки используются в алгоритмах выделения однородных зон как эталонные,

что позволяет отказаться от проведение дополнительных агрохимических анализов и экономит время на выработку управленческих решений.

Проведение дифференцированной подкормки на производственных посевах позволяет экономить минеральные удобрения до 30%, повышать урожайность культур до 16% и увеличивать качество зерна. Аэрофотосъемка территорий хозяйств позволяет определить состояние мелиорируемых земель и мелиоративных систем.

Так на рисунке 5.9 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. И наблюдается застой воды в канале. Причиной этого является неработающий должным образом водоприемник. При обильных осадках потери урожайности на данном поле могут достигнуть до 50%, а вовремя принятые меры позволят избежать этого.

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 состояние 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. Какие основные преимущества применения БПЛА в координатном земледелии?
9. Назовите некоторые основные технические характеристики БПЛА.
10. Какие недостатки применения БПЛА в сельском хозяйстве?

6. СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЖДЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

6.1 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. 6.1).

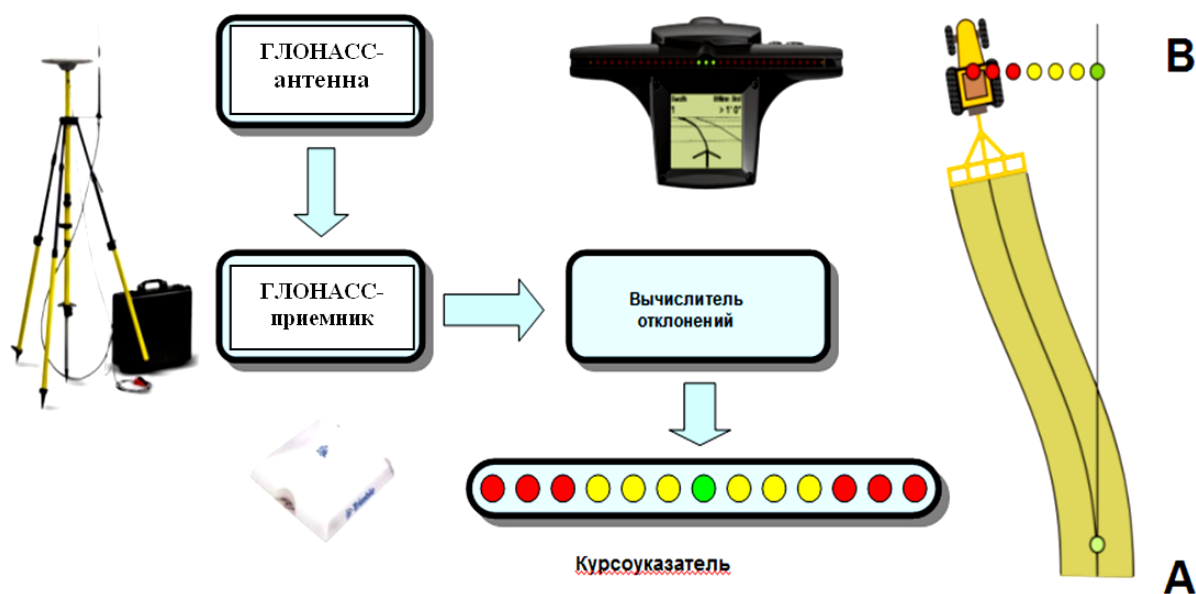


Рис. 6.1 Принцип функционирования курсоуказателя

Система параллельного вождения является самой наглядной и быстро окупаемой частью технологии координатного земледелия, предназначена для проведения полевых работ и наиболее эффективна в условиях применения 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). Обучение механизаторов работе с данным видом оборудования, в зависимости от желаемой «глубины» изучения, составляет от нескольких минут до суток.

Поэтому использование приборов параллельного вождения с точностью ведения агрегата ± 30 см очень ограничено и используется, в основном, только на внесении удобрений.

Основное преимущество использования систем параллельного вождения — уменьшение 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 снижает перекрытие до 2...3 % и менее.

Минимальный набор для параллельного вождения с точностью ± 30 см показан на рис. 6.2. Основными его компонентами являются: светодиодная панель, антенна, установочная площадка антенны, крепежная стойка, набор соединительных кабелей, программное обеспечение и инструкция по использованию.

Системы параллельного вождения завоевали особо распространены в Австралии и США. Использование навигационных систем, позволяет фермерам каждый год практически безошибочно находить технологическую колею. Приветствуют систему параллельного вождения и фермеры Западной Европы, где конфигурация полей в большинстве случаев очень сложна (рис. 6.3).



Рис. 6.2 Стандартные компоненты для параллельного вождения



Рис. 6.3 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.

6.2 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 автопилоты 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. 6.9) 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. 6.8). 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. 6.4);

дисплей (рис. 6.6) или светодиодная панель (рис. 6.5);

контроллер для расчета отклонений на неровностях антенны приемника и корректировки направления движения (рис. 6.7);

подруливающее устройство (рис. 6.10).

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. 6.11).



Рис. 6.4 ГНСС-приемник AgGPS 252

ГНСС-приемник поддерживает различные варианты для поправок GPS, в т.ч. WAAS, OmniSTAR. Использование этих поправок позволяет обеспечить точность проходов до ± 10 см.



Рис. 6.5 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. Она имеет графический дисплей с возможностью считывания данных при ярком солнечном свете.



Рис. 6.6 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. 6.7 Контроллер AgGPS NAVCONTROLLER II

Контроллер, используя данные от ГНСС-приемника и внутренних датчиков, находящихся в состоянии покоя и работающих по 6 осям, передает команды для системы управления.



Рис. 6.8 – Датчик угла поворота колес

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



Рис. 6.9 – 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. 6.10 – Подруливающее устройство

Подруливающее устройство обеспечивает параллельное вождение с точностью до 10 см.



Рис. 6.11 – Контрольно-корректирующая станция (станция RTK)

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).

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. 6.12.

Кстати сказать, обычная спутниковая навигация, широко применяемая на автомобильном транспорте, может дать максимальную точность только около 2 м, что, естественно, 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.

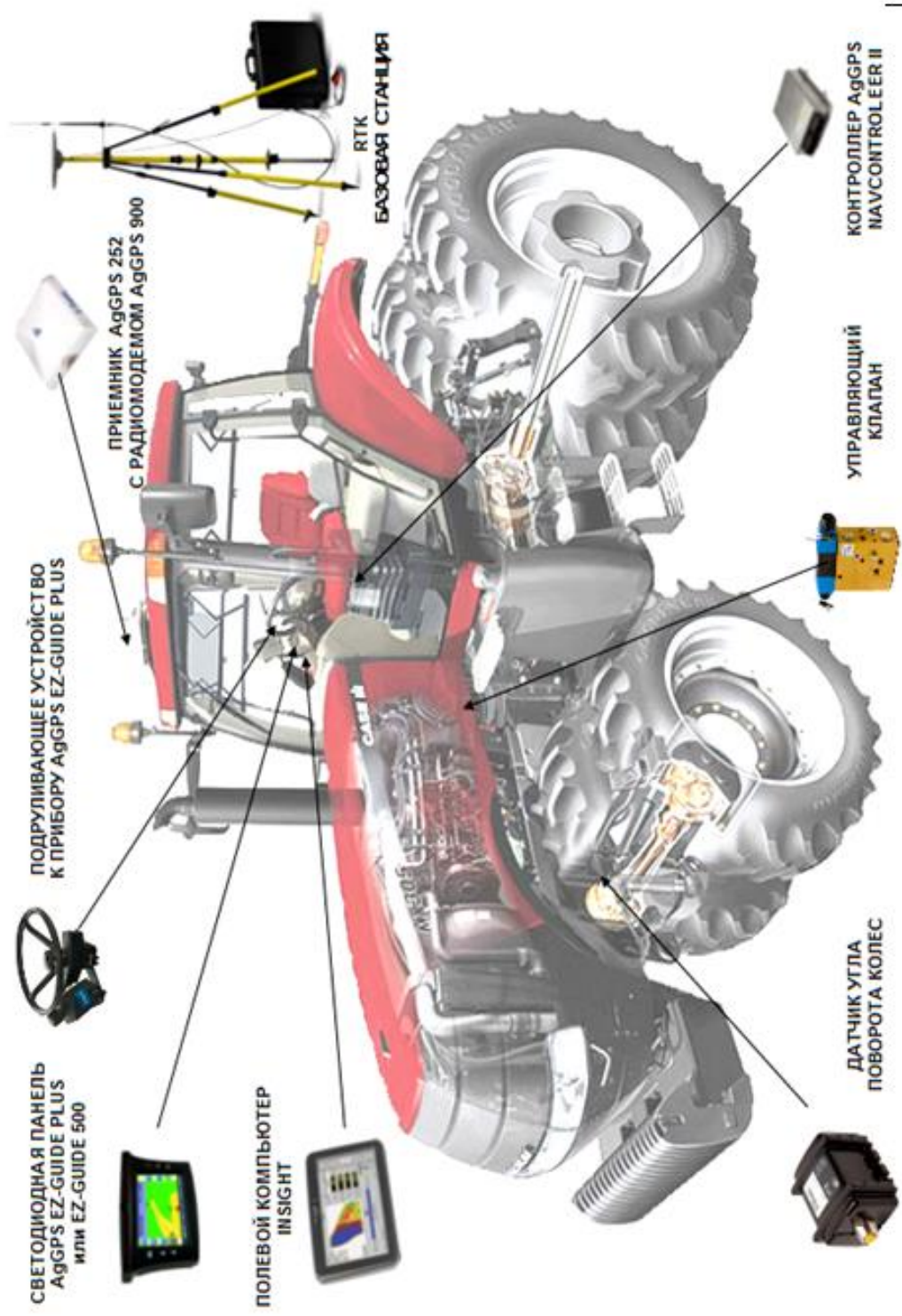


Рис. 6.12. Расположение оборудования для параллельного и автоматического вождения на тракторе (рисунок с сайта <http://www.trimble.com/agriculture/autopilot.aspx>)

В настоящее время в мире действуют несколько сервисов поправок, но в Российской Федерации работает только один — Omnistar НР/ХР. 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 либо 900 МГц (рис. 6.13).

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.



Рис. 6.13. Работа сельскохозяйственной техники с RTK-станцией

К тому же существует ограничение по площади действия, обуславливаемое характеристиками сигнала. Так, для RTK-станции это ограничение — 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.

Так как точность вождения напрямую зависит от точности измерений ГНСС-приёмника, то очень важно знание механизаторами основных принципов работы приёмников. На точность определения местоположения влияет 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. 6.14) имеют специальный интерфейс, существенно облегчающий работу.



Рис. 6.14 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, топливно-смазочные 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. 6.15), однако точность ведения, особенно при работе с прицепными агрегатами, выше при движении по прямым линиям.

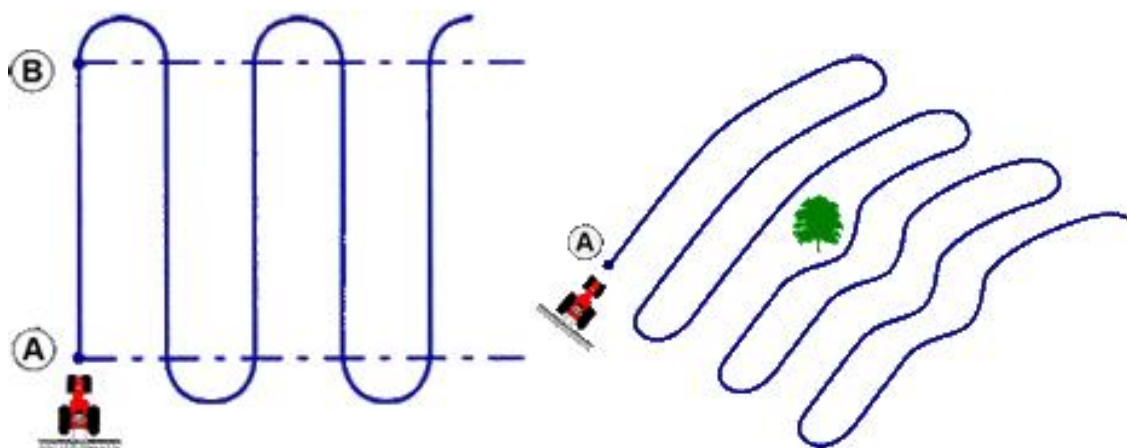


Рис. 6.15. Возможная траектории движения агрегатов
(рисунок с сайта http://www.geomir.ru/ag_navigation_ru)

6.3 Испытания систем параллельного и автоматического вождения

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

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.

Таблица 6.1

Результаты оценки систем параллельного вождения

Показа-тели	Модель (фирма)						
	EZ Guide 250 Trimble	PCS 110 Topcon	Track-Guide Müller Elektronik	GPS Copilot Claas Agrosystems	Lightbar John Deere	Easy Drive Helm	Centerline 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 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

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 таким возможностям отличные оценки у EZ Guide 250 и PCS 110 («Торсон»). В противоположность им 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 следоуказателя, оценивалась по величине отклонения от линии идеальной траектории в ту или иную сторону и величине размаха отклонений (рис. 6.16).

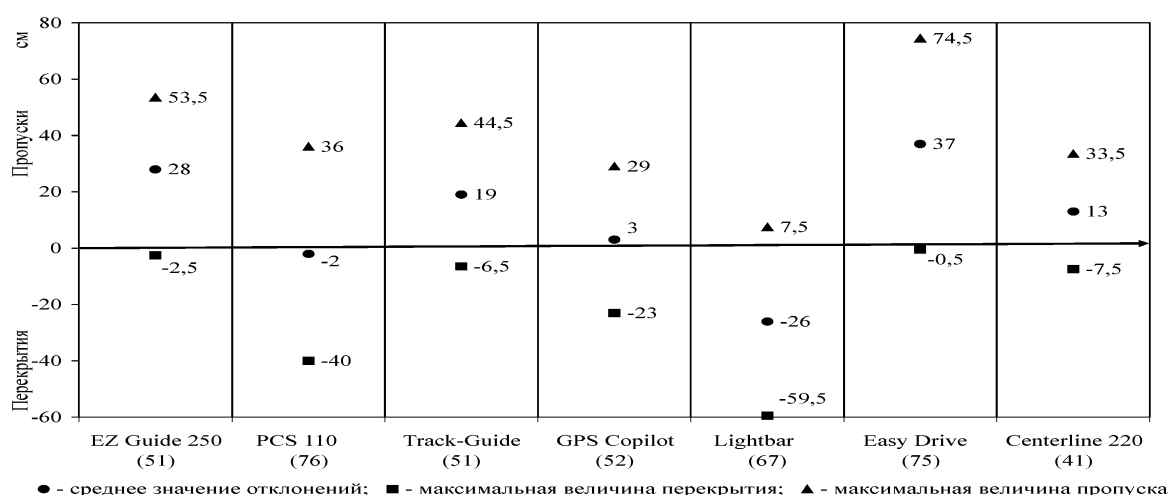


Рис. 6.16. Оценка точности систем параллельного движения по величине отклонений от теоретической траектории движения (в скобках после марки прибора величина размаха отклонений)

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). Самую большую величину пропусков допускает прибор Easy Drive (74,5 см), а перекрытий – Lightbar (59,5 см).

Таблица 6.2

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
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.

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. 6.2).

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 наилучшими оказались Auto Track (1,52 балла), Vario Guide (1,55) и Ag GPS FmX (1,74).

Таблица 6.3.

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.

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 РТК, значительно выше.

В табл. 6.3 представлены данные исследований стыковых междурядий при посевах различных культур в Центре точного земледелия РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева по маркеру (рис. 6.17) и с использованием системы «Автопилот» (рис. 6.18).



Рис. 6.17. Вид неравномерного стыкового междурядья при посеве по маркеру



Рис. 6.18. Вид стыкового междурядья при посеве на «Автопилоте»

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.

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.

В ходе исследований наблюдалась неодинаковая ширина стыковых междурядий между смежными проходами сеялок при посеве зерновых культур и викоовсяной смеси по маркеру (рис. 6.17). Такая нестыковка междурядий может иметь отрицательные последствия, особенно при выращивании пропашных культур.

При использовании системы «Автопилот» таких существенных отклонений не наблюдалось (рис. 6.18).

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.

Одно это обстоятельство может существенно повысить эффективность работ в сельском хозяйстве: два механизатора могут работать по очереди на одном тракторе без перерыва 24 часа в сутки и проводить посевную в кратчайшие и лучшие агротехнические сроки (рис. 6.19).

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



Рис. 6.19. Работа в ночное время с использованием системы «Автопилот»

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. 6.20). Это приводило к одностороннему изменению нарастания вегетативной части, неравномерности в образовании и развитии подземных клубней, а главное, снижению качества продукции из-за появления большого количества зеленого картофеля.



Рис. 6.20. Возможные проблемы при гребнеобразовании картофеля (работа без автопилота): сужение гребня (слева); отклонение от центра (справа)

Автопилот без труда справлялся с такими задачами, которые обычному механизатору было бы выполнить очень тяжело, 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 3,0 см. Как результат – прямолинейные гребни и дружные последующие всходы даже на склоне (рис. 6.21).

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 из-за наложения 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.



Рис. 6.21. Прямолинейные гребни и идеальные всходы картофеля (посадка и гребнеобразование проводились на «Автопилоте»)

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.

В тоже время следует отметить, что до настоящего времени надежных отечественных систем для автоматического вождения

сельскохозяйственной техники пока не существуют и только находятся в разработке.

При этом тенденция развития растениеводства на сегодняшний день такова, что без сомнения, 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 вождений 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?

7. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЧВЫ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

7.1. Геоинформационные системы в сельском хозяйстве

Работы по использованию ГИС-систем в сельском хозяйстве Российской Федерации начаты Минсельхозом России в 1999 году. В настоящий момент разработана общая структура отраслевой ГИС (рис. 7.1). Она состоит из двух основных частей: блок картографической информации, блок представления результатов спутникового мониторинга.

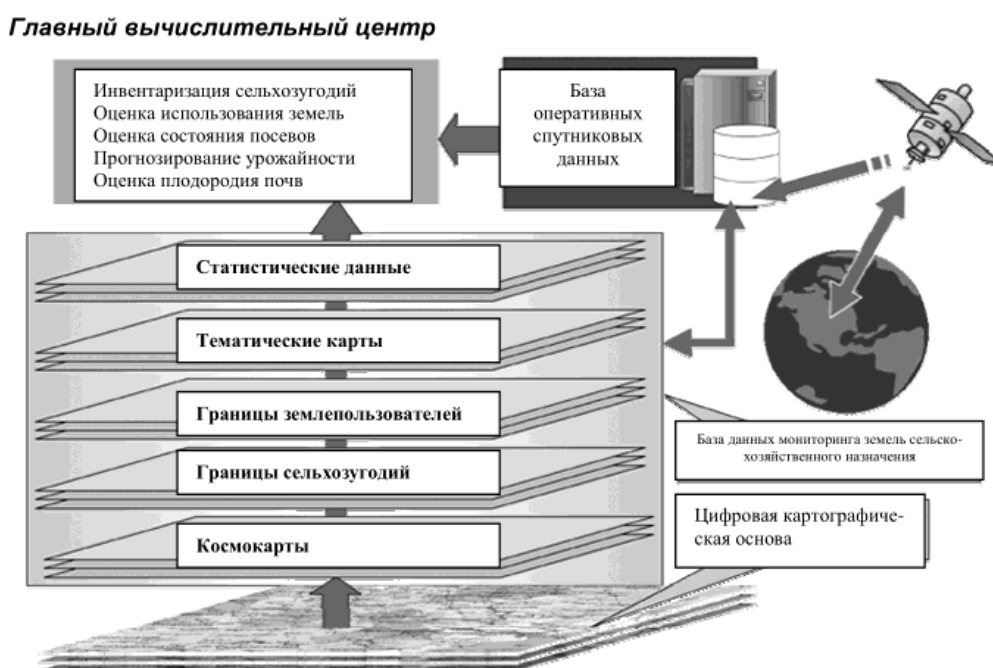


Рис. 7.1 Система мониторинга агроресурсов на основе ГИС

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

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

Первое направление ставит перед собой задачи в получении базового картографического материала и создании 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 работ по созданию систем спутникового мониторинга с использованием геоинформационных технологий – 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 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 – нави-гатор и др.

7.2. Электронные карты полей

Анализа и оценка состояния сельскохозяйственных угодий является основной координатного земледелия и предполагает сбор, хранение, обработку и анализ огромного количества информации, привязанной к конкретным участкам земли. Лучшим способом организации информации о сельскохозяйственных угодьях является электронная карта (рис. 7.2) и привязанная к ней база данных.

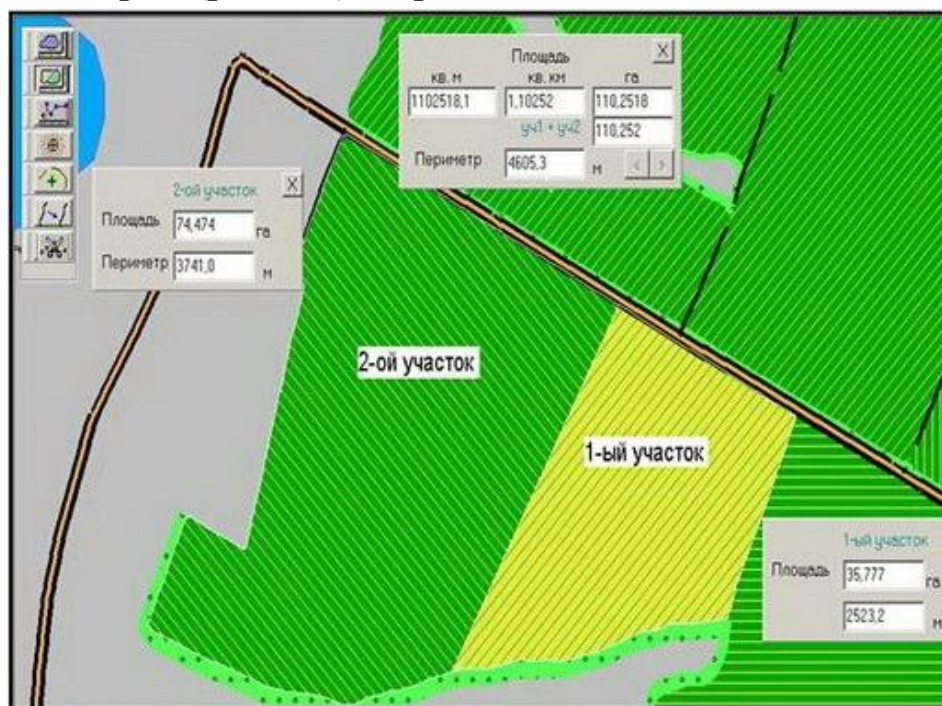


Рис. 7.2. Электронная карта поля

Главнейшим 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. 7.3).

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.

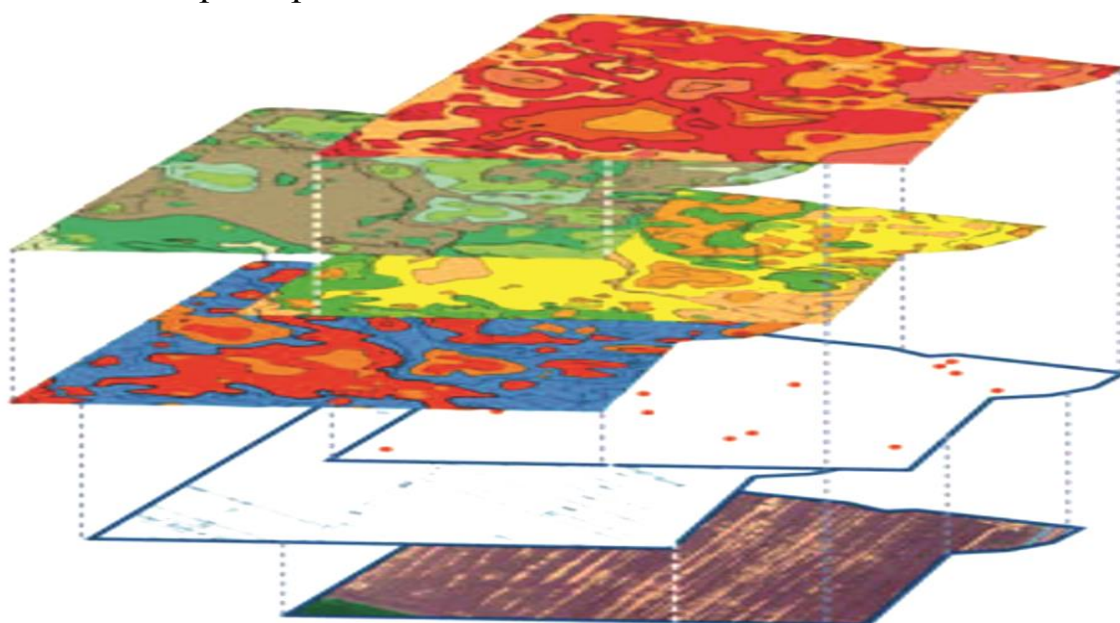


Рис. 7.3. Слои МЭК (структура почвенного покрова, грунтовых вод, содержание макро- и микроэлементов, агрохимические показатели, севооборот, урожайность по годам и др.)

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 топливно-смазочных 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.

7.3. 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 отдельно редактироваться. К 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 многое другое.

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 инструмент 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, требующим особого внимания, электронной карты 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.

7.4. 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 позволяют 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.

Для обмера полей с помощью высокоточного ГНСС-приёмника можно организовать с помощью специализированных аппаратно-программных комплексов.

Широкое распространение в России получил комплекс «ГЕО-Учётчик» (рис. 7.4).



Рис. 7.4. 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 другие;

- 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.

7.5. 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) и микроэлементов (цинк, бор марганец, медь, сера и др.), а также, по необходимости, определяется ряд других показателей.

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

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

Для отбора проб используют ручные пробоотборники различных конструкций (рис. 7.5) или автоматические пробоотборники, установленные на трактор или автомобиль.



Рис. 7.5 Ручной почвенный пробоотборник с различными наконечниками

На основании проведенного анализа почв выдаются рекомендации по системе минерального питания растений или ее корректировке. 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 размерах ширины разбрасывателя удобрений.

Сетку для автоматического отбора проб мы можем задать любого масштаба, все зависит от цели картографирования. Если нашей 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, с какой бы подробностью 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 проведено 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 размером 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. 7.6) 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 бы 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.

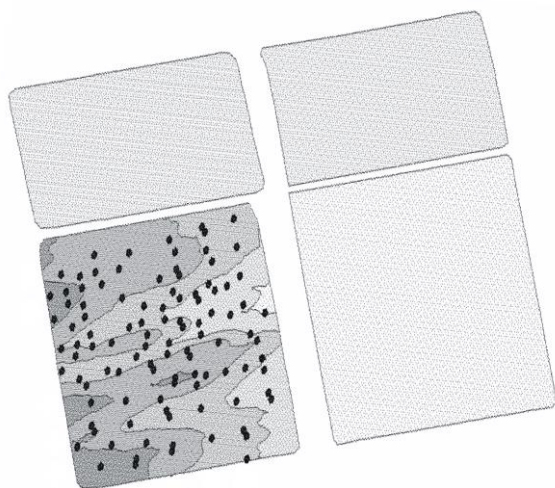


Рис. 7.6 Расположение полей 4-польного севооборота опыта Центра точного земледелия (точками показаны места отбора почвенных проб на одном из полей севооборота)

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

или Agrar-Office, 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 тех удобрений и микроэлементов, которые согласно лабораторному исследованию, необходимы именно этому участку. Это весьма трудоёмкая процедура.



Рис. 7.8. 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 повысить точность созданной агрохимической карты для работы в следующем году.

Фирма «Bodenprobetechnik Nietfeld» (Германия) выпускает пробоотборники Easy-Sampler, Duoprob 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. 7.9).

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



Рис. 7.9. Автоматический пробоотборник почвы N 2000 («Bodenprobetechnik Nietfeld»)

Для взятия проб на содержание нитратов предлагается пробоотборник NH 90 без автоматического выгружения 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). Пробоотборники «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» поставляет автоматические приборы для исследования почвы серии «Profi», которые полностью автоматизированы, имеют веретенообразный бур с гидравлическим приводом. Они позволяют отбирать пробы глубин в диапазоне 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.



Рис. 7.10. Мобильный анализатор свойств почвы от компании Veris Technologies с системой навигации Garmin

Наиболее современные мобильные анализаторы свойств почв представляют собой комплекс приборов, смонтированный на прицепное устройство автомобиля повышенной проходимости (рис.

7.10). В комплекс приборов входят 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 и омывающие форсунки для промывания рН-электродов после использования.

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 движитель (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 в частную лабораторию. Иногда, для корректировки дозы вносимых в подкормки удобрений, можно воспользоваться портативными лабораториями для исследования образцов почв и растений (рисунок 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.

При построении карты распределения индекса NDVI или урожайности (рис. 67.12) 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.

На рис. 7.12 показаны разные способы представления данных об урожайности ячменя на одном и том же опытном поле. На рис. 7.12а показана сетка дробного учета урожайности, узкие делянки расположены встык друг к другу и покрывают все поле, размер каждой учетной делянки составляет $1,4 \times 20$ м.



Рисунок 7.11 – Портативная агрохимическая лаборатория

При построении точечной карты по данным дробного учета каждая учетная делянка преобразуется в точку (рис. 7.12b). 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. 7.12c) или построить контурную карту (рис. 7.12d).

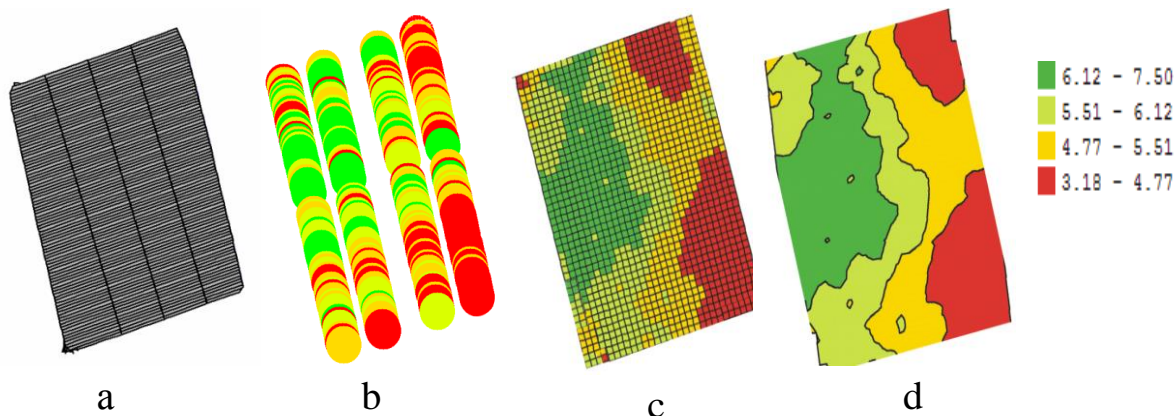


Рис. 7.12. Различное представление данных об урожайности ячменя (т/га): а) сетка дробного учета урожайности; б) точки по центру каждой ячейки сетки дробного учета, диаметр точки 10 м; в) сетка 3 × 3 м; д) контур

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, что видно из приведенных выше примеров.

7.6 Определение сопротивление 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, отрицательно влияет на ее плодородие, снижает урожайность с.-х. культур.

Одновременно с измерением электрического сопротивления (ERR) проводилось измерение сопротивления пенетрации на трех

глубинах 10, 20 и 40 см — Т1, Т2 и Т3 (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 ручного принципа действия, так и автоматические (рис. 7.13).

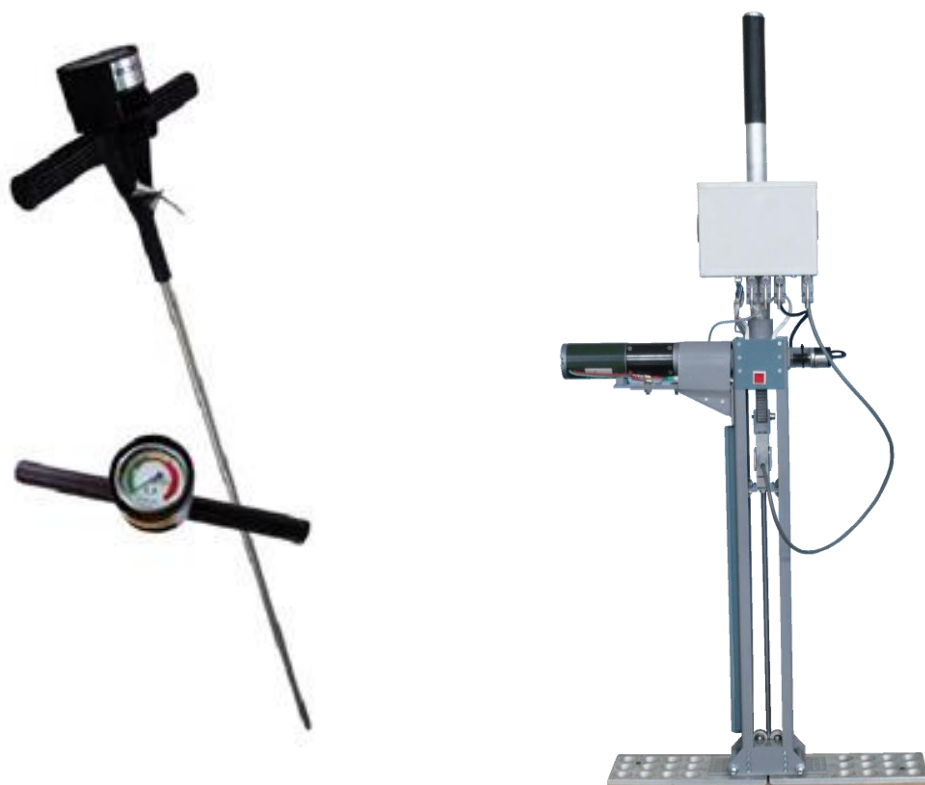


Рис. 7.13 Приборы для измерения твердости почвы

Автоматический измеритель твердости почвы позволяет зафиксировать распределение плотности по профилю почвы, определить наличие плужной подошвы (рис. 7.14) и определить оптимальную глубину обработки почвы.

Измерение твердости почвы проводится перед проведением работ по обработке почвы. Для получения точных данных измерения повторяются 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, что и приводит к уменьшению электрического сопротивления.

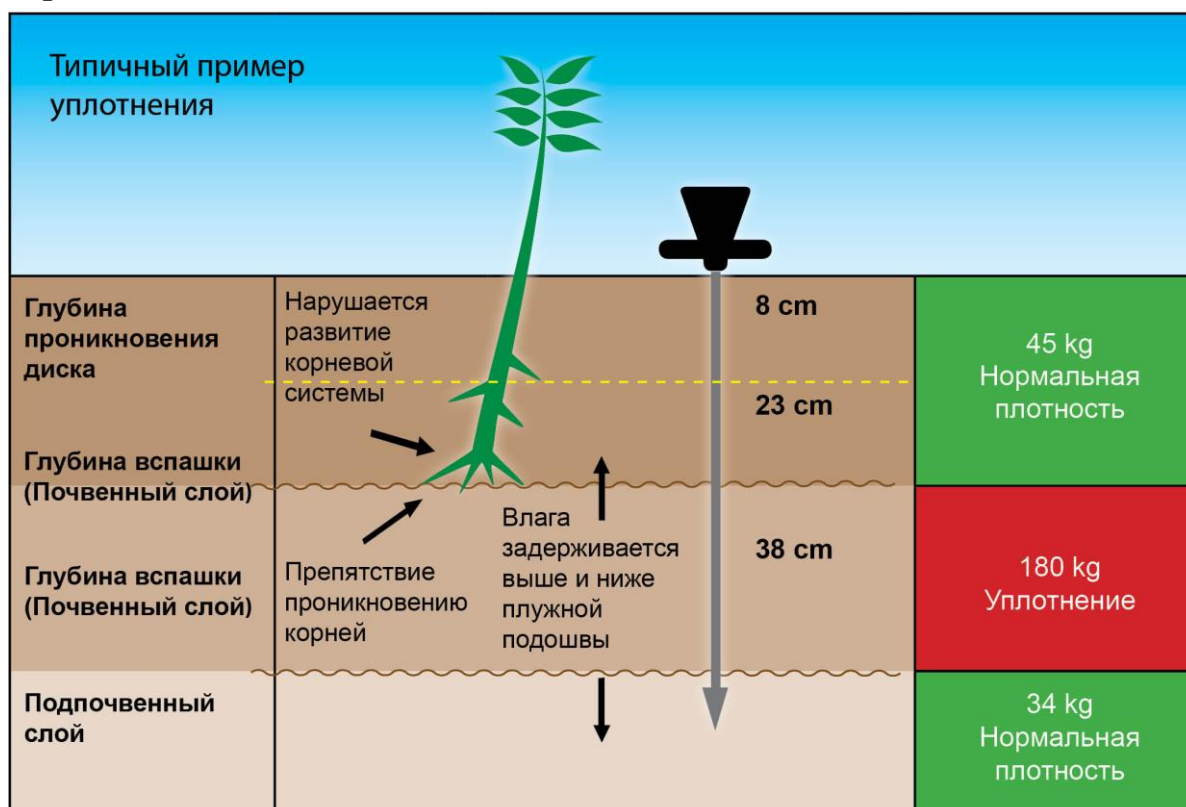


Рис. 7.14 Распределение плотности по профилю почвы

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 других, не учтенных факторов.

Сопротивления пенетрации на разных глубинах оказываются тесно связанными между собой, причем корреляции между соседними слоями более высокие. Такие зависимости объясняются существованием определенных зон, где плотность увеличена на всей глубине пахотного слоя и даже глубже. Очевидным образом эти зоны приурочены к площадкам опыта, где применялась нулевая обработка почвы (рис. 7.15).

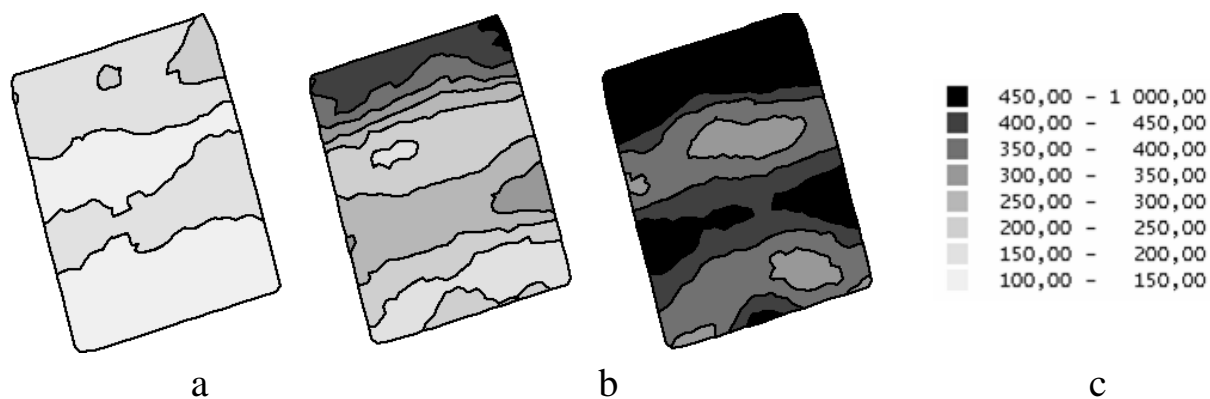


Рис. 7.15 Карты распределения сопротивления
 пенетрации на разных глубинах, см:
 а) 0...10, б) 10...20; в) 20...30

Все агрохимические свойства, за исключением пар рН–ЕКО и рН– K_2O , обнаруживают значимые и 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 ёмкость 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.7.16). В левом нижнем углу поля повышенному содержанию калия соответствует повышенное содержание фосфора.

Вся накопленная информация о свойствах почвы должна храниться в единой базе данных. В базе данных 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.

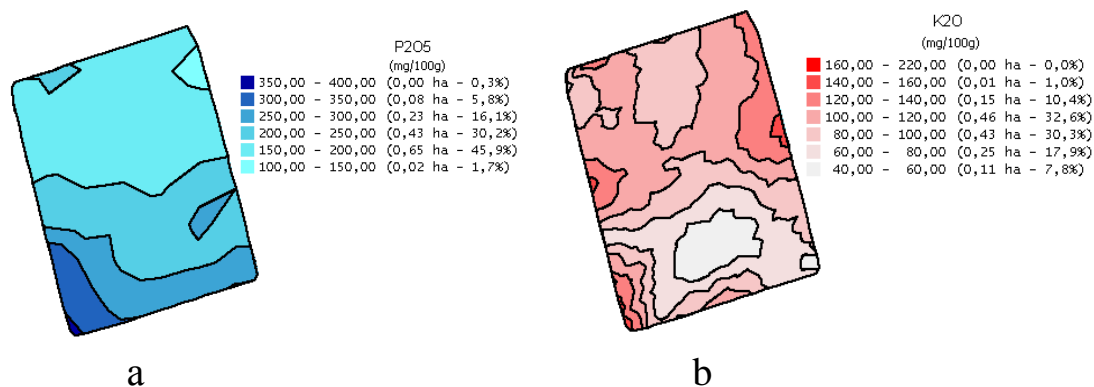


Рис. 7.16 Содержание в почве подвижного фосфора а) и подвижного калия б) на опытном поле Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Неоднородность почвенных условий можно оценить не только непосредственно по результатам анализов почвы или карте электропроводности, но и косвенным способом, 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.

7.7 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 сканеров 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. То есть, 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 параллельного вождения, GPS-приемником, прибором, определяющим электропроводность и прицепным агрегатом с дисками (с размещенными в дисках электродами) (рис. 7.17). При проведении измерений, агрегат движется по полю согласно технологии параллельного вождения, с погруженными в грунт дисками, при этом

она 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. 7.17 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 (особенно азотных удобрений).

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. 7.18).

Интерес представляет датчик электропроводности EM38-МК2 (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.



Рис. 7.18. Сканер электропроводности почвы
(рис. с сайта <http://www.eco-razum.com>)

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. 7.19).

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.



Рис. 7.19. Электромагнитный сканер «Немфис» (ИНГГ СО РАН)

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

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.

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?

8. ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА УРОЖАЙНОСТИ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА В НИХ

8.1. Оценка урожайности

Основным источником информации для составления прогнозов урожайности служат результаты полевых обследований состояния посевов сельскохозяйственных культур и определение урожайности на отдельных участках поля с обязательной географической привязкой полученных данных.

Для измерения урожайности в процессе движения уборочной техники используют специальное оборудование, которое может отражать такие показатели, как урожайность, влажность и масса собранного зерна, обработанная площадь. В состав этого оборудования входят датчики (оптический датчик объема зерна в бункере, датчик влажности зерна, датчик поперечных и продольных отклонений и др.), представляющие собой набор сенсоров, GPS-приемник, электронно-вычислительный модуль определения урожайности, бортовую информационную систему, карточку памяти, калибратор. GPS – приемник определяет координаты комбайна на поле, которые записываются одновременно с сигналами датчиков урожайности зерна, через определенные промежутки времени. После компьютерной обработки данных создается детальная пространственно ориентированная карта урожайности убранного поля с выделенными определенным цветом участками, отличающимися по урожайности. Погрешность при определении урожайности составляет 3-8 %.

Полученную карту используют для выявления проблемных зон и неравномерности распределения урожая в пределах поля, определения необходимого количества почвенных проб при последующем агрохимическом обследовании, исследования причин снижения урожайности (дефицит питательных веществ, уплотнение почвы, зараженность сорняками и др.), принятия агрономических и управленческих решений, экономической оценки.

На карте можно отобразить информацию о влажности зерна, скорости и пути движения комбайна и др. По данным компьютерного мониторинга урожайности составляют план агрохимического обследования полей, на основании которого осуществляют дифференцированное

внесение удобрений и проводят обработку химическими средствами защиты растений.

8.2. Методы измерения и системы картирования урожайности

Существует несколько способов измерить урожайность. Большая часть методов, разработанных за последние годы, основана на взвешивании убранный урожай. Урожай зерна выражен в величине веса на единицу площади. Это означает, что должен быть способ связать взвешенное количество собранного зерна с измеренными участками поля. На вес собранного урожая большое влияние оказывает степень влажности зерна. Одинаковые объемы зерна в зависимости от влажности, весят по-разному. Поэтому необходимо измерять урожай зерна в соотношении единиц объема на единицу площади при кондиционной степени влажности. Натурная масса может быть принята или измерена.

Ниже рассмотрим три основных метода измерения урожайности. Первый метод является самым старым, но все еще наиболее распространенным. Второй метод считают предшественником современного, позиционированного контроля урожая. Последний метод мгновенный контроль урожайности.



Рисунок 8.1 – Взвешивание транспортного средства с собранным урожаем

Используемый много лет, метод «**собирать и взвешивать**» определяет урожай для хозяйств, единичных полей и отдельных прокосов в пределах поля. Транспортные средства для перевозки зерна тарируются в поле или стационарном пункте, там же взвешивают урожай, собран-

ный в поле. Взвешивается и записывается вес каждого транспортного средства с зерном, собранного с поля. Степень влажности урожая измеряется и учитывается при взвешивании.

Большинство данных об урожайности собранных при использовании метода «собирать и взвешивать» являются лишь полевыми. Это означает, что полученное среднее значение урожайности относится ко всему полю. То есть среднее значение урожайности зерна от общей суммы взвешенного урожая, убранного с конкретного возделываемого участка поля.

Система мониторинга урожайности периодического действия взвешивает зерно в бункере комбайна, или емкости, в которую зерно выгружается из бункера. На мониторе в кабине комбайна отражается измеренная масса зерна.

Типичный бункер комбайна содержит достаточно большой объем для загрузки зерна, собранного с относительно большого участка. В соответствии с методом «собирать и взвешивать», убираемое поле должно быть измерено и оценено, для того чтобы вычислять урожайность. Измерение урожайности при помощи системы мониторинга урожайности периодического действия не является позиционированным, позволяет хозяйственникам быстро узнавать вес зерна без необходимости проведения дополнительных операций для взвешивания. В ходе совершенствования технологий контроля урожайности, системы мониторинга урожайности периодического действия почти полностью уступили дорогу системам мгновенного определения урожайности.

Система мгновенного определения урожайности измеряет и записывает данные об урожайности на ходу. Существует ряд методов, используемых для измерения урожайности на ходу. Измерение на ходу просто означает, что процесс непрерывен во время уборки. Данные непрерывно собираются во время работы комбайна. Некоторые системы записывают каждое значение отдельно. Другие собирают множество значений, которые после переработки сводятся в базу данных. Некоторые системы измеряют объем урожая непосредственно, в то время как другие взвешивают урожай. У всех систем есть возможность измерять убираемый участок для каждого зарегистрированного веса или объема.

При уборке комбайнами пользуются системами позиционирования типа GPS, системами мгновенного определения урожайности, пе-

редающими основные данные, для создания позиционированных карт урожайности. Урожай привязывается к тому участку поля, с которого он убран автоматически. Большинство систем позиционирования мониторинга урожайности также измеряют степень влажности зерна на ходу.

МЕНЮ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ		
	СЕАНС СУТКИ	СУММА
наработка		
двигатель	000 0000	00000000
молотилка	000 0000	00000000
ходов.часть	000 0000	00000000
пройденный путь	000 0000	00000000
убранная площадь	000 0000	00000000
количество выгрузок	000 0000	00000000
СБРОС ЗА СЕАНС ВВОД ВЫХОД МЕНЮ		



Рисунок 8.2 - Дисплей системы мониторинга урожайности периодического действия, установленный в кабине комбайна



Рисунок 8.3 – Расположение приборов системы картирования урожайности на зерноуборочном комбайне и получаемая карта урожайности

Метод «собирать и взвешивать» обычно используется при помощи системы мгновенного определения урожайности с целью калибровки на ходу для обеспечения необходимой точности.

8.3. Необходимость картирования урожайности каждого поля

Довольно точным инструментом для обследования локальных особенностей крупных полей является картирование урожайности. С помощью специальных измерительных устройств оценивается поток урожая в комбайне. С учетом ширины захвата рабочих органов бортовой компьютер определяет урожайность в определенном месте. Впоследствии полученная информация записывается на чип и обрабатывается на стационарном компьютере с целью ее сопоставления с характеристиками почвы на отдельных участках.

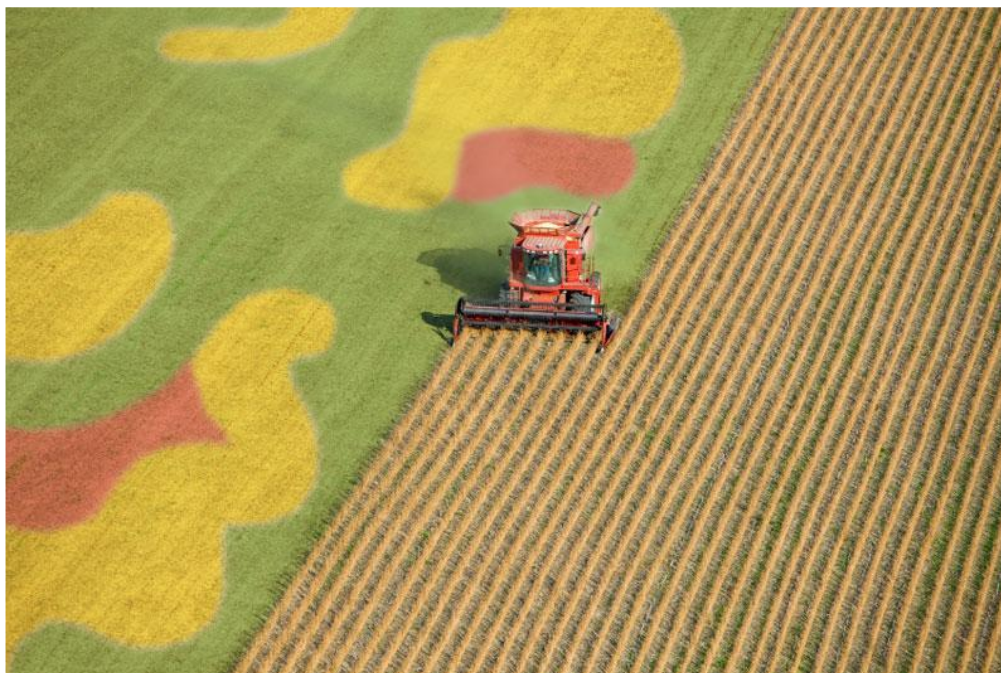


Рисунок 8.4 – Принцип необходимости картирования урожайности

Картирование урожайности – быстрый и простой способ определения существующих проблем, в особенности не явных. Применение карт урожайности в сельскохозяйственном производстве позволяет:

- Выявить неравномерность урожая в пределах поля и точно определить слабые участки поля;
- Целенаправленно исследовать причины снижения урожайности, например:
 - дефицит питательных веществ;

- уплотнение почвы;
- отсутствие дренажа;
- зараженность сорняками.
- Отслеживать количество собранного урожая на каждом поле и хозяйстве.

- Принимать взвешенные управленческие решения по выбору наилучших вариантов на разных полях.

- Данные, полученные с мониторов урожайности, могут применяться для сравнительного анализа – тип почвы относительно урожайности, картирование доходности и др.

Получение объективных данных для перехода к технологиям точного земледелия:

- идентификация проблемных зон;
- практический инструмент для принятия агрономических и управляющих решений при различных начальных данных и вариантах обработки полей;
- экономические оценки.

8.4. Принцип картирования урожайности

Ранние попытки разработать устройства мониторинга урожайности были сосредоточены на культурах, убираемых комбайном с относительно медленным потоком зерна в комбайн. Обычные компоненты устройства мониторинга урожайности включают датчики потока зерна, датчики уровня влажности зерна, датчики скорости движения и компьютер.

В соответствии с уравнением Холла, разработанным в 1998, урожайность культур, убираемых комбайном, вычисляется следующим образом

$$Y = \frac{1000V_{п}}{V \times W}$$

где: Y = урожайность культуры (т/га)

$V_{п}$ = скорость потока зерна (кг/с)

V = скорость движения комбайна (м/с)

W = ширина захвата жатки (м)

Такая информация собирается с помощью устройства мониторинга урожайности. Эта информация пространственно соотносится с данными позиционирования, полученными с помощью Системы Глобального Позиционирования с дифференциальными поправками (DGPS). Устройства мониторинга урожайности во время механизированной уборки продолжают совершенствоваться для использования не только зерновых культур, но и других таких как картофель, томаты и сахарной свеклы (Campbell, 1998; Hall *et al*, 1998; Pelletier and Upadhyaya, 1998), арахиса (Durrence *et al*, 1998), хлопка (Searcy, 1998; Perry *et al*, 1998; Gvili, 1998), риса (Iida *et al*, 1998) и других культур.

Чтобы мгновенно определить урожайность необходимо знать три вещи: скорость потока объема зерна через зерновой элеватор комбайна, рабочую скорость комбайна, и ширину захвата жатки. Скорость потока зерна измеряется на комбайне до попадания в зерновой бункер. Скорость потока измеряется в единицах объема или массы в единицу времени (куб.м/с или кг/с). Рабочая скорость может быть измерена множеством различных способов и измеряется в отношении единицы расстояния на единицу времени (км/ч). Ширина захвата жатки измеряется в (м или числе рядов), но часто измеряется "на глаз" комбайнером. Если рабочая скорость и ширина захвата жатки известна, то может быть вычислена площадь участка, который был убран за определенное время. Урожайность может быть определена, если известны объем или масса урожая, собранного с определенного участка в единицу времени.

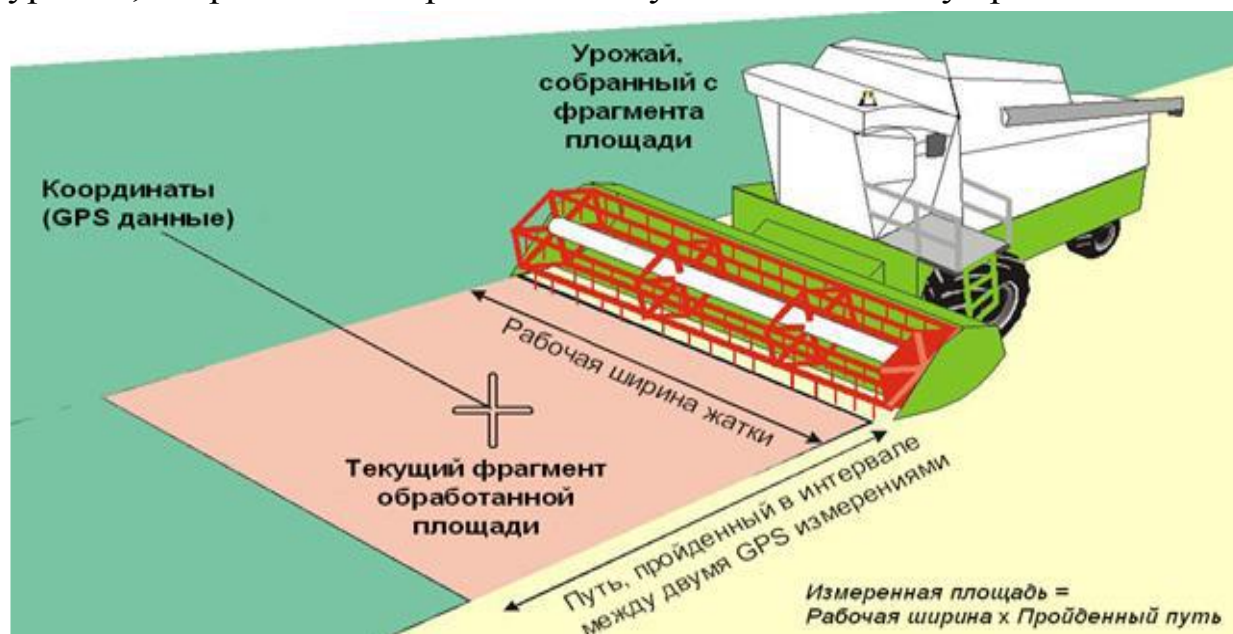


Рисунок 8.5 – Принцип картирования урожайности

8.5. Основные элементы системы мониторинга урожайности

Следующие элементы наиболее часто применяются в системах мгновенного определения урожайности зерна. Эти элементы взаимодействуют, чтобы измерить поток зерна и рабочий объем, вычислить, показать, и записать значения урожайности:

- датчик потока зерна
- датчик влажности зерна
- датчик скорости относительно земли
- датчик поднятия и опускания жатки
- бортовой компьютер системы

Расположение элементов в типичной системе мгновенного определения урожайности, зерна показано на следующей иллюстрации.



Рисунок 8.6 - Схема элементов оборудования для мониторинга урожайности

ДАТЧИКИ ПОТОКА ЗЕРНА

Методы измерения потока зерна изменяются, но многие популярные системы определения урожайности используют датчики потока, установленные на пути потока обмолоченной массы зерна. Датчик потока зерна обычно устанавливается в верхней части зернового элеватора комбайна.

Сенсор силы удара

Поток зерна может быть определено, при помощи измерения воздействия потока на помещенную в него чашеобразную пластину, путем измерения силы удара приложенной зерном пластине или смещения пластины, которое происходит, когда зерно ударяет по ней. Методы измерения силы или смещения подобны. Сила измеряется динамометрическим датчиком, который преобразовывает силу, приложенную ему грузом, в электрический сигнал. Эквивалентный силе удара груза - электрический сигнал обрабатывается тензометрическим датчиком, который присоединяется к динамометрическому датчику. Малейшая деформация динамометрического датчика приводит к определенному изменению сопротивления электрического тока, которое измеряется тензометрическим датчиком.

**Поток зерна измеряется датчиком, расположенным
наверху элеватора очищенного зерна..**



Рисунок 8.7 - Схема расположения сенсора силы удара в элеваторе бункера зерноуборочного комбайна

Датчик смещения чашеобразной пластины

Потенциометр может использоваться, для измерения смещения чаши под воздействием потока зерна. Потенциометр - прибор, который изменяет сопротивление электрического тока в зависимости от изменения положения в пространстве его частей. Интервал смещения чаши пропорционален силе потока зерна для датчиков смещения.

Датчики потока используется у следующих производителей:
Yield Monitor 2000, Ag-Leader (USA) – универсальный комплект
AFS, Case IH
LH-Agro (Europe)
Deutz-Fahr

Greenstar, John Deere (USA)

Yield Sensor II на комбайнах AGCO GLEANER, MF FIELDSTAR® II

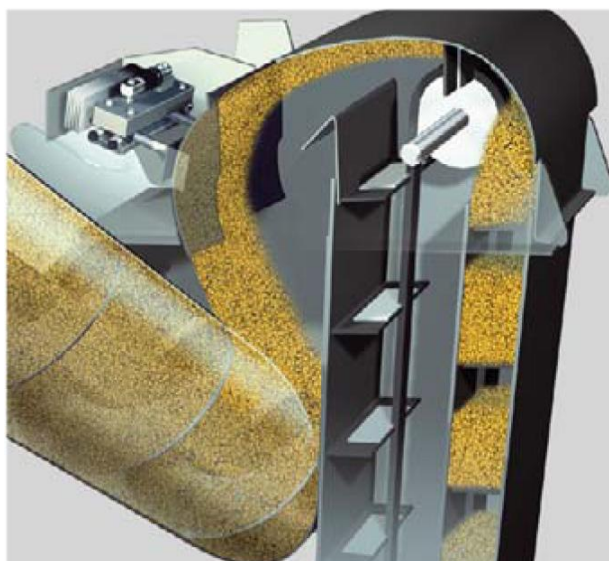


Рисунок 8.8 - Датчик потока для определения потока зерна

Радиометрическая Система

Другой подход для измерения потока зерна использует радиометрический метод. Радиометрическая система(установка) измеряет интенсивность радиоактивной энергии. Радиометрическая система определения урожайности, которая использует изотопное излучение (изотоп - Америций 241) и преобразователь были коммерчески доступны в Европе в течение многих лет.



Рисунок 8.9 - Радиометрическая система определения урожайности зерна

Изотопное или радиоактивное, излучение направлено к преобразователю. Интенсивность излучения, обнаруженного преобразователем, максимально, когда между излучателем и преобразователем ничего нет. Любая частица между излучателем и преобразователем изменит интенсивность излучения, принятого преобразователем. Определяется урожайность зерна, изменением интенсивности излучения в зависимости от количества зерна проходящего между источником и преобразователем. Чем меньше радиационное излучение преобразователь обнаруживает, тем больше масса зерна, текущая между изотопным излучателем и преобразователем. Эффективность системы измерения массы зерна не зависит от типов датчиков. Когда данные по массе комбинируются с данными по скорости, с которой масса зерна протекает мимо датчика, данные по массе могут быть преобразованы в данные потока объема. Урожайность, зарегистрированная системой (установкой), выражается в единицах массы на единицу площади, обычно метрические тонны на гектар.

Система Динамометрического датчика

Некоторые системы контроля урожая фактически взвешивают зерно, в то время как оно проходит через зерновой элеватор из очистки комбайна. Как показано ниже, труба шнека для очищенного зерна из очистки комбайна лежит на рычаге переноса присоединенного к динамометрическому датчику. Измеренные данные веса, скомбинированные с измеренной рабочей скоростью, измеренной степенью влажности, и данными ширины захвата жатки, чтобы определить и оценить урожайность, полученную на определенном участке поля.

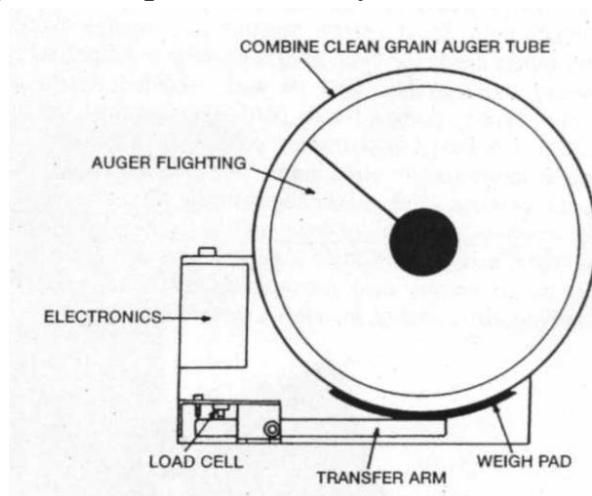


Рисунок 8.10 - Основанная на динамометрическом датчике, система измерения урожайности зерна

Система измерения объема

Последняя категория системы определения урожайности — это система измерения объема зерна в зерновом элеваторе комбайна. Следующая иллюстрация показывает использование источника света и фотоприемника, для определения степени наполненности зернового элеватора. Фотоприемник - устройство, используемое, для обнаружения света. Лучи света преобразуются в электрический сигнал. Измерение импульсов света и темноты фотоприемником, используются для оценки объема потока зерна через зерновой элеватор. При измерениях подобного типа учитывается культура убираемого урожая и степень влажности зерна. Пользуясь этой системой также необходимо измерить объемную плотность (натуру) (вес на единицу объема) собранного зерна, чтобы вычислить урожайность.



Рисунок 8.11 - Система объемного определения урожайности

Конвейерная система

Конвейерная система предусматривает установку тензодатчиков в системе зернового элеватора, которые измеряют массу поступившего зерна в бункер зерноуборочного комбайна. Поток зерна поступает в емкость, в которой сбоку установлен датчик уровня поступившего объема зерна, после чего, установленный в нижней части лопастное колесо, которое проворачиваясь перемещает поступившее зерно в зерновой шнек бункера комбайна.

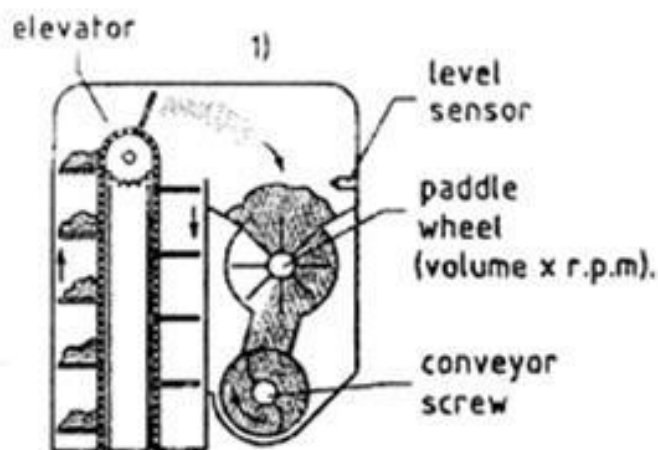


Рисунок 8.12 – Конвейерная система картирования урожайности

ДАТЧИКИ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА

Зерновая масса – это сложная смесь компонентов, которые включают в себя: белки (протеины), крахмалы, воду и масла. В зависимости от количества этих компонентов в зерне, на рынке варьируется качество зерна. Однако, во время уборки обычно больше всего интересует только два параметра зерна: сухая масса и влажность. От степени влажности зерна будет зависеть выбор периода уборки. От степени влажности также будет зависеть нанесенный ущерб зерну, во время уборки и при последующей обработке и хранении. Очень большое влияние степень влажности имеет вес зерна и его объем.

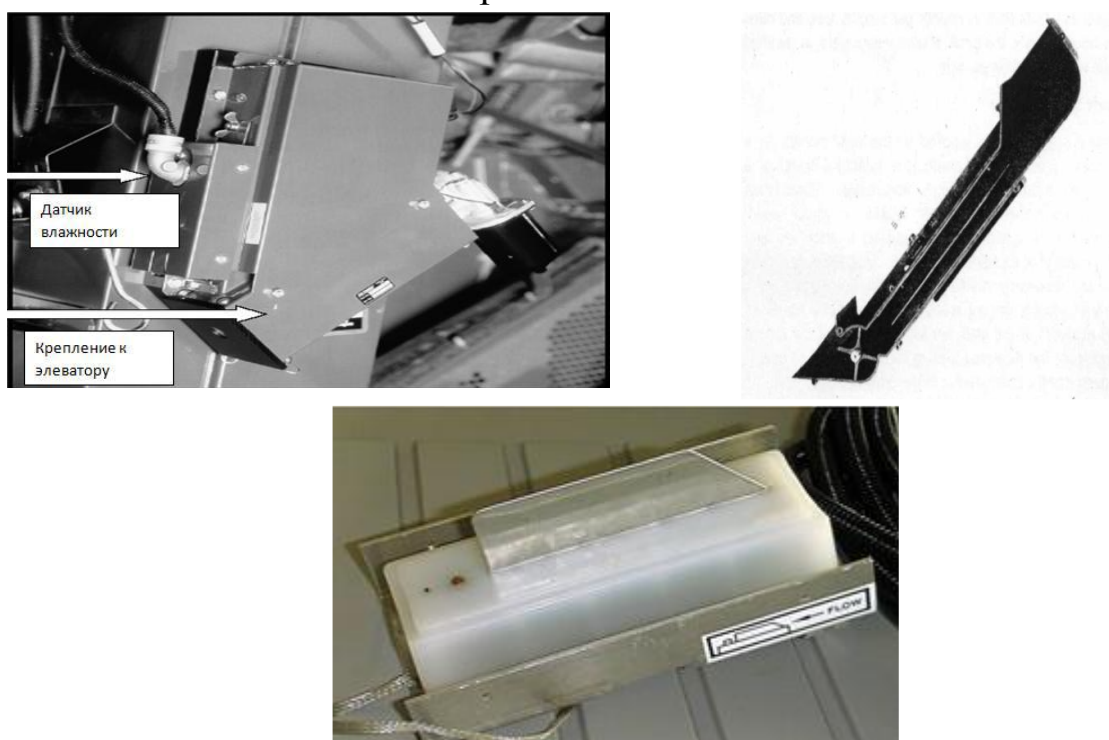


Рисунок 8.13 - Датчик влажности зерна емкостного типа

Сельхотоваропроизводитель способен сравнивать характеристики урожая в зависимости от степени влажности зерна в пределах одного или среди нескольких полей. Степень влажности может широко варьироваться в пределах поля и конечно изменяться в течение длительного времени.

Необходимо, записывать значения степени влажности во время уборки для того чтобы затем все полученные данные по урожайности могли быть сведены к среднему стандартному значению. Для зерна стандартная степень влажности - 14% при влажных условиях (масса воды, разделенная на сумму массы воды и сухого материала). Большинство систем мониторинга урожайности включают в себя некоторые средства измерения степени влажности зерна автоматически, на ходу. Это позволяет к каждой точке координат со значением урожайности привязать значение степени влажности.

Датчик влажности расположен в системе зернового элеватора комбайна около датчика потока зерна. Датчик емкостного типа чаще всего используется для измерения степени влажности зерна. Конденсаторы накапливают и удерживают электрический заряд на металлических пластинах разделенных диэлектриком. (Диэлектрик - материал, не проводящий электричество и способный удерживать электрическое поле). Датчик измеряет диэлектрические свойства зерна, которое протекает между заряженных металлических пластин. Чем выше степень влажности зерна, тем выше его диэлектрическая проницаемость. Подобное измерение и указывает степень влажности зерна.

ДАТЧИКИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ

Если скорость комбайна относительно земли и скорость потока зерна измерены, ширина захвата жатки тоже известна, то может быть определена мгновенная урожайность.

Вычисления урожайности, выполняемые системой мониторинга урожайности, выглядит ни как иначе как следующее тождество:

Мгновенный урожай = скорость потока зерна × переводной коэффициент

ширина захвата жатки × скорость комбайна

Соответствующий переводной коэффициент должен быть включен в уравнение на предыдущей странице. Причина в том, чтобы пре-

образовать скорость потока зерна, ширину захвата жатки, и скорость комбайна в подобную удобную систему измерений, как: фунты в секунду, футы, и мили в час, для получения в итоге стандартных величин, таких как бушели на единицу площади.

Датчик частоты вращения вала

Скорость движения относительно земли передается системе мониторинга урожайности по средствам магнитного датчика, который измеряет частоту вращения карданного вала от прямой передачи комбайна. Частота вращения оси прямой передачи непосредственно связана со скоростью колеса. Однако датчики частоты вращения вала подвержены получению ошибочных данных, которые считываются при проскальзывании колес комбайна. При проскальзывании колес скорость движения, показываемая датчиком, получается завышенной, особенно в тех случаях, когда скользкая поверхность почвы. Так же, увеличение давления груза на колеса комбайна при заполнении бункера, независимо от состояния поверхности почвы.

Радарные и Сверхзвуковые датчики

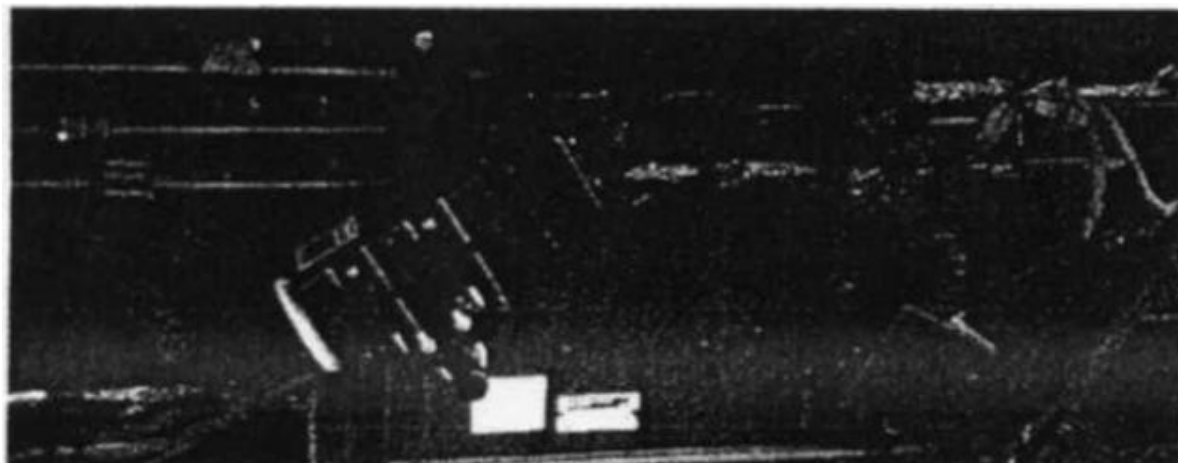


Рисунок 8.14 - Сверхзвуковой датчик скорости движения

Увеличение массы заставляет шины сжиматься и восстанавливаться, что влияет на радиус качения ведущих колес. Это непосредственно влияет на точность считывания скорости относительно, которая зависит от скорости оси прямой передачи. Вследствие чего, большинство фермеров стали искать другие, более точные способы измерения скорости.

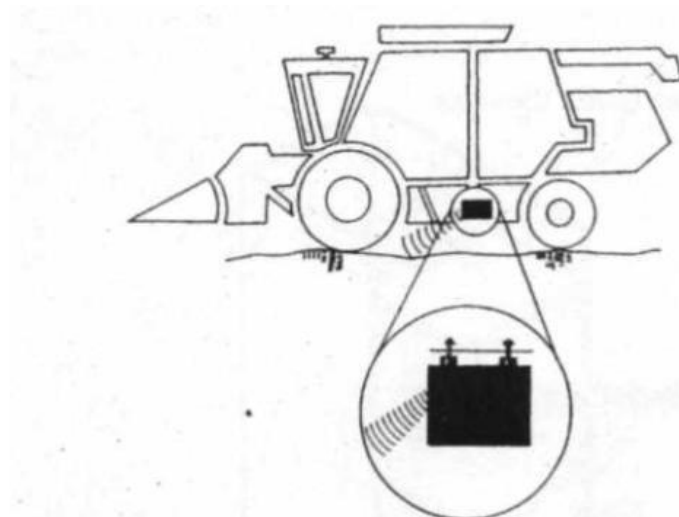


Рисунок 15 - Радарный датчик скорости движения

Альтернативы отображения скорости движения включают в себя: радарные и сверхзвуковые датчики, как показано выше, или исходные системы глобального позиционирования. Радарные и сверхзвуковые датчики определения скорости движения, более точны, чем датчики частоты вращения вала. И радарные и сверхзвуковые системы используют "пушки", которые направляют сигнал к земле. Радарные системы излучают микроволновые сигналы, а сверхзвуковые системы, излучают высокочастотные звуковые волны. Сигналы, отражаясь от земли, попадают обратно в датчик. В том случае, когда комбайн движется относительно земли, происходит изменение частоты сигнала, который возвращается к датчику скорости. На точность радарного датчика может влиять шероховатость поверхности поля, представленная посторонними предметами, такими как остатки растений после уборки. Поэтому, необходимо направить радарный датчик на участок почвы, которой будет оставаться относительно гладким. В большинстве случаев, радарные и сверхзвуковые датчики скорости установлены на раме комбайна невысоко над землей.

Измерение скорости на основе GPS

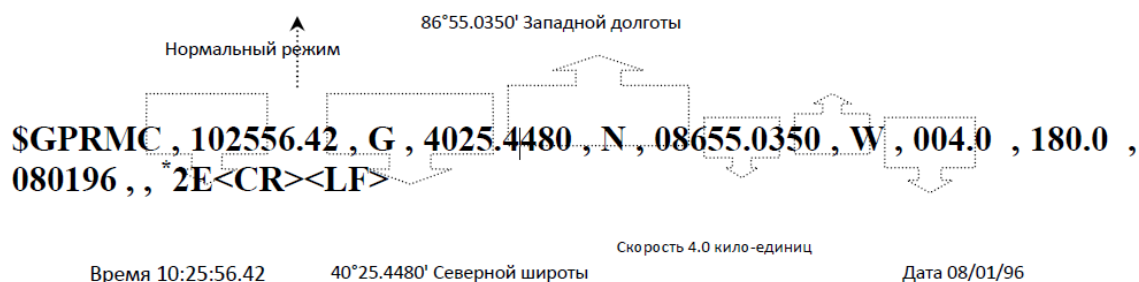


Рисунок 8.16 - Информационное предложение включающее данные положения и скорости движения, полученные GPS модулем.

Системы на основе GPS вычисляют скорость движения, основанные на произведении движения транспортного средства на частоту радиосигналов, которые принимаются от спутников. Скорость движения рассчитывается GPS модулем и может быть выведено как часть информационного предложения, которое содержит широту, долготу, и направление движения транспортного средства. Необходимо иметь монитор урожайности способный принимать и должным образом интерпретировать информационные предложения для использования системы GPS, чтобы информационное предложение дополнить данными о скорости движения комбайна. Точность оценки скорости связана с позиционной точностью антенны.

Датчик положения жатки



Рисунок 8.17 - Датчик положения жатки

Некоторые системы мониторинга урожайности полагаются на датчик положения жатки для контроля и вычисления убираемой площади земли в акрах. Когда датчик фиксирует жатку в поднятом положении, измерение участка приостанавливается, даже когда комбайн движется, и все системы функционируют. Когда датчик фиксирует жатку в нижнем положении приемлемом для высоты среза, измерение участка возобновляется. Чувствительность датчика может быть отрегулирована для любой необходимой высоты жатки, которая необходима во время уборки, при которой не отключается измерение убираемой площади. Эта особенность позволяет комбайну разворачиваться в поле в конце прохода и объезжать канавы и другие незасеянные участки без

внесения этих площадей в общее число площади вычисляемой монитором урожайности на убираемом поле.

Некоторые системы мониторинга урожайности используют программное обеспечение, которое позволяет оператору определять **время задержки** для определения времени, за которое зерно от жатки дойдет до датчика потока зерна. Некоторые системы фиксируют **начало времени задержки**, чтобы измерить начальную подачу зерна в комбайне, чтобы не учитывать ее при вычислении общей урожайности. Начальная подача зерна проходит мимо датчика потока, поэтому он часто не показывает фактическую урожайность; это происходит из-за типичного "сползания" зерна до того момента пока условия плотности потока зерна не достигнут определенного уровня. С другой стороны, фиксация **конца времени задержки** позволит потоку зерна, которое остается после того, как жатка поднята, и измерение убранной площади приостанавливается, быть включенным в общую урожайность при контрольном вычислении.

Мониторы системы картирования урожайности



Рисунок 8.18 – Монитор системы мгновенного определения урожайности New Holland

Блок управления или дисплейный блок установлен в кабине комбайна в пределах поля зрения оператора. Блок управления соединяется со всеми датчиками, которые предоставляют информацию необходимую для вычисления урожайности зерна. В дополнение к вводу информации датчиками блок управления может получать информацию от

комбайнера. Это позволяет комбайнеру вносить те данные, для измерения которых нет датчиков (ширина захвата жатки, например) или поле или информацию об убираемой культуре в зависимости, от которой и данных влажности будет вычисляться урожайность. Например, данные полученные с поля могут быть определены или привязаны, к определенному названию поля, такого как "Поле А" или "Северное Сороковое". Каждая вводимая информация может быть определена или прикреплена в подобной манере. Блок управления состоит из клавиатуры для ввода информации и дисплея. Информация, вводимая или показываемая, может быть следующей:

Информация, вводимая оператором

- поля
- название или число
- ширина захвата жатки

Полученная/вычисленная информация

- степень влажности урожая
- мгновенная урожайность
- средняя урожайность
- площадь убранного участка
- рабочая скорость
- качество приема сигнала DGPS

Контроллер PFadvantage предназначен для сбора обработки и отображения информации от различных датчиков и управления сельскохозяйственным агрегатом. Прибор состоит из кнопок управления, жидкокристаллического дисплея, слота для карт памяти и коммуникационных разъемов.

Данные от датчиков отображаются на дисплее и одновременно записываются на съемную карту памяти для последующего переноса информации на офисный компьютер.

Датчик урожайности определяет количество материала, проходящего через транспортер комбайна.

Датчик влажности определяет влажность материала.

Крепление к элеватору представляет собой металлическую конструкцию, предназначенную для фиксации датчика урожайности и датчика влажности на корпусе элеватора.



Рисунок 8.19 - Контроллер PF Advantage

Крепление к окну предназначено для фиксации контроллера на лобовом стекле комбайна и состоит из металлической рамы с вакуумным креплением.



Рисунок 8.20 – Монитор системы мгновенного определения урожайности фирмы Raven

Программы для картирования урожайности.

Для картирования полей используют специальные многофункциональные компьютерные программы. Один из таких программ для примера можно привести немецкую программу Agro-Net NG (фирма Agrosom). Данное программное обеспечение на базе геоинформацион-

ной системы относится к классу ERP-систем. Оно предназначено для агроменеджеров растениеводческих сельхозпредприятий, управляющих хозяйством с применением технологий точного земледелия, и включает в себя следующие основные модули: карты и схемы участков, землеуправление, арендное управление, картирование урожайности, производственную документацию, ГИС и растровые карты, дистанционное обслуживание средствами интернет-технологий (рисунок 21).



Рисунок 8.21 – Основные модули программы Agro-Net NG

В рамках программы Agro-Net NG можно создавать базы данных, включающие информацию по всем полям, персоналу, машинам, культурам, питательным веществам, удобрениям, а также многослойные карты полей с возможностью редактирования границ, разбивки полей на участки; планировать мероприятия по каждому полю с последующим отображением на карте; обмениваться данными с бортовыми и карманными компьютерами и экспортировать их в программу 1С.

Программа Agro-Map позволяет создавать карты урожайности, подготавливать задания для дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений, проводить статистический анализ данных по уборке урожая, планировать точки взятия проб для агрохимического обследования и производить последующий учет результатов. В нее входят: отображение, редактирование, печатание текстовой и графической информации, импорт и экспорт данных измерений различных производителей, соединение с карманным компьютером для синхронизации данных и их последующего использования агрономами.

8.6 Составление карт 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.), которые представляют 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-приемника (рис. 8.22), датчик положения жатки (рис. 8.23), датчик потока зерна (рис. 8.24), датчик влажности зерна (рис. 8.25), дисплей Insight.



Рис. 8.22 ГНСС-приемник

ГНСС-приемник предназначен для регистрации положения объекта на местности.

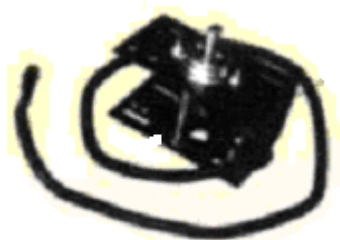


Рис. 8.23 Датчик жатки

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



Рис. 8.25 Датчик потока зерна

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

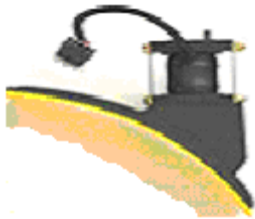


Рис. 8.25 Датчик влажности зерна

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

обмолота

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.

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 рисунке 8.26

За счет применения навигационной системы, например, EZ-GUIDE 500 с подруливающим устройством или аналогичного оборудования, можно также осуществлять и параллельное вождение комбайна, что достаточно 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.

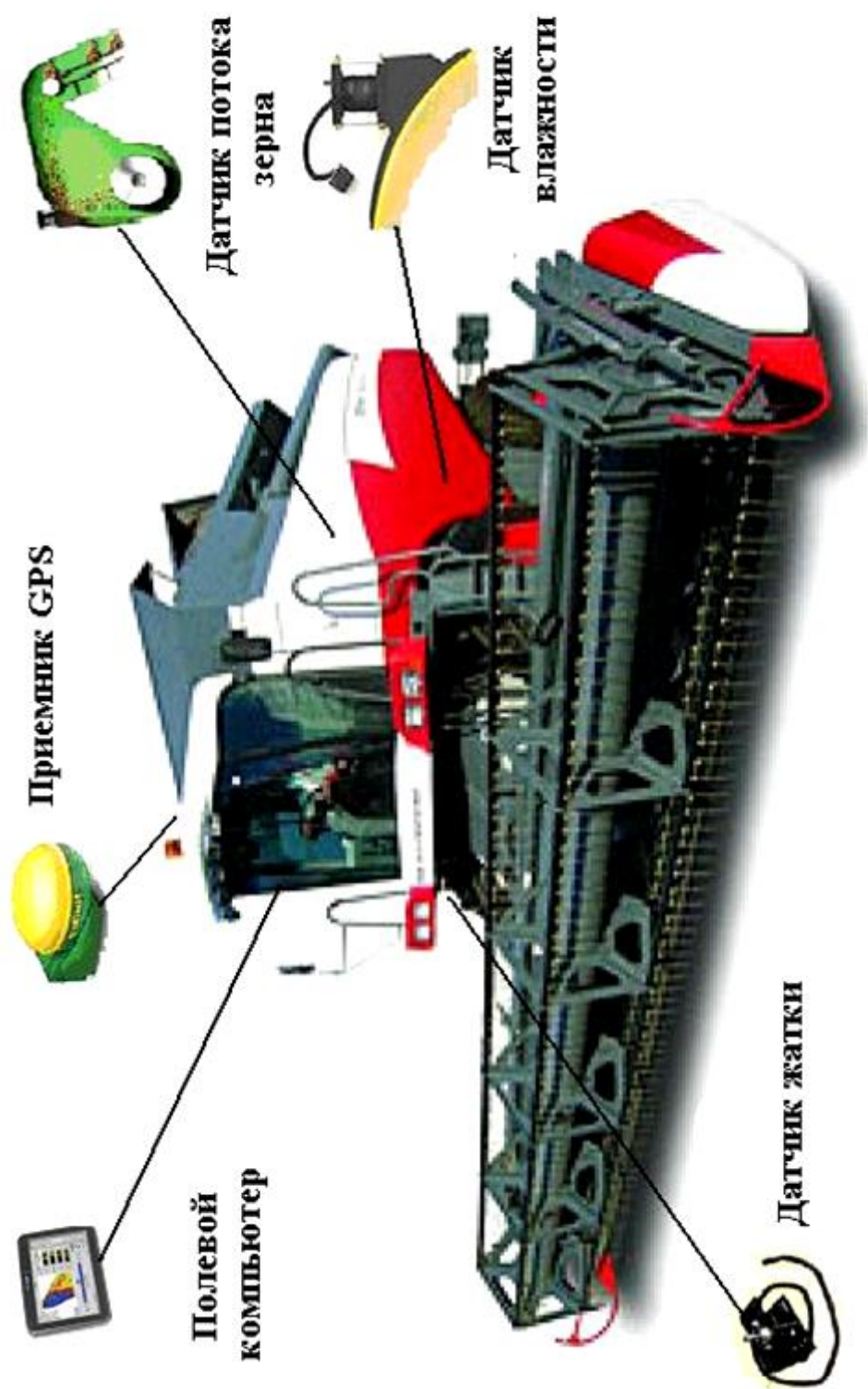


Рис. 8.26. Расположение оборудования на зерноуборочном комбайне для картирования урожайности

При построении карты распределения индекса NDVI или урожайности (рис. 8.27) 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.

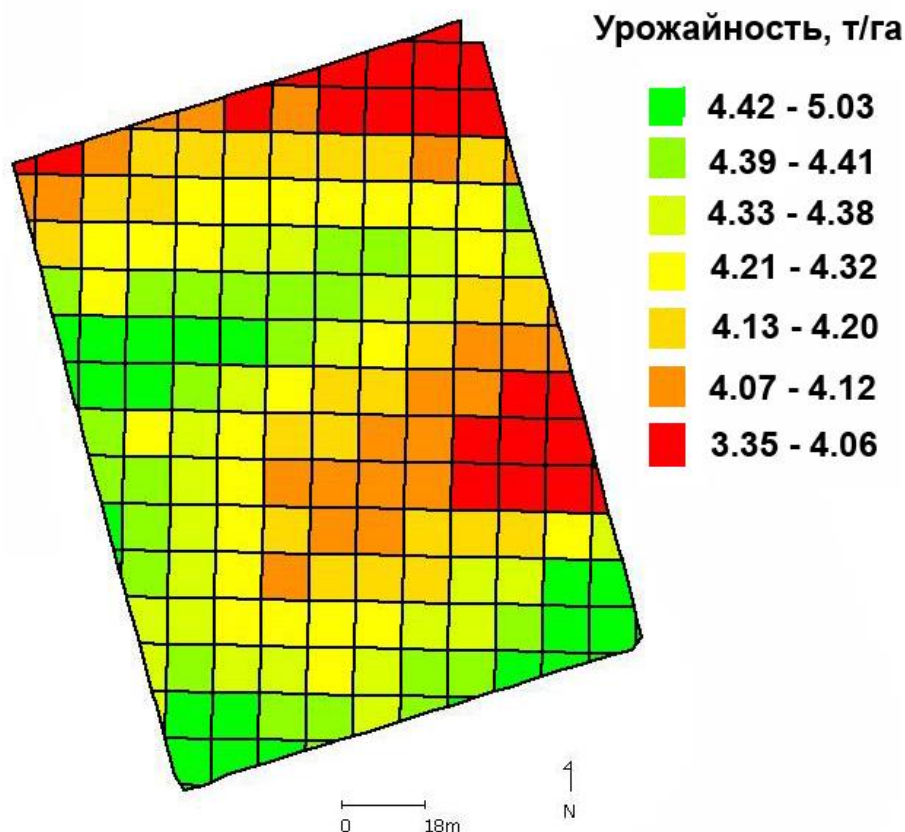


Рис. 8.27. Картограмма урожайности озимой пшеницы на поле Центра точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2010 г.

После уборки урожая строится карта урожайности озимой пшеницы (рис. 6.28). Для построения карты использовалась программа 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.

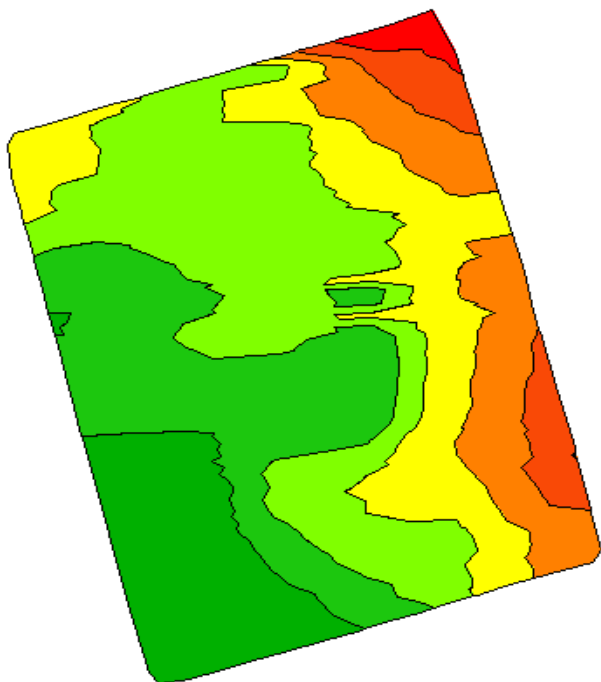


Рис. 6.28. Карта урожайности озимой пшеницы на опыте ЦТЗ в 2011 г. Информация в поле получена по результатам дробного учета урожайности с помощью комбайна Сампо (Ростов), шаг сетки опробования равен размеру учетной делянки 1,5 × 20 м, карта построена в программе SMS Advanced

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 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 последующей 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 один гектар 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 замеряет 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.

МЭК 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.

Оказать помощь сельскохозяйственным товаропроизводителям в работе с данными полученными при мониторинге угодий и позволяющие принять правильные решения по управлению агротехнологиями может целый ряд коммерческих продуктов. Например, зная, расположение участков поля с большей или меньшей урожайностью, можно планировать программу внесения удобрений, возвращая почве использованные элементы. 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 за счет того, что 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 такое оценка урожайности? 2. Какие методы имеются для измерения урожайности? 3. Расскажите о системы картирования урожайности. 4. Какая необходимость картирования урожайности для каждого поля? 5. Объясните принцип картирования урожайности. 6. Какие основные элементы системы мониторинга урожайности Вы знаете? 7. Какое оборудование устанавливается на комбайн для составления карт урожайности? 8. Для чего предназначен датчик измерения влажности в системе картирования урожайности? 9. Что представляет собой карта рентабельности поля? 10. Для каких целей предназначена компьютерная программа SMS Advanced?

9. ОСНОВЫ СЕНСОРИКИ. ИНДЕКСЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ. ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

9.1 Общие сведения

В настоящее время в практике растениеводства широко используются оптические датчики, с помощью которых проводится оценка развития посевов (посадок) во время вегетации. Цели таких исследования могут быть разными: оценка неоднородности посева для обоснования сценариев применения технологий (*on-line* и *off-line*) 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 являются очень трудозатратными, и в силу сильной гетерогенности почвенных свойств не всегда дают однозначные результаты. Поэтому в настоящее время 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, ложится в основу создания удобных и надёжных производственно-аналитических агрономических платформ.

В настоящее время 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 ряда других.

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. 9.1).

Таблица 9.1

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

9.2. Основы сенсорики

Важным элементом технологии точного земледелия, как для работы в режиме реального времени (on-line), так и в режиме off-line, является использование различных датчиков (сенсоров). В то время как датчики, предназначенные для управления и контроля режима работы двигателей и сельскохозяйственных машин, уже давно относятся к стандартам современной аграрной техники, датчики для управления и контроля технологических параметров в настоящее время еще мало применяются на практике.

Датчики предназначены для измерения свойств почвы, растений или животных по электрическим и электромагнитным, оптическим, оптоэлектрическим и радиометрическим, механическим, лазерным, акустическим, пневматическим и термическим параметрам.

Наибольшее практическое применение получили датчики, работающие с привлечением спектрального анализа при измерении и определении различий в отражении и абсорбции солнечного света растительной массой или почвой. При спектральном анализе используют различные части спектра света.

Применение датчиков, работающих по принципу измерения абсорбции и отражения спектра света, основано на том, что каждая субстанция и органическая часть растений имеет свои характерные свойства, если их облучают светом. Специфичность этих свойств такая же, как у отпечатка пальца человека (finger print). Это означает, что по спектру света, который растительная проба отражает при облучении, при соответствующей калибровке можно узнать, какие вещества она содержит и в каком количестве. Поэтому спектрометрический анализ находит многостороннее применение, причем чаще всего он проводится в ближней части инфракрасного света.

Во многих датчиках, которые предлагают на рынке для определения содержания азота в посевах культурных растений и оценки качества продуктов, предусмотрено именно измерение отражения.

Отражения растений и почвы при определенной длине волны в значительной степени различаются. Это явление используют также для обнаружения с помощью оптоэлектронных датчиков покрытия почвы культурными растениями и ее засорения, а также для определения мелкокомасштабного разнообразия почвы, особенно содержания гумуса.

С помощью лазерных датчиков, помимо отражения растениями солнечного света, измеряют также отражение лазерных лучей. Однако эти датчики в сельском хозяйстве, по сравнению с другими отраслями, пока мало применяются. Некоторыми фирмами (Claas, Case, New Holland и др.) зерновые комбайны снабжаются лазерными датчиками, предназначенными для определения расстояния (лазерный пилот), например до края травостоя. Поэтому при управлении комбайном можно полностью использовать ширину захвата жатки.

Датчики для измерения электрических свойств почвы применяют в сельском хозяйстве с целью определения содержания в ней влажности, концентрации ионов солей, а также текстуры.

Для измерения свойств почвы и растений, таких как сопротивление пенетрации, упругости и устойчивости травостоя к полеганию, служат механические датчики.

Большинство датчиков могут использоваться как в режиме реального времени, так и при двухэтапном режиме работы.

Датчики, предназначенные для систем, работающих в режиме реального времени, служат для измерения, диагностики и распознавания свойств почвы и растений, их интерпретации и реализации результатов в технологических процессах в одном рабочем проходе. При двухэтапном режиме работы системы данные измерений датчиков передаются для обработки, накопления и вывода решений на внешние компьютеры, а команды – исполнительным устройствам с помощью карт-заданий (чип-карт).

9.3. Датчики для определения свойств почвы

Знание свойств почв, определяющих их плодородие, является важной предпосылкой для принятия объективных решений в технологии точного земледелия. Это касается таких ее свойств, как плотность, текстура, влажность, содержание гумуса, питательных веществ и кислотность.

Определение плотности почвы. Плотность почвы, т. е. масса твердой фазы определенного объема почвы ненарушенной структуры, достаточно легко определяется в полевых условиях. Ее можно упрощенно использовать в качестве обобщенного показателя физического состояния почвы, который является одним из показателей ее пригодности

сти для возделывания сельскохозяйственных культур. Плотность характеризует структуру почвы; ее увеличение указывает на уплотнение почвы, возрастание сопротивления пенетрации и рост корней растений. Ее величина сказывается на всем комплексе почвенно-физических свойств в водном, воздушном и тепловом режимах.

С плотностью почвы связан важный агрофизический показатель – **сопротивление пенетрации почвы** (грунта), $P_{\text{реп}}$, под которым понимают сопротивление почвы внедрению в нее металлического зонда цилиндрической или конусообразной формы небольшого диаметра (обычно 1–5 мм). Этот показатель измеряют специальными приборами – **пенетрометрами (твердомерами)**. При внедрении зонда (рисунок 9.1, а) происходят разнообразные процессы: уплотнение почвы, деформации сдвига, а также трение металла о почву.

Поэтому этот параметр отражает разнообразную информацию, но в большинстве случаев представляет интерес как самостоятельная величина – сопротивление пенетрации.

Датчики для ее измерения могут иметь конический (рисунок 9.1, а и б) либо цилиндрический штамп (рисунок 9.1, в), а по принципу работы, т. е. измерения силы, которая необходима для внедрения штампа, различают пружинный (рисунок 9.1, б) и ударный (рисунок 9.1, в) типы пенетрометров.

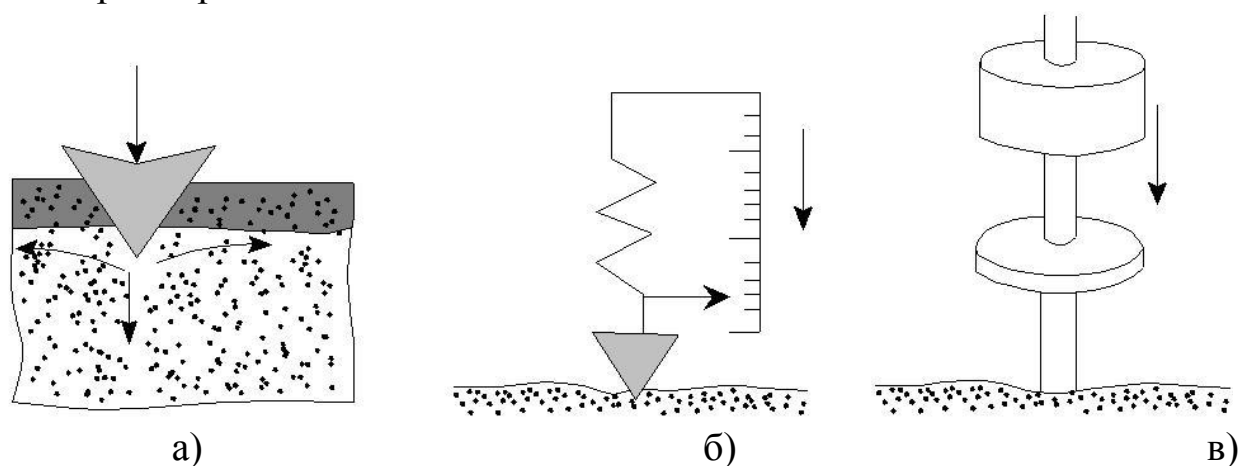


Рисунок 9.1 – Схема внедрения конического штампа пенетрометра (а) в почву и основных типов пенетрометров: пружинного (б) и ударного (в)

Сопротивление пенетрации для пенетрометров ударного типа рассчитывают по массе скользящего груза, высоте и количеству падений.

Для расчета сопротивления пенетрации (кг/см^2) используют следующую формулу:

$$P_{pen} = n(mg \cdot h_1)/(S \cdot h_2) \quad (9.1)$$

где P_{pen} – сопротивление пенетрации;

n – количество падений груза;

m – масса;

h_1 – высота;

S – площадь погружаемого в почву стержня;

h_2 – глубина внедрения стержня.

Сопротивление пенетрации зависит от разнообразных почвенных свойств. Прежде всего это влажность, при которой производятся полевые измерения. Кроме того, оно зависит от таких свойств почвы, как гранулометрический и агрегатный состав.

Знание сопротивления пенетрации почвы в хозяйствах важно не только для общей характеристики почвы как среды и места обитания растений, но особенно для ее оценки как предмета механической обработки. Измеряя сопротивление пенетрации, определяют вредные деформации почвы при обработке ее в пересушенном и переувлажненном состоянии и чрезмерное уплотнение в отдельных генетических горизонтах, которое создается в результате обработки или естественных протекающих в ней процессов. Этот показатель отличается значительными колебаниями в результате мелкомасштабной неоднородности почвы в пределах поля.

При высоких значениях этого показателя часто заметно снижается полевая всхожесть семян и оказывается значительное механическое сопротивление развивающейся корневой системе растений, изменяются водный, воздушный и тепловой режимы почвы, что отрицательно сказывается на развитии самих растений.

Именно поэтому измерение сопротивления пенетрации является обязательным при агрофизическом обследовании почвенного покрова. Однако при этом следует учитывать содержание влаги в почве, ее влажность, а также метод (прибор), с помощью которого производится измерение этой важной характеристики. Критическим значением сопротивления пенетрации, при котором проникновение корней в почву затруднено и растения начинают заметно страдать от этого, для почв

среднесуглинистого состава считается величина 2–3 МПа (20–30 кг/см²).

Измерение R_{pen} для учета неоднородности почв в рамках поля весьма затратно. Поэтому применяют разного рода мобильные пенетрометры, которые облегчают работу и повышают производительность измерений.

При наличии соответствующего оборудования могут быть использованы системы глобального позиционирования, что очень важно для выбора участков с учетом информации о неоднородности поля.

Определение влажности, содержания солей и текстуры почвы по ее электропроводности. При возделывании культурных растений необходима различная информация о почве, которая используется при закладке посевов и управлении ими, например, данные о текстуре (виде почвы), плотности, ионообменных свойствах почвы, о доступной растениям влаге и о воздухоемкости почвы.

Гранулометрический состав влияет на плотность залегания почвы и на ее ионообменные свойства. Чем меньше механические частицы почвы, тем больше ее плотность и тем значительнее обменная способность почвы для минеральных питательных элементов. Объем и распределения пор в почве влияют на содержание и формы связи влаги в почве и на воздушный режим, а благодаря этому – и на ее тепловой режим. Следовательно, текстура характеризует важные свойства почвы, которые, как и обусловленное ими плодородие поля, отличаются большой мелкомасштабной неоднородностью. Для дифференцированной системы проведения агротехнических мероприятий необходимо определять ее с помощью соответствующей измерительной техники, работа которой основана на учете различий физических свойств текстуры. Для этой цели на практике получило распространение измерение **электропроводности** или обратной ей величины – **электрического сопротивления почвы**.

Электропроводность является функцией плотности почвы, определяющей текстуру, содержание влаги, электропроводность почвенного раствора и температуру.

Измерение электропроводности почвы давно уже применяется в сельском хозяйстве для определения содержания солей в сильно засоленных почвах. При этом электроды устанавливают в почву, и измеряют величину тока на месте, либо отбирают пробы почвы и измеряют их

электропроводность в условиях лаборатории. Для упрощения этого дорогостоящего метода при определении влажности и концентраций солей в почве разработана бесконтактная техника измерения электрической емкости или электромагнитной индукции. Например, при непрерывном измерении содержания солей и влажности почвы используют датчики типа Triscan австралийской фирмы Sentek sensor technologies, измеряющие электрическую емкость на разных глубинах почвенного профиля.

Электрическое поле в датчике распространяется через стены пластмассовой трубы в почве и после соответствующей калибровки он позволяет получить точные данные о влажности почвы и содержании в ней солей.

Однако на глинистых почвах эти датчики не функционируют. Специальное программное обеспечение (IrriMax) позволяет проследить развитие засоления почв, изменение влажности почвы и «движение» солей при орошении и внесении удобрений, а также сопоставлять их с данными распределения осадков и изменения уровня стояния грунтовых вод.

С помощью соответствующих интерфейсов датчики можно интегрировать в разные системы.

Система Enviro Scan служит для проведения непрерывного и автоматизированного контроля влажности почвы.

Для определения электрической проводимости измеряют либо постоянный ток, либо электромагнитные поля переменного тока (электромагнитную индукцию). Об измерении свидетельствует интегрированный сигнал, поступающий из почвы с определенной глубины. Этот интегрированный сигнал коррелирует с содержанием солей и ила, влаги и органических веществ в почве.

На практике наиболее распространенными являются прибор Veris 3100 американской фирмы Veris Technologies, работающий на основе измерения постоянного тока (рисунок 9.2), и прибор EM38 канадской фирмы Geonics Limited, который основан на измерении электромагнитной индукции (рисунок 9.3).



Рисунок 9.2 – Общий вид прибора Veris 3100

Измерение электропроводности – относительно трудоемкое мероприятие. При определении электропроводности почвы измерительный прибор EM38 движется на пластмассовых санях на расстоянии 7–10 м от движителя (обычно автомобиля или трактора) по технологическим колеям поля или ручным способом. Это расстояние необходимо для устранения влияния магнитных полей от автомобиля или трактора (прибор весьма чувствителен ко всем металлическим предметам).



Рисунок 9.3 – Прибор EM38

Определение содержания органической субстанции или гумуса в почве. Важным показателем плодородия почвы является содержание гумуса.

Так как во многих регионах почвы по содержанию гумуса характеризуются значительной мелкомасштабной неоднородностью, в пределах одного поля требуется проведение дифференцированных мероприятий по воспроизводству его содержания. Поэтому его определение проводится в относительно мелких растрах. Однако точное определение содержания гумуса требует проведения дорогостоящих лабораторных анализов, связанных с озолением при температуре около 800° С либо с окислением почвы горячей хромистой серной кислотой.

Для того чтобы обойтись без проведения дорогостоящих лабораторных анализов в системе точного земледелия, содержание гумуса определяется дистанционно с использованием различий в отражении солнечного света органическими веществами с помощью спектрометров, преимущественно в ближней инфракрасной части спектра.

9.4. Датчики для измерения свойств растений и травостоев

Для бесконтактного измерения параметров, характеризующих рост и развитие растений (образование биомассы) и других параметров травостоев, применяют системы отражения дневного света и излучений искусственных источников (рисунок 9.4).

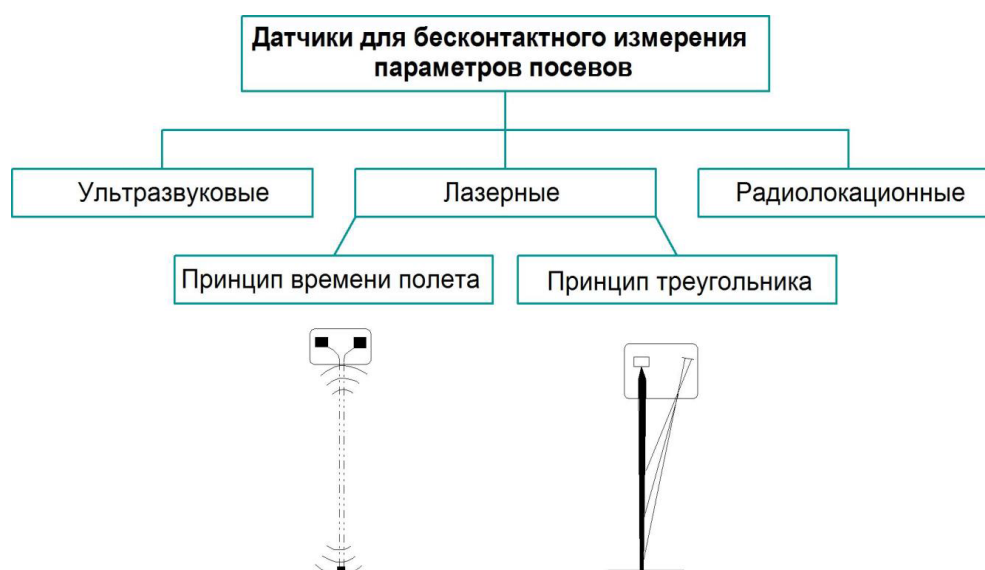


Рисунок 4 – Датчики для бесконтактного измерения параметров посевов и определения их свойств

Чаще всего работы проводят с использованием лазерных датчиков (рисунок 9.5). На практике успешно применяют также и систему, работающую по механическому принципу (Crop Meter).

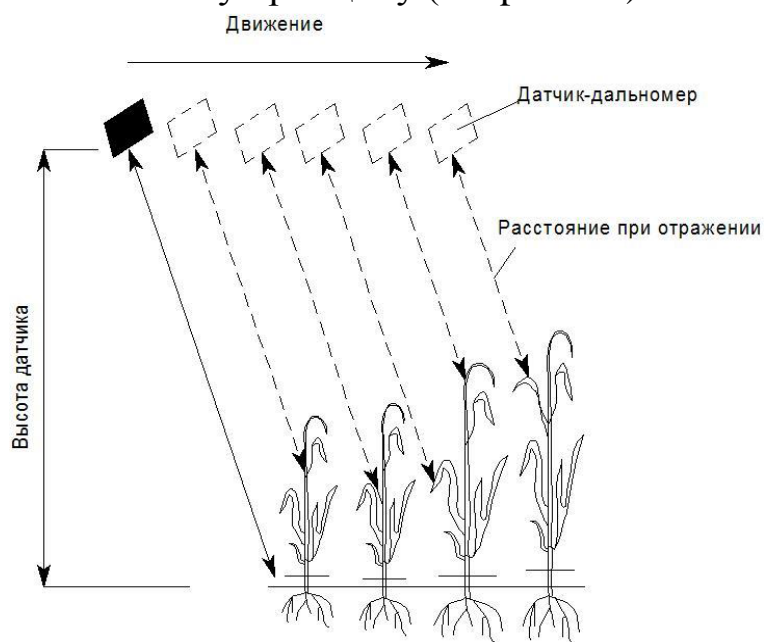


Рисунок 9.5 – Работа лазерных датчиков

Датчики для определения доз азота (N-датчики) и регуляторов роста. Датчики для определения доз азота имеют большое практическое значение для дифференцированного внесения второй или третьей дозы азотных удобрений. На рынке представлены системы датчиков, работающие на основе рефлексии видимого света, лазерных лучей и сопротивления травостоев изгибу.

В основе работы датчика заложен следующий принцип: в достаточной степени богатые азотом посевы, благодаря более высокому содержанию хлорофилла, имеют иной спектр рефлексии, чем менее обеспеченные. Они функционируют на основе измерения интенсивности либо падающего на посев дневного света, либо искусственного источника излучения и отражения неабсорбированной доли излучения. Такие датчики могут работать как в системах реального времени (On-line), так и в двухэтапных системах (Off-line).

Датчики, работающие на основе рефлексии света или лазерных лучей. Среди подобных систем YARA N-датчик (фирма AgriCon) достаточно давно представлен на рынке (с 1999 г.).

Прибор с датчиком (фотодиодами) устанавливают на крышу трактора (рисунок 6), и он на ходу измеряет интенсивность падающего на посев света и отражение абсорбированной его части. С помощью доба-

вочного датчика инфракрасного света определяют биологическую массу. В кабине трактора монтируется агрономический терминал для обслуживания датчика.

Результаты измерения очень точные, с интервалом в одну секунду. Одновременно происходят измерение и обработка данных, полученных с двух полос – справа и слева от трактора площадью 25–35 м² каждая.



Рисунок 9.6 – Датчиковая система для определения доз азота YARA N-датчик

Для измерения требуется в достаточной степени развитый посев, так как чем меньше растение, тем результаты измерения более искажены из-за влияния отражения лучей почвой. Поэтому датчик можно применять лишь в период, начиная от конца кущения.

Предпосылкой эффективной работы этих систем является отсутствие у посевов симптомов недостатка хлорофилла, которые вызваны не дефицитом азота, а другими факторами, например, недостатком серы и магния. Чрезвычайное засорение посевов так же ограничивает работу датчика, как и наличие вялых листьев после засухи. Повреждение листовой поверхности болезнями, вызывающими листовую пятнистость, тоже искажает результаты измерения. Избыток влаги на листовой поверхности, например, роса на листьях, вызывает проблемы в работе датчика.

По отраженному посевом свету рассчитывают спектральный индекс (содержание азота и биомасса). Для каждой культуры с учетом дозы поглощения азота растительным покровом устанавливается функция регулирования, используемая как растениеводческий алгоритм. В зависимости от степени изменения поглощения азота и биомассы доза азота варьирует от 0 до 120 кг/га.

Для приспособления датчика к полевым условиям – конкретной ситуации местонахождения требуется его калибровка. При этом определяют диапазон регулирования между минимальными и максимальными дозами удобрения, в пределах которого система самостоятельно рассчитывает необходимое количество азота на основе алгоритма аппликации. Калибровку проводят на основе измерения рефлексии посевов и соответствия каждому измеряемому показателю рефлексии определенного количества азота.

На основе многолетних анализов и многочисленных опытов с посевами озимых зерновых установлено, что применение YARA N-датчика позволяет:

- повысить урожайность на 3–7 %;
- снизить затраты азотных удобрений на 10–15 %;
- повысить содержание сырого протеина у озимой пшеницы на 0,2–0,5 %.

Принцип действия датчиковой системы MiniVeg N фирмы Georg Fritzmeier GmbH & Co.KG основан на возбуждении хлорофилла внешним источником лазерных лучей. Вызванную благодаря этому флуоресценцию измеряют совместно с природной флуоресценцией, и на этой основе рассчитывают индекс флуоресценции. Этот индекс при незначительном обеспечении посевов азотом или при других стрессовых факторах (болезни, засуха) снижается, а при высоком уровне снабжения – возрастает.

Прибор фронтально установлен на тракторе (рисунок 9.7) и имеет ширину 6 м. Он состоит из четырех независимо работающих датчиков, которые расположены вертикально по отношению к посеву.



**Рисунок 9.7 – Датчиковая система для определения доз азота
MiniVeg N**

Прибор измеряет флуоресценцию верхних листьев и частей стеблей. Для его безошибочного функционирования необходима точная установка по высоте благодаря двум ультразвуковым датчикам с соответствующей гидравлической регулировкой. В процессе работы получают информацию о флуоресценции и высоте посева, а также о точности попадания лучей на листья растений. Это обеспечивает точный учет численности растений. Для того чтобы установить по возможности большее число растений, частоту измерений регулируют в зависимости от скорости движения в диапазоне 5–20 кГц.

Так как система измеряет абсолютную обеспеченность посева азотом, то при этом не требуется калибровка. Система калибруется самостоятельно с помощью встроенного стандарта флуоресценции. Доза азота рассчитывается по данным измерения на основе модели потребности растений в азоте в зависимости от культуры, планируемой урожайности и характера использования убранный продукт. В бортовом компьютере для этого сохраняются соответствующие функции (кривые) регулирования.

Датчик Stop Circle Sensor фирмы Holland Scientific работает по принципу определения интенсивности абсорбции света посевами в видимой и близкой к этому инфракрасной частях. Измерения проводят с помощью двух собственных источников света, так что система может работать и в ночное время. На основе различий в интенсивности абсорбции определяют разнородность в обеспеченности растений азотом. Данная система работает лишь в двухэтапном режиме, то есть данные измерений накапливаются на PDA и переносятся на компьютер в офисе для составления аппликационной чип-карты. Таким образом, требуется два объезда поля: для измерения и для внесения доз азота на основе чипкарт. С собственным источником излучения и измерением рефлексии по принципу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) работает система сенсоров Green Seeker. Этот принцип можно выразить с помощью формулы:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (9.2)$$

где *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра;
RED – отражение в красной области спектра.

Согласно формуле (9.2), плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) расположен максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7–1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. Таким образом, высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) приводит к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительные от прочих природных объектов. Использование не просто отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений, как различия в освещенности снимка, облачность, дымка, поглощение радиации атмосферой и др.



Рисунок 9.8 – Датчики GreenSeeker RT200

Датчики могут присоединяться к отдельным форсункам или в разном количестве к частям опрыскивателя или тукоразбрасывателя (рисунок 9.8). Прибор может регулировать внесение азотных удобрений

в твердой или жидкой форме. Его используют и для дифференцированного внесения регуляторов роста.

Датчики для измерения рефлексии лазерных лучей травостоями также можно использовать с целью определения потребности растений в азоте. Они работают по принципу измерения длительности движения света или триангуляции. У датчиков, работающих по принципу триангуляции, сенсором направляется лазерный луч, который на определенном расстоянии попадет на поверхность (например, часть растения или почву), диффузно отражается и рефлекцируется.

Через линзу отраженный свет попадет на приемник, который обеспечивает подачу сигнала, пропорционального расстоянию. Поэтому такие сенсоры используют для измерений на незначительных расстояниях (несколько метров), в то время, как сенсоры, работающие по принципу измерения длительности движения света, пригодны для ограниченных и дальних расстояний.

Датчики для определения сопротивления стеблестоев изгибу

Сопротивление стеблестоя изгибу измеряют с помощью датчиков, работающих по механическому принципу физического маятника. На рынке с 2004 г. предлагается такой датчик Crop Meter (рисунок 9) фирмы Agrosom.



Рисунок 9.9 – Общий вид смонтированного на тракторе датчика Crop Meter

Система Crop Meter работает по принципу непрямого измерения биомассы растений. На передней части трактора крепится маятник, с

помощью которого на постоянной высоте измеряют силу сопротивления растений при их отклонении от вертикального положения. В зависимости от угла отклонения маятника и установленных при калибровке коэффициентов, бортовой компьютер вычисляет биомассу растений и содержание в них азота. Полученные значения передаются на контроллер опрыскивателя или разбрасывателя удобрений. Такая технология обеспечивает внесение доз удобрений в зависимости от состояния растений.

Если в качестве бортового компьютера используют компьютер Agrosom Cebis Mobile со встроенным GPS-приемником и соответствующим программным обеспечением, то в результате работы автоматически создается, например, карта распределения содержания азота в растениях.

9.5. Датчики для компьютерного мониторинга и составления карт урожайности

Компьютерный мониторинг и картирование урожайности культур, убираемых зерноуборочными и кормоуборочными комбайнами, являются важным и полезным источником информации о неоднородности урожайности на отдельных участках полей. Мониторинг урожайности не позволяет установить причины возникновения различий в урожае, но показывает, на каких участках поля следует проводить дальнейший анализ, чтобы выяснить, чем вызвана эта разница.

Проведение такого мониторинга на протяжении нескольких лет способствует выявлению зон с разным потенциалом урожайности в пределах одного поля. Накопленные данные можно использовать прежде всего для:

- контроля эффективности растениеводческих мероприятий;
- идентификации проблемных зон;
- выявления и установления границ зон управления (Management Units);
- определения стратегии хозяйствования на данном поле;
- проведения экономического анализа.

Картирование урожайности в настоящее время проводится для всех культур, которые убирают зерноуборочными комбайнами (зерновые, зернобобовые, кукуруза на зерно, рапс и другие масличные куль-

туры), а также кормоуборочными комбайнами. Предпосылкой для этого стало оснащение уборочной техники дГСП-приемниками и датчиками для измерения урожайности. Накопление и обработка данных измерения осуществляются с помощью электронно-вычислительного модуля, бортовой информационной системы и программы картографирования (ГИС), заложенной в бортовых компьютерах (рисунок 10).

При картировании урожайности производят дГСП-позиционирование комбайна (координаты и время), геокодирование измерительных данных и их накопление в бортовом компьютере. Зерноуборочные комбайны всех ведущих фирм оборудованы такими системами. На рынке предлагают также первые кормоуборочные комбайны с соответствующими датчиками.

Помимо датчиков урожайности, зерноуборочные комбайны оборудованы датчиками, предназначенными для измерения влажности зерна, а также определения рабочей скорости и ширины захвата, а в некоторых случаях – датчиками наклона.

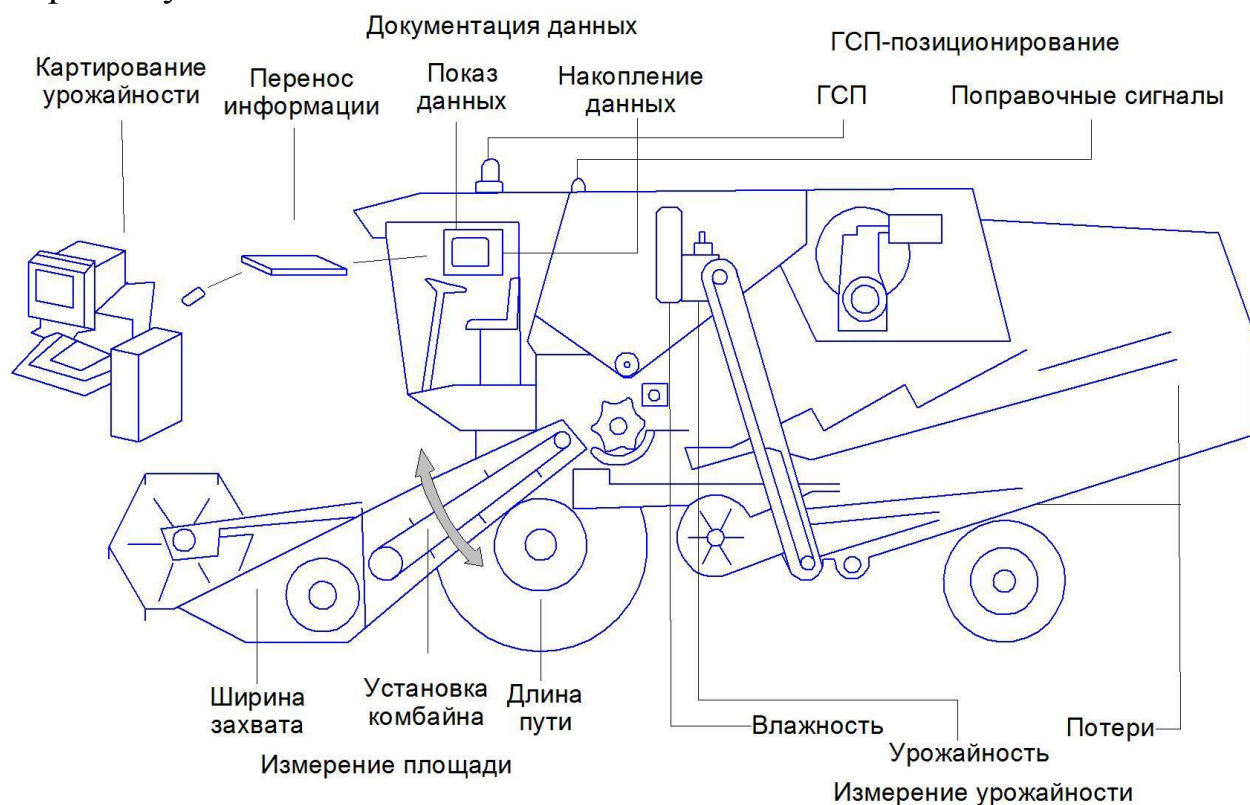


Рисунок 9.10 – Схема оснащения уборочного комбайна для картирования урожайности

Датчики урожайности на зерноуборочных комбайнах выдают отдельные измерительные показатели (пропускная способность зерна), по

которым урожайность вместе с данными об убранной площади вычисляют с помощью формулы:

$$Y = [п \cdot T] / (м \cdot ш) \cdot [(1 - B_1) / (1 - B_2)] \quad (9.3)$$

где Y – показатель урожайности, ц/га;

$п$ – пропускная способность комбайна (выраженная в показателях объема или массы), т/ч;

T – интервал между измерениями, с;

$м$ – путь, пройденный между двумя измерениями, м;

$ш$ – ширина захвата, м;

B_2 – требуемая влажность зерна, %;

B_1 – влажность зерна при уборке, %.

Если, например, интервал между измерениями составляет 3 с, скорость движения – 2 м/с (7,2 км/ч), ширина захвата – 5 м, пропускная способность комбайна – 15 т/ч и влажность зерна – 18 %, то площадь обработанной поверхности между измерениями ($м \cdot ш$) составляет 30 м². При пропускной способности 15 т/ч (15000 кг / 3600 с) комбайн убирает 4,16 кг зерна в секунду. В течение одного интервала измерения (3 с) убирается, следовательно, $3 \cdot 4,16 \text{ кг/с} = 12,5 \text{ кг}$ зерна. Это соответствует локальной урожайности $12,5 \text{ кг} / 30 \text{ м}^2 = 0,416 \text{ кг/м}^2$. При влажности 18 % сухая масса достигает $0,416 \text{ кг/м}^2 \cdot (1 - 0,18) = 0,341 \text{ кг/м}^2$, и урожайность убранного зерна при 14 % требуемой влажности составляет $0,341 \text{ кг/м}^2 \cdot 1,14 = 0,389 \text{ кг/м}^2$.

Помимо данных об урожайности, бортовой компьютер в картотеке урожайности (банке данных) накапливает дополнительные сведения (как правило, 300–500 точек на гектар). Каждая строка данных в ней соответствует одной точке измерения. Картотека включает следующие данные: географическая широта, долгота, высота; дата, время измерения; точность определения географической широты и долготы; сведения о культуре, калибровке системы; показатели датчика урожайности.

Датчики урожайности измеряют поток зерна в головке элеватора зерноуборочного комбайна. По принципу работы различают системы прямого измерения, которые определяют объем (массу) потока зерна или число импульсов, создаваемых зерном при прохождении по головке элеватора, и системы косвенного измерения, которые фиксируют абсорбцию зерном лучей от внешнего источника излучения.

Датчики систем прямого измерения работают по принципу определения:

- объема (массы) проходящего зерна с помощью фотоячейки;
- импульсов усилий, которые проходящий поток зерна вызывает на измерительном щупе или при ударе об отбойный щиток.

В первом случае в головке зернового элеватора находятся фотоячейки, которые измеряют период, в течение которого свет не достигает фотодатчика (рисунок 9.11, а).



Рисунок 9.11 – Схема измерения объема проходящего зерна в элеваторе:

а – фотоячейкой; б – измерительным щупом; в – отбойным щитком

Чем больше этот временной отрезок, тем выше уровень наполнения ячеек элеватора или объем протекающего зерна. Для определения проходимости зерна (масса на единицу времени) необходимо знать его насыпную плотность. Она считается во время уборки постоянной величиной. Урожайность вычисляют из объема конуса насыпки и насыпной плотности.

Для компенсации влияния склона на показатель урожайности при работе уборочного комбайна в наклонном положении системы измерения объема дополнительно оборудуются датчиками наклона.

По этому принципу на практике работают, например, системы Ceres 2, Ceres 8000 фирмы RDS Technology Ltd и зерноуборочные комбайны фирмы Claas, оборудованные системой Quantimeter 2 фирмы Agrocom.

У систем, которые работают по принципу определения усилий и вызванных ими импульсов, в головке зернового элеватора помещают либо измерительный щуп (рисунок 11, б), либо отбойный щит (рисунок 9.11, в).

В первом случае измерительный щуп фиксирует импульс, который вызывает проходящее зерно. Чем больше этот поток, тем больше импульс. Во втором случае проходящие зерна ударяются об отбойный щиток. При этом измеряют импульс, который при постоянной скорости движения элеватора пропорционален убранной массе зерна. С использованием дополнительных показателей можно вычислять также и урожайность зерна, полученного с данной площади. На этом принципе измерения урожайности основана работа, например, системы Greenstar фирмы John Deere, Advanced-Fanning Systems фирмы Case, N-Net-системы фирмы Massey-Fergusson и Fieldstar-системы фирмы Fendt.

У датчиков, которые измеряют количество зерна в элеваторе косвенным способом, слабый радиоактивный источник излучения имитирует гамма-лучи, поступающие от радиоактивного элемента к детектору (рисунок 9.12).



Рисунок 9.12 – Схема косвенного определения прохода зерна в зерновом элеваторе с помощью измерения гамма-лучей радиоактивного элемента в радиодетекторе

Зерно, проходящее через головку элеватора, поглощает определенное количество этого излучения. Сравнивают интенсивность гамма-излучения, которое имитирует источник с одной стороны элеватора, с

интенсивностью излучения, которое принимает радиодетектор с другой стороны элеватора. При проходе большого объема зерна абсорбция гамма-излучения также увеличивается, и показатель радиодетектора становится относительно низким. При проходе меньшего количества зерна получают, наоборот, высокие показатели радиодетектора.

В этой системе работают, например, зерноуборочные комбайны фирм Massey-Fergusson (Flow-Control система) и Fendt-Dronningborg.

Все системы измерения урожайности в современных зерноуборочных комбайнах включают также датчики для измерения влажности зерна. Они расположены у входа в элеватор или в зерновом баке и работают по принципу измерения электропроводности: чем более влажное зерно, тем выше его электропроводность. Определив влажность зерна, можно пересчитать убранный его объем в стандартную сухую массу либо отнести его к базисной влажности, благодаря чему достигается сравнимость результатов измерения.

Принцип работы датчиков на кормоуборочных комбайнах. Датчики, предназначенные для определения урожайности зеленой массы при работе кормоуборочных комбайнов, измеряют давление питающих валков и отклонение валков предварительного прессования, а также скорость потока зеленой массы (рисунок 9.13).

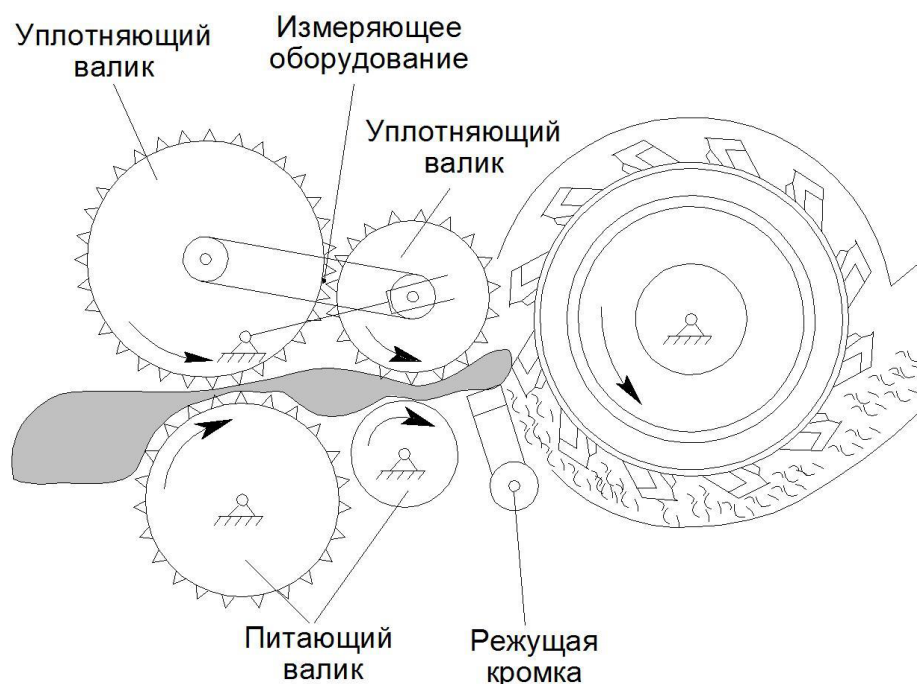


Рисунок 9.13 – Схема работы датчика в кормоуборочном комбайне для определения урожайности зеленой массы

Чем больше зеленой массы принимается, тем выше давление валков. При помощи соответствующей калибровки на основе данных давления рассчитывают показатели проходящей массы.

На рынке фирмы John Deere и Claas предлагают уборочную технику, оборудованную этими системами компьютерного мониторинга урожайности.

Кормоуборочные комбайны фирмы John Deere дополнительно оборудованы датчиками для бесконтактного определения сухой массы (Harvest Lab) при уборке. Они работают по принципу абсорбции инфракрасного света.

Датчики для определения засоренности, поражения болезнями и вредителями. Совершенствование методов мониторинга засоренности посевов и их степени поражения вредными организмами для дифференцированного внесения средств защиты растений с учетом мелкомасштабной неоднородности их распределения по полю весьма актуально. На протяжении многих лет ведутся интенсивные работы по использованию с этой целью системы датчиков.

Датчики для определения засоренности. Процесс дифференцированного внесения гербицидов с учетом неоднородности засорения включает следующие этапы:

- сбор данных, необходимых для принятия решения о внесении гербицидов с учетом мелкомасштабной неоднородности засоренности поля;
- обработка данных и их оценка с точки зрения экологического и экономического факторов;
- управление работой опрыскивателя с учетом неоднородной засоренности поля.

Двухэтапные технологические решения весьма затратны, на практике преимущественное значение приобретают системы, работающие в масштабе реального времени, когда сбор данных, их обработка и управление опрыскивателем проводятся в одном рабочем проходе. Для сбора данных необходимы эффективные датчики, предназначенные для оперативного определения числа сорняков. Компьютер оперативно передает сигналы управления опрыскивателю.

При этом большое значение имеет расстояние между датчиком и штангой опрыскивателя. Необходимо также учитывать, что система датчиков должна обследовать достаточный размер площади, чтобы до-

стоверно оценить порог вредоносности. Из всех испытанных систем датчиков для определения засоренности наибольшее практическое значение имеют две системы:

- системы на основе оптических или оптоэлектронных датчиков;
- системы на основе цифровой расшифровки снимков.

Эффективность системы зависит от того, достаточно ли определение общей засоренности или необходимо учитывать отдельные виды сорняков. Системы оптических или оптоэлектронных датчиков лишь определяют общий объем сорняков, не различая их, а с помощью системы, предназначенной для цифровой расшифровки снимков, можно также определить видовой состав.

Оптические или оптоэлектронные датчики работают по принципу отражения. При этом необходимо учитывать тот факт, что отражение света почвой отличается от отражения растениями. Красный свет (600–700 нм) интенсивно поглощается хлорофиллом, а близкий к инфракрасному (750–1000 нм) – в значительной степени им отражается. Отражение почвой или мертвыми растительными частями возрастает постепенно по всему спектру.

По величине отношения отражения в инфракрасной области к красной (Q) можно четко различать зеленые растения. Величина Q для почвы составляет 1,1–1,5, а для зеленых растений – 6–15.

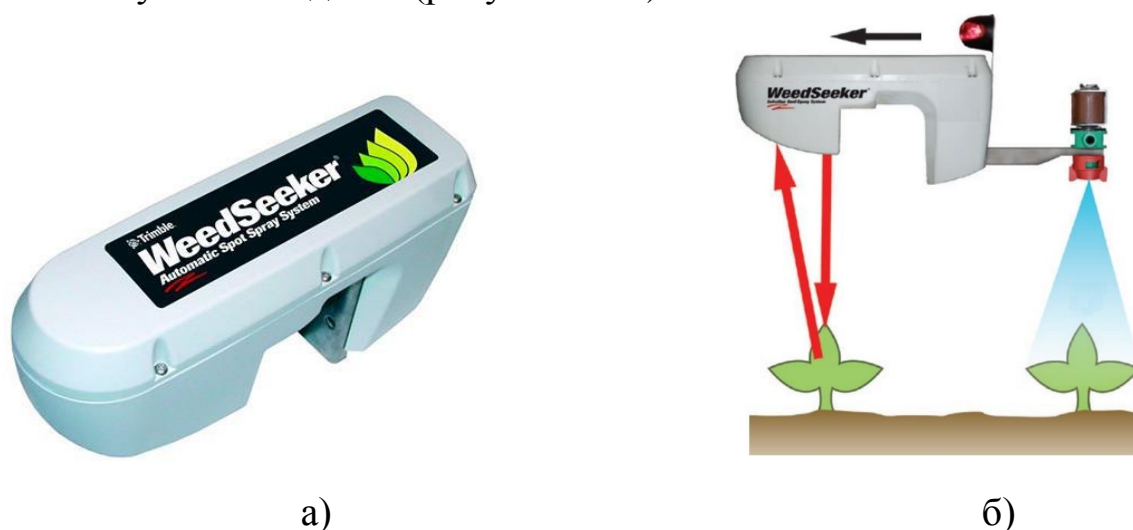
С 1992 г. подобная система под названием Detectspray представлена на рынке в Австралии. Она применяется при внесении неселективных гербицидов на парах, в плодовых садах и виноградниках, при консервирующей обработке почвы, на лугах и пастбищах для уничтожения очагов сорняков, а также на насыпях железной дороги. Система Detectspray была усовершенствована в конце 90-х гг. в Германии и известна под названием система SBB.

В усовершенствованной системе ослаблена калибровка благодаря введению датчика дневного света, что снизило объем времени, затраченного на измерение (с 3,3 до 2 мс). В связи с этим стало возможной работа с достаточной точностью в диапазоне рабочей скорости опрыскивателя 0,4–8 км/ч.

Эта система обнаруживает сорняки на площади бо-лее 1 см² и с достаточной точностью работает на участках, занятых культурами (кукуруза, сахарная свекла). Она в зависимости от опрыскивателя может

управлять отдельными форсунками или определенной секцией штанги с насадками.

В США запатентована также система Weed-Seeker, которая работает так же, как и GreenSeeker, с собственным источником света, определяя величину NDV-индекса (рисунок 9.14).



**Рисунок 9.14 – Датчиковая система WeedSeeker:
а – общий вид; б – принцип действия**

Технические возможности опрыскивателей для дифференцированного внесения гербицидов. Для дифференцированного внесения гербицидов и других средств защиты растений с учетом неоднородности распределения вредных объектов на участках поля, кроме достаточно точно работающей датчиковой техники, необходимо располагать техникой, позволяющей производить опрыскивание с переменным регулированием расхода. Она должна обеспечивать в доли секунды точное дозирование расхода препарата на конкретных участках поля в зависимости от их засоренности.

Современные опрыскиватели обладают целым рядом технических возможностей для точной реализации мероприятий по защите сельскохозяйственных растений при работе в режиме реального времени и в двухэтапном технологическом режиме. К ним относятся: выключение всей системы опрыскивания, изменение ширины захвата или выключение отдельных распылителей с помощью быстродействующих электромагнитных, шариковых или других клапанов. Необходимый объем расходуемых препаратов регулируют с помощью бортовых компьютеров изменением скорости движения и давления.

У гидравлически регулируемых распылителей изменение расхода рабочей жидкости при работе в режиме реального времени производится в тесных рамках, так как при постоянной скорости движения опрыскивателя их регулировка возможна лишь за счет варьирования давления. Однако при этом изменяется размер капель, который в свою очередь влияет на распределение препарата по поверхности объекта и на качество опрыскивания.

9.6. Дистанционные и наземные методы измерения индекса NDVI

Технологии дифференцированного внесения жидких и твердых минеральных удобрений, средств защиты растений, является ключевым элементом 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 недостатком спутниковой съёмки являются атмосферные явления, которые влияют на качество снимка и на 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 на одну территорию и обработкой композитного изображения. Вторым недостатком до недавнего 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, например, в Нечернозёмной зоне, разрешающая способность системы MODIS не позволяет с необходимой точностью оценивать отдельные поля, т.к. их размеры и конфигурация сопоставимы с размерами пиксела 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 в Нечерноземье 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

среднемноголетними 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.indexdatabase.de/> для MODIS (в период с 1992 по 2011) указано 35 ссылок, для Landsat (1972–2011) – 81 ссылка. Однако в этих работах рассматриваются 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, т.к. 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 внутрипольной 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 2–3 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 десятки и сотни тысяч 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 часа (обычно 25–40 минут) из-за необходимости смены аккумулятора. За 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 зависимости от количества и детальности снимков и мощности процессора вычислительной машины (т.к. 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, на 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 K-H., 2007; Joshua Bushong, 2008). Несмотря на широкие открывающиеся перспективы гиперспектральной съёмки, 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, то есть 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 и пассивные датчики. Их стоимость

существенно ниже, но необходимое условие для работы с ними – хорошая равномерная освещённость 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 с записью трека движения. При детальном обследовании поля происходит существенный расход топлива, т.к. необходимо осмотреть посевы по всей площади, двигаясь по полю «челноком» по технологическим колеям. Поэтому использование оптических датчиков на тракторах обычно проводится в режиме *on-line*, 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 осуществляется автоматически во время движения трактора, с записью в бортовой компьютер трека движения, значений индексов и количества внесенного удобрения в каждой точке поля.

9.7 Оптические датчики для координатного земледелия

В настоящее время (по данным Povich & 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 *on-line* на основе оперативной оценки variability растительной массы посева. В мировой практике наибольшее распространение получили сенсорные датчики GreenSeeker, Miniveg N, N-Sensor, Grop-Sensor (фирма «Hydro Agri»), Cropmeter (фирма «Agrocom»), N-Sensor Yara (фирма «Yara»).

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 *on-line*, что позволяет более рационально расходовать азотные удобрения.

Принципиальная схема работы датчика и пример установки оптических головок (датчиков) на штангу опрыскивателя показаны на рис. 9.15, а пример карты распределения значений NDVI на посевах ячменя представлены на рис. 9.16.

Для экономии гербицида при выборочном опрыскивании от сорняков используется подобный датчик с тем же принципом действия (коммерческое название WeedSeeker). Применение фунгицидов в дифференцированных дозах также можно проводить на основании оценки индекса NDVI, т.к. он показывает уровень развития биомассы посева (или посадок).

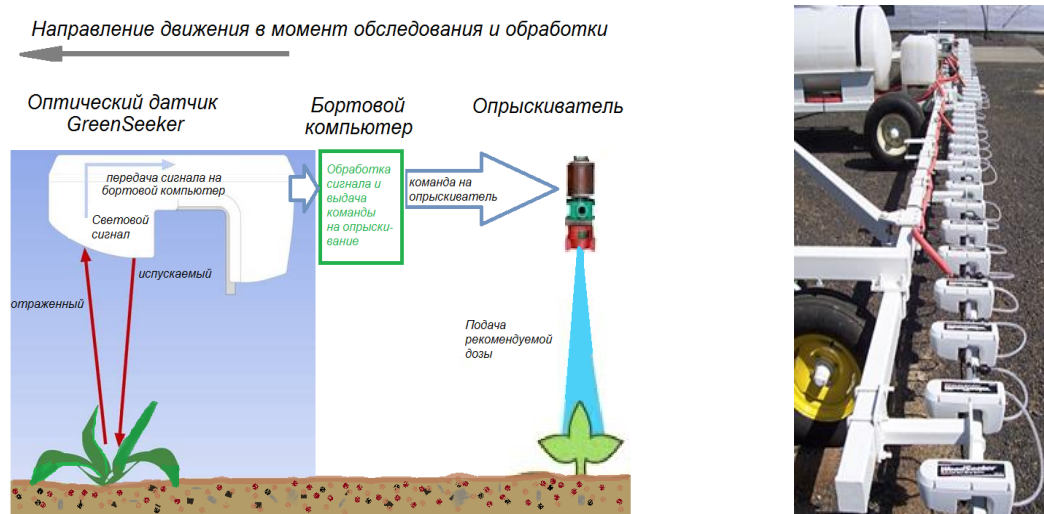


Рис. 9.15. Принципиальная схема работы прибора GreenSeeker (WeedSeeker) в комплекте с бортовым компьютером и опрыскивателем при внесении по технологии *on-line*. Справа: опрыскиватель с 40 головками WeedSeeker, подключенных к собственной форсунке

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», т.к. работает без собственного источника излучения, и лишь «ловит» отражение внешней освещённости, и это существенно ограничивает возможности его работы.

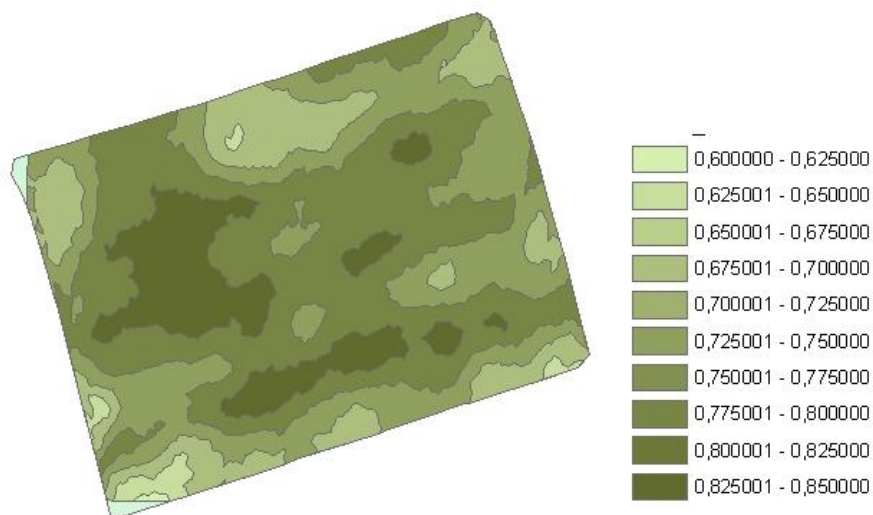


Рис. 9.16. Карта распределения значений NDVI на посевах ячменя в фазу колошения, построенная с помощью GreenSeeker® RT 200 на опытном поле РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

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, 1 – 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 (рис. 9.15). 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. 9.17).

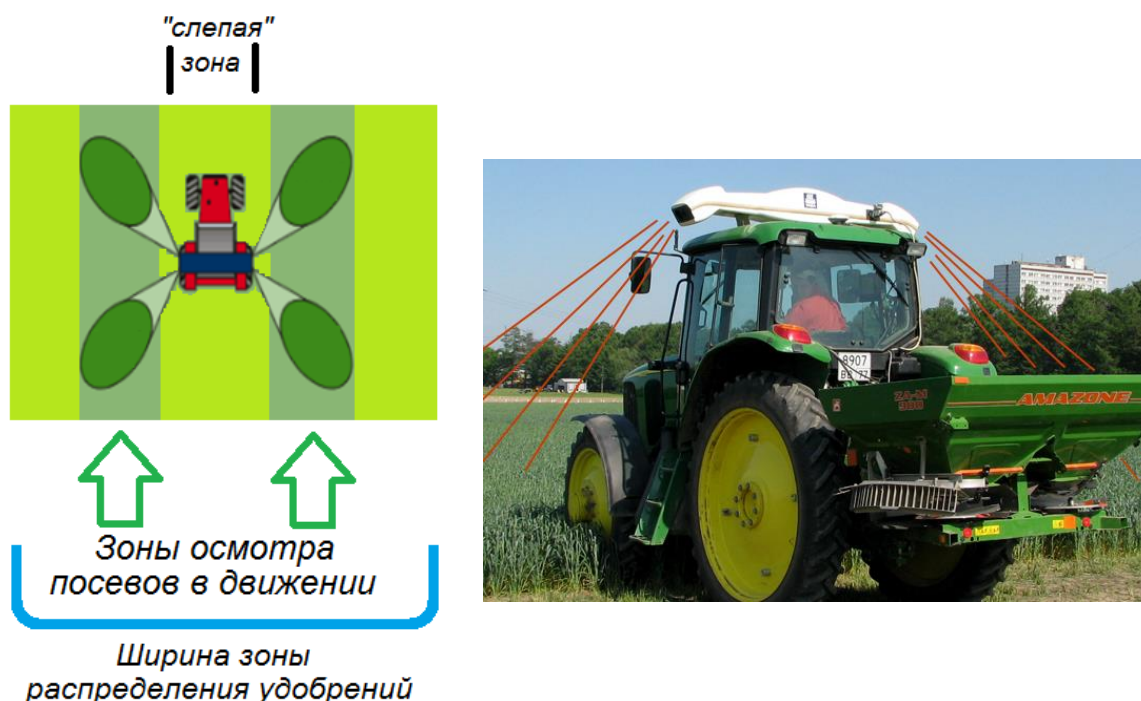


Рис. 9.17. Принципиальная схема обследования посевов оптическим датчиком N-Sensor Yaга в комплекте с распределителем гранулированных удобрений Amazone для внесения по технологии *on-line*.

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.sensoroffice.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, т.к. используются для расчёта доз внесения азотных подкормок, но также могут быть использованы 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.

Сканер растительного покрова CropSpec (фирма «Торсон») 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. 9.18).



Рис. 9.18 Сканер растительного покрова CropSpec

Использование сенсорных датчиков обеспечивает также и дифференцированное внесение средств защиты растений. Система точного опрыскивания WEEDit Ag (фирма «Rometron») 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.

Система WeedSeeker (компания «Trimble») использует 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.

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 секация картофеля.

Программа работает в трех режимах на русском языке:

- режим online – ежесекундное измерение состояния растений (переменное внесение азота);
- режим 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.

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. 9.19) и Yara N-Tester™ (рис. 9.20), с помощью которых проводят листовую диагностику потребности зерновых в азотных подкормках. Оба датчика имеют цифровой экран, на котором высвечиваются средние значения по нескольким измерениям.



Рис. 9.19. Оптический датчик GreenSeeker handheld, ручные измерения NDVI посева.



Рис. 9.20. Оптический датчик Yara N-Tester™. Измерение по листу.

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. 5.4). 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).

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 состояния растительности по индексу NDVI необходимо проводить съёмку не реже 1 раза в 7–10 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. Расчёт доз азотного удобрения для подкормки проводят согласно калибровочным таблицам данных приборов и на основании экспертной оценки агронома под планируемую урожайность зерновых.

9.8. 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. Но есть одно 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 «беспросветной» 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 загроублять с применением процедуры скользящего окна (размер окна выбирается с учетом внутривидовой неоднородности посева и в идеале должен соответствовать ширине захвата распределителя удобрений или опрыскивателя). Обследования посевов оптическими датчиками для создания файлов предписания проводятся в фазы, когда необходима обработка посевов: подкормка или внесение пестицидов согласно технологической карте возделывания (рис. 9.21).

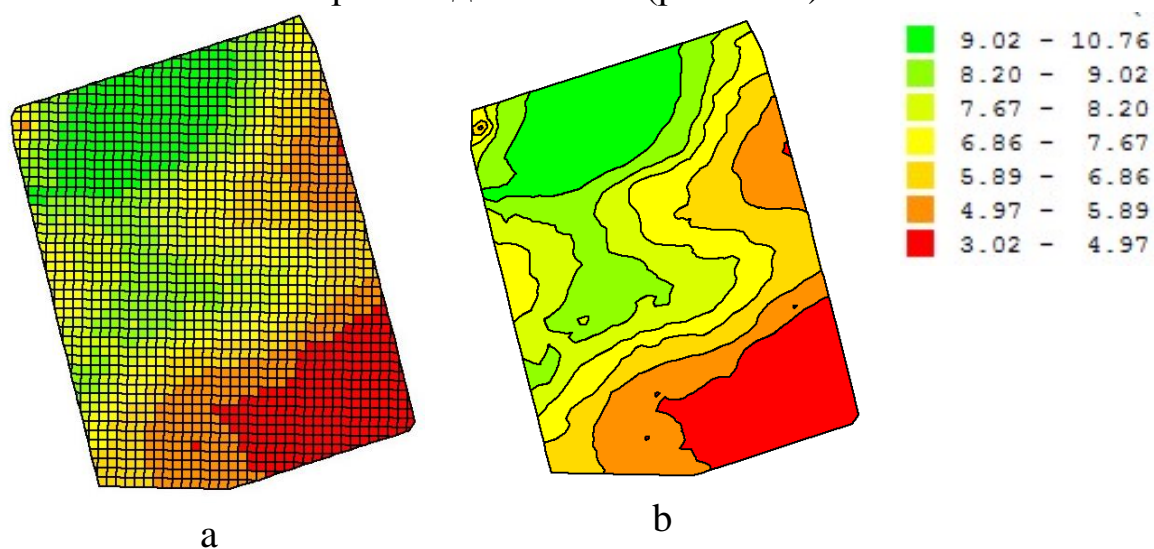


Рис. 9.21. Распределение биомассы ячменя (т/га) во время вегетации (июль): а) сетка 3 × 3 м; б) контурная карта

Мониторинг сезонной динамики NDVI позволяет оценить состояние посевов во время вегетации, скорость прироста биомассы, спрогнозировать урожайность и возможные потери от форс-мажорных обстоятельств на поле (вспышка численности вредителей, полегание, 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. Чем заключается основы сенсорики? 2. Как работает датчики для определения свойств почвы? 3. Какие датчики для измерения свойств растений и травостоев Вы знаете? 4. Объясните пожалуйста, датчики для компьютерного мониторинга и составления карт урожайности. 5. В чем заключаются дистанционные методы наблюдения за продукционным процессом в растениеводстве? 6. Что представляет собой индекс NDVI, и для чего он рассчитывается? 7. На каких принципах основана работа сенсорных датчиков в системе координатного земледелия? 8. Какие приборы применяются для оценки индекса NDVI в системе координатного земледелия? 9. Расскажите о принципиальной схеме обследования посевов оптическим датчиком N-Sensor Yara? 10. Как работает оптический датчик N-Sensor Yara в комплекте с распределителем гранулированных удобрений в режиме *on-line*? 11. Что собой представляют портативные датчики для бесконтактных измерений показателей травостоя, и как они работают? 12. В чем заключается пространственно-временная оценка NDVI в координатном (точном) земледелии?

10. ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

10.1. Общие сведения

Важнейший компонент системы координатного земледелия — дифференцированное внесения 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 не выгодно, но 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 те, что накопились в почве ранее. При этом, сама биологическая потребность растения в питании на том или ином участке поля может быть разной, в зависимости от его 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, то есть, условно говоря, на каждый квадратный метр вносится столько удобрений, сколько необходимо

именно здесь (на данном элементарном участке поля). Внесение проводится в двух режимах — off-line и on-line. Дифференцированное внесение минеральных удобрений на сегодняшний день является одним из ключевых элементов в точном земледелии.

10.2. Режим дифференцированного внесения off-line

Режим off-line 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. Затем карта-задание 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 же, получив сигнал, выставляет на распределителе удобрений нужную дозу (рис. 10.1).



Рис. 10.1 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. 10.2. представлена карта-задание для внесения азота на поле озимой пшеницы.

Светло-голубой фон — зоны внесения стандартной дозы 70 кг/га азота. Синий фон — повышение дозы до 80 кг/га. Темно-синий фон — доза выше 80 кг/га. При сопоставлении карт 39 и 40 видно, что по посевам с хорошей биомассой доза внесения азота составляет стандартную заданную величину 70 кг/га. Темно-синие пятна на рис. 48 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.

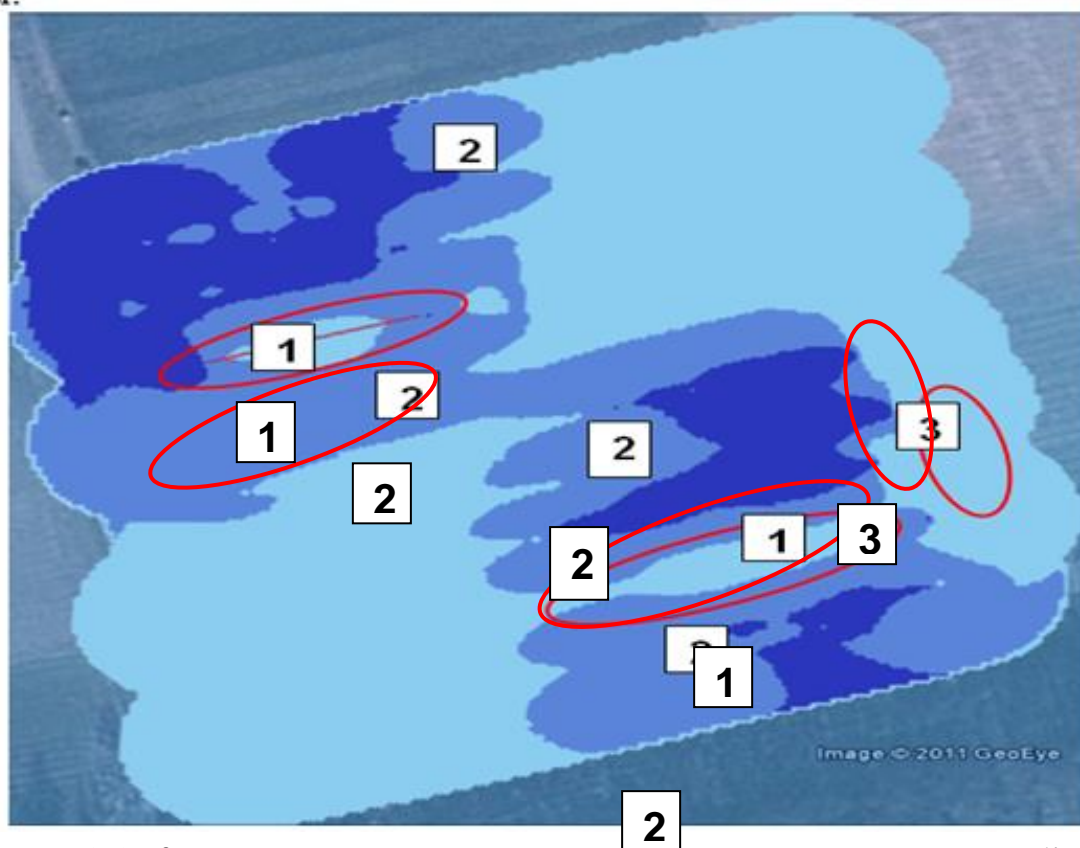


Рис. 10.2 Карта-задание доз внесения азота по технологии on-line.

10.3. Дифференцированное внесения в режиме реального времени (режим on-line)

Режим реального времени (on-line) 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 рассчитывает по этим показателям 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 on-line (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия исполнителя) записываются на чип-карту.

В режиме on-line 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 off-line. В настоящее время активно ведутся разработки различных датчиков, позволяющих использовать режим on-line. 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.

10.4. 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 используются оптический датчик RT-200 GreenSeeker ® (США) (рис. 10.3.) и N-Sensor ® ALS (Германия) (рис. 10.4).

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. 10.3 Система RT-200 GreenSeeker ® в работе



Рис. 10.4 Сканирующая система Yara N-Sensor ® ALS, установленная на кабине 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 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, экономии рабочего времени и утомляемости оператора (рис. 10.5).



Рис. 10.5. Дифференцированное опрыскивание картофеля

Мировой опыт показывает, 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. Это не только минимизирует вред, наносимый окружающей среде, но и выгодно с экономической точки зрения за счет того, что 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 off-line и on-line 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?

11. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

11.1 Экономические аспекты технологии точного земледелия

Применение технологий точного земледелия требует дополнительных затрат, среди которых можно выделить категории:

- на сбор данных (карты, глобальные системы позиционирования, сенсоры);
- на мониторинг данных (техника и программное обеспечение);
- на специальную технику для точного выполнения агроприемов и осуществления навигации (ГСП-управляемые машины и оборудование для дифференцированной обработки почвы, посева, внесения удобрений, средств защиты растений и др.).

При внедрении системы технологий точного земледелия необходимо учитывать предполагаемые затраты на каждую из них и многочисленные факторы и обстоятельства, которые в итоге обеспечивают эффект. Обобщенные данные мирового опыта по отдельным технологиям точного земледелия приводятся в таблице 11.1.

Таблица 11.1 - Эффект от применения технологий точного земледелия с учетом предполагаемых затрат

Технология	Дополнительные затраты	Эффект
Параллельное вождение	Автоматическая система управления; исполнительная карта; программное обеспечение; затраты на обучение персонала	Экономия времени; экономия топлива; водитель может выполнять другие задачи; повышение общей производительности и качества работы
Дифференцированный посев	Почвенные карты; сеялка для дифференцированного посева, изменения глубины и плотности; системы DGPS/RTK	Повышение урожайности за счет лучшей плотности семян и их распределения; снижение затрат на семена

Технология	Дополнительные затраты	Эффект
Дифференцированное внесение удобрений	Система дифференцированного внесения удобрений; встроенная система ГИС; аэрофотоснимки, картирование урожайности, пробы почв, карта почвы, затраты на обучение персонала	Повышение урожайности; экономия времени; экономия удобрений
Дифференцированное опрыскивание по карте сорняков	Комплексный инжекторный распылитель; пробы почвы (карта почвы);	Экономия гербицидов; экономия времени; повышение урожайности
	Затраты на обучение персонала; составление карты сорняков с автономными системами отображения сорняков	
Дифференцированное орошение	Программное обеспечение управления водопользованием; поливной трубопровод системы капельного орошения; датчики	Экономия воды; экономия питательных веществ
Дифференцированная обработка почвы по почвенным картам	Почвенные карты; датчики для определения состава почвы; рабочие органы	Повышение урожайности; экономия энергии; экономия времени; улучшение эффективности машины

Технология	Дополнительные затраты	Эффект
Измерение содержания хлорофилла в сельскохозяйственных культурах перед уборкой урожая	Датчики для составления карт содержания хлорофилла в растениях; составление карт урожайности	Повышение качества продукции; оптимальный период начала уборки; улучшение качества зерна при оптимальном содержании влаги
Логистика уборки урожая	Единая система управления транспортными средствами; новая система транспортных средств;	Повышение урожайности; оптимизирование сбора урожая; экономия топлива; снижение содержания влаги в зерновых культурах;
	карты урожайности; Логистическая система оптимизации; вспомогательные программные средства составления временного графика уборки урожая	Экономия времени при транспортировке
Управление информацией	Программное обеспечение обработки карт полей	Сокращение времени и затрат на поиск рабочей силы; повышение качества полученных данных

Одни категории затрат реализуются один раз в 5-10 лет, другие - ежегодно. Привлекательность технологий точного земледелия, как и других технологических инноваций, на практике определяется экономической эффективностью на примере сельскохозяйственного предприятия. При анализе экономической эффективности применения элементов точного земледелия сопоставляют затраты на покупку техники и другие производственные издержки с уровнем снижения затрат или прибавкой урожайности по сравнению с традиционными технологиями.

Использование экономического анализа в технологии точного земледелия ограничено трудностями, связанными с идентификацией и количественным учетом как положительных, так и отрицательных эффектов.

В частности, к таким положительным эффектам относят: снижение нагрузки и упрощение рабочего процесса для механизаторов за счет автоматизации технологических операций, повышение эффективности сбыта продукции вследствие прозрачности и доступности для контроля всего производственного процесса, более качественное управление агротехнологиями на основе информационной базы в целом, улучшение условий оптимизации менеджмента как отдельных производственных процессов, так и всего хозяйства.

Однако трудно учесть затраты, связанные с повышением квалификации руководителей и рабочих, а также освоением новых специальных знаний на начальных этапах работы с новой техникой и современными технологиями. При внедрении технологии точного земледелия руководителям и специалистам сельскохозяйственных предприятий необходимы дополнительные профессиональные знания для управления технологическим процессом.

Большинство современных подходов к экономическому анализу технологии точного земледелия сводится к оценке применяемой техники и соответствующих технологий при выращивании отдельной сельскохозяйственной культуры. Вместе с тем очевидно, что общий агроэкономический эффект от интеграции технологий точного земледелия в масштабах хозяйства с учетом синергетических эффектов будет более высоким по сравнению с применением отдельных технологических комплексов.

Следует выделить основные факторы, определяющие динамику материальных и трудовых затрат (посевной материал, удобрения, средства защиты растений, горючее, затраты труда и др.) и повышение урожайности сельскохозяйственных культур:

- неоднородность полей по плодородию почв - чем она выше относительно оптимальных условий для роста и развития культурных растений, тем больше возможности для экономии производственных ресурсов и повышения урожайности;

- интенсификация производства - экономическая эффективность точного земледелия повышается при более высоком уровне интенсификации производства за счет снижения затрат средств производства;
- размер хозяйства или площадей, на которых проводятся дифференцированные мероприятия - с увеличением обрабатываемого участка в системе точного земледелия снижаются затраты на единицу площади, так как при этом постоянные издержки распределяются на большую территорию. С учетом того, что у каждой машины существует свой предел производительности по площади, при его превышении требуются дополнительные затраты. Переменные затраты не изменяются, а в отдельных случаях могут возрасти.

Для небольших хозяйств технологии точного земледелия, как правило, только тогда экономически выгодны, если они не приобретают сами необходимую технику, а используют услуги сервисных фирм.

Кроме того, на экономическую эффективность технологий точного земледелия оказывают влияние:

- ассортимент выбранной техники, полнота ее технологического использования и уровень интеграции в хозяйстве;
- рациональное использование технологического комплекса в рамках управления предприятием.

Кроме того, определенное значение имеют факторы, которые непосредственно не зависят ни от агроэкологических и других показателей полей или в целом хозяйств, ни от организации системы менеджмента, например:

- цены на отбор и обобщение исходного информационного массива;
- цены на средства производства;
- цены на производимую сельскохозяйственную продукцию.

В отличие от других современных инновационных процессов, как, например, геномной инженерии, отношение населения и потребителей к точному земледелию, как правило, положительное или нейтральное. Повышается наукоемкость сельскохозяйственного производства и привлекательность сельскохозяйственных профессий, особенно среди молодого поколения фермеров и специалистов. Однако технологии точного земледелия внедряются в сельскохозяйственную практику сравнительно медленно.

Проводимый опрос руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий выявил следующие основные причины сдержанного отношения к технологиям точного земледелия:

- значительный дефицит информации о его преимуществах;
- недостаточная совместимость техники, отсутствие технического нормирования интерфейсов;
- сомнения в функциональности и надежности техники, особенно электронных систем;
- недостаточная поддержка при адаптации программного обеспечения точного земледелия соответствующими фирмами;
- большие затраты времени для освоения новых технологий, повышения квалификации и дополнительные расходы на управление агротехнологиями;
- опасение несанкционированного использования компьютерных баз данных.

Приведем простой пример получения экономического эффекта от использования комплексных технологий. Например, возьмем поле площадью 100 га и посчитаем все затраты на выращивание озимой пшеницы. Получим сумму в 1,5 млн руб. Далее с учетом полученной урожайности 50 ц/га и рыночной стоимости 8000 руб./т вычитаем затраты, и чистая маржинальная прибыль будет порядка 2,5 млн руб. Если бы нами были применены системы параллельного вождения, спутниковый мониторинг определения неоднородности для последующего дифференцированного внесения удобрений, то добавленная стоимость увеличилась бы минимум на 20 %, а это составляет 500 тыс. руб. только с одного поля.

Незначительные потери не заметны в масштабе небольшого хозяйства, но если оно большое, то и потери становятся огромной проблемой.

11.2 Экологические аспекты технологии точного земледелия

Внедрение технологии точного земледелия обеспечивает получение положительных экологических эффектов за счет дифференцированного применения химических средств защиты растений на отдельно взятых полях с учетом их дифференциации по плодородию почв и другим условиям роста и развития растений. При этом достигаются эконо-

материально-технических ресурсов за счет более рационального их использования и положительный экологический эффект. Однако его количественная оценка затруднена вследствие объективных причин, в частности:

- комплексный характер мероприятий по внедрению технологии точного земледелия и их воздействие на агроэкосистемы затрудняют определение экологической эффективности (снижение затрат средств производства
- горючее, удобрения, средства защиты растений и др.);
- экологическая обусловленность технологии точного земледелия ландшафтными и климатическими условиями представляет возможность обобщения результатов, полученных в ходе проведения опытов по точному земледелию и использования их в других регионах с близкими агроэкологическими условиями;
- положительные экологические эффекты от внедрения технологий точного земледелия определяются особенностями их применения на практике. Однако они не получили широкого распространения, и достаточно затруднительно получить конкретные данные о реальном масштабе, подтверждающие их эффективность. Кроме того, получение экологического эффекта зависит от уровня интенсификации хозяйства. Чем он выше, тем значительнее экологический эффект от использования технологий точного земледелия;
- результат оценки экологического эффекта точного земледелия в значительной степени зависит от выбора технологий или систем хозяйствования, с которыми сравнивают технологии точного земледелия. При этом очевидно, что они различаются и в количественном выражении в зависимости от уровня интенсификации и экологизации выбранных для сравнения агротехнологий.

В научной литературе экологические эффекты от применения технологий точного земледелия определяют при сравнении дифференцированной обработки отдельно взятого поля с традиционными сплошными обработками без учета различий по плодородию, но при одинаковом уровне прикладываемых усилий.

Снижение интенсивности обработки почвы с учетом дифференциации глубины в пределах отдельно взятого поля обеспечивает прежде всего возможность сокращения расхода горючего.

Экологический эффект от применения дифференцированной технологии посева в зависимости от неоднородности поля в целом, вероятно, ниже по сравнению с дифференцированной обработкой почвы, а его количественная оценка гораздо сложнее.

В результате обеспечивается экономия посевного материала, удобрений и средств защиты растений, а также снижается потребность в посевных площадях. Очевидно, что экологический потенциал этого элемента технологии точного земледелия невысок. Дифференцированное внесение удобрений имеет, несомненно, более высокий положительный экологический эффект. При уменьшении расхода удобрений в связи с дифференцированным их внесением можно ожидать снижение совокупного отрицательного влияния на внешнюю среду, как при их производстве, так и при внесении. При этом сокращаются расход невозобновляемых энергетических ресурсов, а также поступление содержащихся в удобрениях тяжелых металлов (урана, кадмия) в почву. Количественная оценка этих эффектов затруднительна. Кроме того, в ряде случаев применение технологий точного земледелия связано с увеличением доз вносимых удобрений с целью повышения экономической эффективности адаптивно-ландшафтного земледелия.

Эффективное управление популяциями агроценозов обеспечивает повышение уровня их саморегулирования. Благодаря этому применение технологии точного земледелия открывает дополнительные возможности для управления резистентностью популяций вредных организмов к средствам защиты растений.

На практике можно реализовать рассмотренные стратегии борьбы с сорняками. Очевидно, что технология точного земледелия является основным инструментом для практической реализации мероприятий охраны ценных агроландшафтов и обеспечения экологической стабильности в пределах отдельно взятого поля и соседних биоценозов в рамках реализации стратегий адаптивно-ландшафтного земледелия. В результате открываются дополнительные возможности для охраны редких видов дикой флоры и фауны.

Воплощение на практике экологического потенциала точного земледелия во многом зависит от выбора государственной агротехнологической политики и законодательных актов.

11.3 Стандартизация в точном земледелии

Основной задачей в точном земледелии является 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 сельскохозяйственной 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;

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 GPS, ГЛОНАСС и других ГНСС.

В настоящее время в России специалистами 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 г.);

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 г.);

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

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

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, приведено 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 (таблица 11.1).

Таблица 11.1

Наименования и сроки введения национальных стандартов по координатному земледелию

Группа	Наименование	Дата ввода
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
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

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

Разрабатываемые национальные стандарты Российской Федерации гармонизированы с существующими и разрабатываемыми международными стандартами ISO/IEC, в т. ч. 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 т. ч. 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. Какой эффект имеется от применения технологий точного земледелия? 2. Перечислите основные факторы, определяющие динамику материальных и трудовых затрат. 3. Чем заключается экологические аспекты технологии точного земледелия? 3. Для чего необходима стандартизация в координатном земледелии? 4. Какие задачи решаются при разработке национальных и международных стандартов в области координатного земледелия? 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?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. АгроГИС – инновационный инструмент для принятия бизнес-решений в растениеводстве [Электронный ресурс]. URL: <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. Том 2. Москва, 2005.
4. Балабанов, В.И. Навигационные системы в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. [Учебное пособие]. / В.И. Балабанов, С.В. Железова, Е.В. Березовский, А.И. Беленков, В.В. Егоров. М.: Из-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. - 143 с.
5. Балабанов В.И. Нужно заново учиться работать на селе // Новое сельское хозяйство. – М.: № 4. 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.: Картгеоцентр, 2004.
10. Глобальная спутниковая навигационная система ГЛОНАСС// Интерфейсный контрольный документ. Редакция 5.0. – Москва, 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 / Материалы X Межд. науч.-практ. конференции Аграрная наука – сельскому хозяйству. Сборник статей. Книга 2. Барнаул: РИО АГАУ, 2015. – С. 41–43.

13. Воронков В., Ефимов Н., Тянь Т. Электронная карта – излишество или необходимость? // Новое сельское хозяйство, 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. Воронков В.Н., Шишов С.А. Современные технологии и оборудование для наземного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий. М.: ФГБНУ "Росинформагротех", 2011. 39 с.

16. Воронков В.Н., Шишов С.А. Современные технологии и оборудование для наземного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий. М.: ФГБНУ "Росинформагротех", 2011. 39 с.

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

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

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

20. 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.

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

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

23. 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.
24. Каштанов А.Н., Булгаков Д.С., Голованов И.Н. и др. Развитие технологий, методов и средств точного земледелия. – М., 2006. – 97 с.
25. Кирюшин В.И. Точные агротехнологии как высшая форма интенсификации адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. 2004. – № 6. – С. 16-21.
26. Литвиненко Р., Балабанов В., Березовский Е. Опрыскивание: инструкция по применению / Новый аграрный журнал. 2011, № 2. – С. 56–68.
27. Михайличенко И.М. Управление системами точного земледелия. –СПб., 2005. – 68 с.
28. Мобильный комплекс для обмера полей "ГЕО-Учетчик" [Электронный ресурс]. URL: http://eco-razum.com/?q=GEO_Ychetchik (дата обращения: 28.04)
29. Ноак П.О. До свиданья, маркер! Сравнение 16 систем параллельного вождения // Новое сельское хозяйство. 2007. – № 6. – С. 82-86.
30. Применение геоинформационных систем в сельском хозяйстве России1 [Электронный ресурс]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-geoinformatsionnyh-sistem-v-selskom-hozyaustve-rossii> (дата обращения: 28.04.2016).
31. Технология ГИС-картографирования ДДЗ в космическом агропромышленном мониторинге [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gisa.ru/53045.html?action=print> (дата обращения: 28.04.2016).
32. Точное сельское хозяйство (precision agriculture) / Под ред. Д. Шпаара, А.В. Захаренко, В.П. Якушева. – СПб. – Пушкин, 2009. – 400 с.
33. Савин И.Ю. Современный спутниковый мониторинг почв и посевов: достижения и проблемы / В сборнике: Материалы Всероссийской научной конференции «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве» С-Пб.: ФГБНУ АФИ, 2015. – С. 29–32.
34. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Трендз, 2000.

35. Федоренко В.Ф. Информационные технологии в сельскохозяйственном производстве. М.: ФГБНУ "Росинформагротех", 2014. 223 с. 35. Черепанов А.С. Вегетационные индексы. / Геоматика № 2, 2011. – С. 98–102.

36. 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.

37. Экология и сельскохозяйственная техника // Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин // Материалы 5-й международной научно-практической конференции. – СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2007. – 380 с.

38. Якушев В.П. На пути к точному земледелию. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2002. – 458 с.

39. Якушев В.П., Петрушин А.Ф., Петрушин В.В., Шерстобитов С.В. Технические основы применения информационных технологий точного земледелия. – СПб.: АФНИИ, 2004. – 368 с.

40. Якушев В.П., Якушев В.В. Информационное обеспечение точного земледелия. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.

41. 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

42. 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.

43. 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.

44. 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

45. Raun W.R. & Johnson G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. / Agronomy Journal, V. 91 (3), 1999. – P. 357–363.

46. 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.

47. www.n-sensor.de Просмотрено 05.05.2016
<http://www.sensoroffice.com> Просмотрено 05.05.2016

48. The Yara N-Sensor™ Complete Solution to Precision Farming. 2015 / Ссылка доступа: www.yara.co.uk. Просмотрено 05.05.2016

49. Christensen S. et al. Site-specific weed control technologies. 2009. *Weed Research*. V. 49. Issue 3, Pages 233-241.

50. 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>

51. 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 Administrations. Washington, 1974.

52. <http://www.indexdatabase.de/> Просмотрено 05.05.2016

53. 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.

54. Wallinga J., Kropff M.J., & Rew L.J. 2002. Patterns of spread of annual weeds. *Applied Ecology*, V. 3, 31–38.

СЛОВАРЬ–ГЛОССАРИЙ

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

Агроландшафт - природно-территориальный комплекс, естественная растительность которого на подавляющей его части заменена агроценозами.

Актуальная информация - информация получаемая в режиме реального времени и используемая для упреждения 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)) UTC, - Всемирное координированное время 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 информационных и 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) 2-го поколения навигации и определения положения (позиционирования), изначально разработанная в СССР, затем ее дальнейшую разработку и эксплуатацию продолжила Россия. Система, использующая спутники, принимающие устройства и программное обеспечение для возможности определения точного географического положения.

Глубина обработки почвы – один из основных агротехнологических (полевых) параметров, определяющих и 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 $\pm 5\%$.

Гон – длинная часть поля, вдоль которой совершается один проход сельскохозяйственного, машинно–тракторного агрегата.

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. Он 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 тревожное событие.

Звездное время - местное звездное 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 (хозяйном, 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 в расстил или в валок.

Культиватор – сельскохозяйственное орудие для рыхления почвы, уничтожения сорняков, окучевания 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.

Луцильник – сельскохозяйственное орудие для лущения почвы (то есть мелкой обработки почвы с частичным оборачиванием пласта). Луцильники подразделяют на дисковые и лемешные. Дисковые луцильники 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 – в 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 потенциала 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.

Овощная сеялка – машина для широкорядного, ленточного, точного односемянного и гнездового посева семян овощных культур, а также лекарственных и других растений.

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 основные части загона.

Подготовка поля – осмотр поля и устранение препятствий; выбор способа и направления движения агрегата, по которому устанавливаются 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 – рассеивание 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 (разъемная) 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) применяют 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 участков 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 - системы дифференциальной коррекции предназначены для выработки и передачи потребителям в реальном масштабе времени корректирующей информации к сигналам ГНСС, а также обеспечения высокоточного определения координат потребителей в режиме постобработки 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, проведения технического обслуживания; регулировка и установка рабочих органов машин в сочетании с колеей трактора;

составление агрегата и при необходимости оборудование его дополнительными устройствами (маркерами, следоуказателями, 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 обратными 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.), характеризуемый 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, 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 действия 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 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 - 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:

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

где **NIR** – отражение в ближней инфракрасной области спектра;
RED – отражение в красной области спектра.

NUE – коэффициент использования азота. Процентная доля азота, потреблённая 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 гринвическом 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 устройство 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.

При этом возможности прибора удовлетворяют большинство 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.

При этом у **Outback S-lite** есть возможность работы 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 сверхвысоких точностей ведения агрегата, например, внесении сухих минеральных удобрений. При этом увеличивается равномерность внесения агрохимикатов, экономятся сами вещества, а также ускоряется работа за счет снижения погрешностей в работе и увеличения скорости в условиях плохой видимости (ночью, в туман, пыль).

Основные недостатки: нет возможности работы с RTK-станциями, нет возможности работы с Omnistar-сервисами. Из-за отсутствия экрана не очень удобная навигация меню, нет визуального отображения участка, нет возможности загружать карты и выгружать их, нет возможности отображать задание. Не поддерживает протокол ISOBUS и нет возможности управлять сельхозоборудованием. Не реализованы все возможные режимы движения. Невысокая точность работы, так как используется одностотная 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.

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.



Рис. 2. Система Outback S3

Назначение. Outback S3 предназначен для различных с.-х. операций, вплоть до требующих идеальной точности вождения. При операциях, не требующих высокой точности ± 30 см, возможна работа с простой одностотной 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 допоставка высокоточного приемника Ag252 и подруливающего устройства.

Недостатки: нет возможности работы с RTK-станциями, низкое программное обеспечение, нет возможности работы 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.

Возможность работать ночью и при низкой видимости – увеличивается коэффициент использования техники.

Не нужны дополнительные материалы для маркирования строк – важно для широкозахватных агрегатов!



Рис. 3. CLAAS GPS CopilotTS

Повышается скорость движения агрегата (актуально для мощной техники).

Повышается комфортность работы водителя – важно для неподготовленных механизаторов!

За счет более точного ведения, уменьшения перекрытий между проходами рационально используется горючее, посевной материал, удобрения, средства защиты растений, другие материалы.

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 **Trimble EZ-Guide 250** – самое простое устройство в линейке устройств фирмы Trimble (рис. 4).

Данное устройство предназначено для вождения сельхозтехники вдоль рядов при любой видимости (ночью, в туман, при сильной запыленности) с точностью ± 30 см. Устройство EZ-Guide 250 не позволяет работать с платными дифпоправками и базовыми станциями – используется только встроенный фильтр OnPath или сигналы бесплатной системы EGNOS. В остальном функционал прибора очень широк:



Рис. 4. Устройство параллельного вождения Trimble EZ-Guide 250

Оснащен цветным ЖК-дисплеем и линейкой светодиодов.

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 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 очень 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 хуже 30 см в течение 15 минут.

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) – многофункциональный курсоуказатель фирмы Trimble.

Данный курсоуказатель предназначен для самых разных операций в сельском хозяйстве. В минимальной комплектации позволяет работать с бесплатными диф-поправками EGNOS и встроенным фильтром OnPath или с платной дифпоправкой Omnistar VBS.

При желании может быть расширен до работы с Omnistar XP/HP или RTK.

Функционал прибора чрезвычайно широк:

оснащен цветным ЖК-дисплеем и линейкой светодиодов;

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;



Рис. 5. Устройство параллельного вождения Trimble EZ-Guide 500

позволяет загружать сохраненные результаты работы с внешней флэш-карты для повторного использования проходов техники;

отображает множество информации: 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 хуже 30 см в течение 15 минут.

Комплектация: курсоуказатель, одночастотная или двухчастотная антенна (для работы с диф-поправками 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. Он 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

Многофункциональный дисплей Trimble CFX-750 (рис. 6) предназначен для параллельного вождения по курсоуказателю вдоль рядов в условиях любой видимости в ручном режиме, либо в автоматическом режиме в составе автопилота, управления секциями опрыскивателей и сеялок, управления нормой высева, дифференцированного внесения удобрений.

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:

2 порта RS232/CAN;

1 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 минут. Точность около 30 см.



Рис. 6. Многофункциональный дисплей Trimble CFX-750

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 штук) 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.

Данные 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



Рис. 7. Подруливающее устройство Trimble EZ-Steer

Trimble EZ-Steer – подруливающее устройство (рис. 7) для высокоточного вождения сельскохозяйственной техники при выполнении технологических операций. 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.

Преимущества Trimble EZ-Steer AgGPS:

подруливающее устройство просто в установке, настройке и эксплуатации;

с Trimble EZ-Steer 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) является аналогичной системой Trimble EZ-Steer AgGPS:

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 трактора типа МТЗ-1221 с гидрообъемным рулевым управлением.

Плавный, чистый дизайн. Интеграция в рулевую колонку обеспечивает свободный доступ ко всем приборным панелям, не уменьшая 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 Trimble AgGPS Autopilot 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.

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 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 шестиосевых 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).

максимально используется ширина агрегата, перекрытия проходов сводятся к минимуму;

возможность работать ночью и при низкой видимости – увеличивается коэффициент использования техники;

повышается скорость движения агрегата (актуально для мощной техники);

повышается комфортность работы водителя – важно для неподготовленных механизаторов.



Рис. 9. Системы параллельного вождения Leica mojoMINI

Технические характеристики устройства:

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.

На устройство 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 компаний по программному и навигационному обеспечению мобильных телефонов.

Компактный навигатор Leica MojoMINI легко устанавливается в кабину трактора или в салон автомобиля. Многофункциональная система позволяет оптимизировать технологические процессы, а в дороге – оптимизировать маршрут.

В комплект поставки входят автомобильное зарядное устройство, крепление на приборную панель и держатель.

Характеристики и спецификации Leica MojoMINI: 11 см цветной сенсорный экран; 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 $\pm 12,5$ 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.
- 5 м шнура питания.
- Магнитное или обычное крепление.

Навигация в поле:

Автоматическое Bluetooth® подключение к приемнику Leica SmartAg. А+ 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 Mojo3D

Leica mojo3D (рис. 10) сочетает в себе 18-сантиметровый цветной сенсорный экран с уникальным 3D-изображением и графическим меню, компьютер надежно защищен крепким пылевлагодостойким металлическим корпусом.

Leica mojo3D 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 mojo3D

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 дооснащивания 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: 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 бортовым компьютерам сельхозмашин, нет поддержки протокола ISOBUS.

Автопилот Leica mojo GLIDE

Автопилот (подруливающее устройство) Leica mojo GLIDE (рис. 11) позволяет работать трактору или другой самоходной технике с точностью 7–12 см.



Рис. 11. Автопилот Leica mojo GLIDE

Данный автопилот 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 (за счет этого достигается повышение точности).

Основной недостаток: 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").

С помощью специальных проводов mojoGLIDE 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 других видах работ.



Рис. 12. Система параллельного вождения (курсоуказатель) CenterLine 220

Главными достоинствами курсоуказателя CenterLine 220 являются простота в управлении, надежность в работе и доступная цена. CenterLine 220 позволяет точно по заданной траектории водить трактор, опрыскиватель или комбайн при любой видимости – ночью, в тумане, при сильной запыленности.

Прибор параллельного вождения CenterLine 220 обладает следующими особенностями:

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).

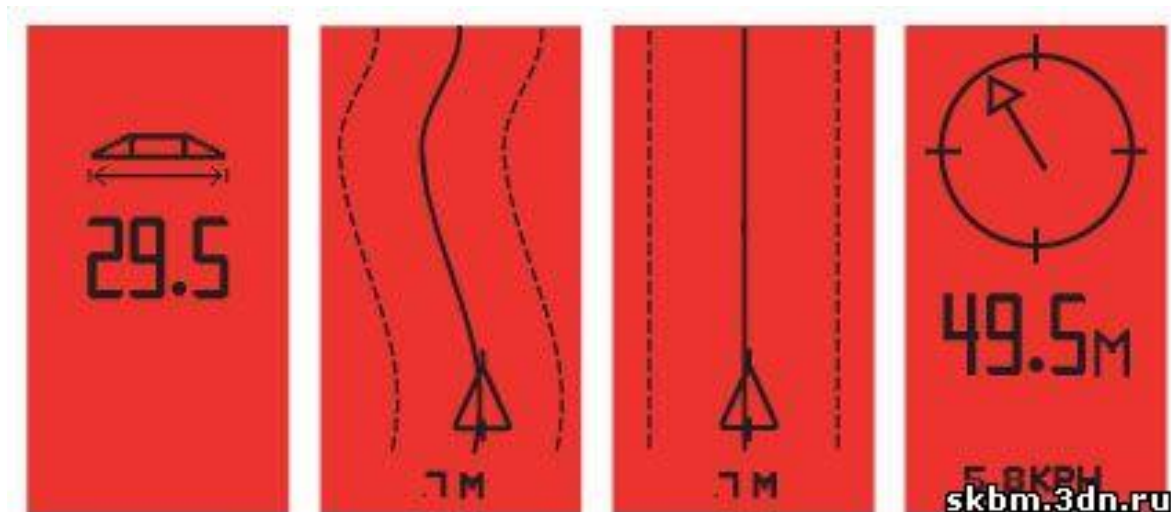


Рис. 13. Примеры отображения информации на дисплее:

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 Matrix 570G, 570 – размер экрана 5,7" (14,5 см); G – guidance (рис. 14).

Навигация в режиме реального видео RealView™ – эксклюзивная функция от Teejet. Навигационная информация и реальное видеоизображение 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;

Легкое крепление прибора в кабине трактора с помощью стандартного кронштейна



Рис. 14. Система Teejet Matrix 570G+RXA30

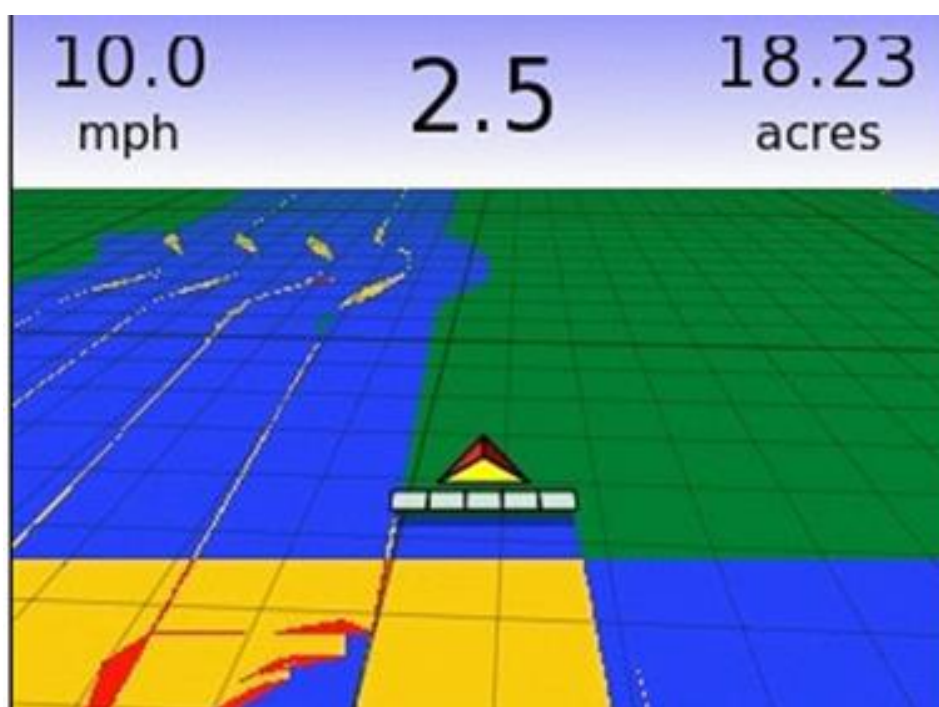


Рис. 15. Вид экрана системы Teejet Matrix 570G+RXA30

Систему можно дополнительно оснастить: автопилотом FildPilot™; автоматическим контролем секций – BoomPilot™; датчиком компенсации наклона; видеокоммутатором для подключения до 4 камер; внешним GPS-приемником или улучшенной антенной.

Вид экрана: обработанная площадь отображается голубым цветом; площадь, обработанная дважды, отображается желтым цветом; площадь, обработанная три раза и более, отображается красным цветом.

При картировании информация сохраняется в нескольких 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

Отличительной особенностью Raven Cruiser (рис. 16) является полное отсутствие всяких 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 $\pm 15\text{--}20$ см. Также существует возможность использования системы поправок e-diff в местах, где корректирующий спутник EGNOS недоступен.

Выбор схемы навигации. Четыре схемы навигации облегчают выбор траектории и обеспечивают более точное покрытие. Схемы включают в себя движение по прямой А–В, фиксированной кривой, движение 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 контуру 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 записывать треки 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

Raven Envizio Pro – система навигации, которая кроме основных способов ведения агрегата (прямая АВ) использует для ориентирования последний на данный момент времени проход по полю – LastPass (рис. 17).

Эта схема позволяет оператору двигаться по полю параллельно последнему проходу, без учета предыдущих или первого проходов. Схема LastPass актуальна 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 наложение участков обработки:



Рис. 17. Панель Raven Envizio Pro

совместимость с контроллером SmarTrax и панелями Raven Lightbars;
вид поля из кабины и сверху;
экран состояния GPS с функцией автоматической настройки Autodetect;
площадь поля и обработанная площадь;

общий план поля с возможностью изменения масштаба изображения и фиксацией 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

Курсоуказатель Raven RGL600 Lightbar (рис. 18) имеет следующие 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 наложении 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

Устройство подруливания RAVEN Smart Steer (рис. 19) – подруливающее устройство, созданное для высокоточного управления сельскохозяйственной техникой.

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.

Подруливающее устройство Smart Steer 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 единицу техники (если понадобится);

механический автопилот устанавливается на большинство видов техники, включая отечественную;

данный автопилот 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.



Рис. 19. Устройство подруливания RAVEN Smart Steer

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

1. Работает с оригинальной системой GreenStar (приемником StarFire iTC, дисплеем GreenStar, мобильным процессором), новыми дисплеями системы GreenStar2 и программным обеспечением AutoTrac KeyCard.

2. Легко устанавливается и обладает возможностью его переустановки с одной машины на другую.

3. 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

4. Обеспечивает высокую производительность и экономичность на предыдущих моделях оборудования John Deere, а также на моделях других производителей.

5. Позволяет снизить уровень усталости оператора, помогая ему сосредоточиться на работе. Ведь оператору не нужно вести транспортное средство, так как оно работает в автоматическом режиме, и ему приходится братья за руль только при разворотах на конце гона или при объезде препятствий.

6. Позволяет сократить площади взаимных перекрытий за счет высокой точности и меньшего количества проходов.

AMS – система точного земледелия John Deere (StarFire)

Система точного земледелия StarFire (рис. 21) позволяет производить 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. Система точного земледелия John Deere (StarFire)

Система GreenStar – известнейший бренд среди систем точного земледелия, представляет собой три общих аппаратных компонента, созданных для совместной работы:

Greenstar 3 2630 дисплей;

- приемник Star Fire 3000 – совместим с ГЛОНАСС. Совместим с сигналами: SF1, SF2, RTK;

- Green Star 3 2630 поставляется с установленным Parallel tracking приложением;

- для большей функциональности просто обновите систему с AutoTrac или AutoTrac Universal 200 или добавьте передовые решения, как IТЕС Pro, Pivot Pro;

- GreenStar 2630 дисплей имеет видео вход. Видео можно просматривать во время работы машины непосредственно на дисплее;

- GreenStar 2630 экономит ваши затраты на дополнительный монитор. Дает вам краткий обзор значений производительности машины, такие как: использование топлива (л/ч), рабочая скорость, производительность, нагрузка на двигатель;

- новые характеристики системы вождения – показ границ поворотной полосы, сигнал о приближении к концу полосы, многоконтурная разметка А–В на каждое поле;
- новые характеристики 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.

FleetManagement позволяет отслеживать работу машин в поле, не выходя из офиса, обеспечивая передачу информации о местоположении, состоянии и производительности машины, что помогает контролировать, где и какую работу выполняет данная машина.

Пакет **Preventive Maintance** обеспечивает сбор данных в целях контроля наработки. Такой контроль позволяет грамотно составить график регламентного обслуживания.

Приложение **ParallelTracking** позволяет выполнять смежные проходы по полю строго параллельно, повышая степень точности обработки почвы и производительности. Система вождения **ParallelTracking** помогает снизить площади огрехов и перекрытий, позволяет экономить вносимые удобрения и снижает затраты.

Приложение **AutoTrac** – система, обеспечивающая параллельность смежных проходов в автоматическом режиме (оператору не нужно брать за руль, кроме как при разворотах в конце гона и для объезда препятствий).

"i-Solutions" – система интеллектуальных решений John Deere

Система интеллектуальных решений, созданных для оптимизации и автоматизации управления при выполнении работ в области сельского хозяйства.

i-решения применимы во всех сферах деятельности сельского хозяйства. Благодаря им в технику закладываются интеллектуальные характеристики, снижая тем самым нагрузку на оператора и повышая эффективность и производительность работы машины.

i-решения от John Deere включают в себя ассортимент i-машин, поступающих непосредственно из завода-изготовителя и оборудованных пакетом i-компонентов, идеально агрегируемых с любым видом машин



**Рис. 22. Выполнения задания с использованием "i-Solutions" John Deere
Работа**

Система i-Solutions:

1. i-машины, которые непосредственно на заводе оснащаются интеллектуальными, автоматическими функциями, которые помогут в повседневной работе в поле. Они дают возможность сконцентрироваться на процессах обеспечивающих повышение производительности;
2. i-комбайны оборудуются системами AutoTrack, HarvestSmart и HarvestDoc для оптимизации контроля за объемом убираемого зерна и проведения анализа урожайности;
3. 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;
4. i-опрыскиватели оснащаются системами SprayerPro, BoomTrack, AutoTrac, а также имеют поддержку системы ISOBUS;
5. i-tools для каждой i-машины John Deere предлагает дополнительные интеллектуальные опции (i-tools), которые позволяют вам расширить функциональную базу ваших машин согласно возрастающим нуждам..

Штатно данные терминалы устанавливаются на сельскохозяйственные машины John Deere с возможностью работы системы **i-tec pro** (система интеллектуального управления сельскохозяйственной машиной). Имеется возможность работы с телеметрией.

Система Müller-Elektronik TRACK-Guide

TRACK-Guide является усовершенствованной моделью популярного **Basic Terminal Top**.

TRACK-Guide (рис. 23) является системой ведения по трекам, работающая в режиме параллельного вождения по линии АБ или от предыдущего прохода.

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. Кроме этого, в нижней части дисплея отображается скорость движения, обработанная площадь и качество сигнала D-GPS.



Рис. 23. Система Müller–Elektronik TRACK-Guide

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 2 режима вождения:

параллельное вождение;

контурное (автоматическое) вождение.

Параллельное вождение:

Параллельное вождение, называемое также АБ вождением, применяет только прямые линии на поле. Для их расчёта необходимо задать 2 пункта, А и В, отстоящие друг от друга для точного расчёта на максимально возможном расстоянии (не менее чем 20 метров).

Вождение параллельно предыдущему проходу (идентичная кривая или адаптивная кривая):

При криволинейном движении 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 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-Dif) – **15–30 см**; есть возможность расширения до автопилота, поддержка одночастотной базовой станции с точностью 5 см, возможность управления секциями опрыскивателя.

Типы диф-поправок: 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.



Рис. 24. Система параллельного вождения System 110 GPS/ГЛОНАСС/Omnistar VBS/RTK Corse/Deon

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 гидроусилителем руля.

Topcon System 350 консоль 30x

Topcon System 350 консоль 30x (рис. 25) имеет большой 12.1 дюйма сенсорный экран, с графикой высокого разрешения. 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. Плавное управление скоростью для 8 продуктов/каналов, автоматическое управление с интерфейсом ISO для распылителей и сеялок, система ASC-10 обеспечивает автоматическое 10-канальное управление распылителями, сеялками или разбрасывателями с управлением интенсивностью потока жидкости до 8 продуктов

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 нескольких лет.

Данные включают:

Отчет по задачам, которые можно экспортировать в удобные для дальнейшего просмотра файлы в PDF.

Регистрация площади обработки, а так же 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) для упрощения идентификации поля и загрузки задания.

Виртуальный терминал ISO взаимодействует со всеми распространенными контроллерами и различными блоками управления навесного оборудования.



Рис. 25. Topcon System 350 консоль 30x

Функция автоматического управления системы 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.

Дополнительные компоненты рулевого управления AGI-3 включают 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 вокруг холмов, деревьев, а также ежедневную и круглосуточную работу.



Рис. 26. Приемник и контроллер системы рулевого управления AGI-3

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 является аккуратной и удобной 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.



Рис. 27. Системы параллельного вождения и автопилоты SKIPPER

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.

Спутниковый навигатор модели SKIPPER производства ARAG (Италия).

Спутниковая навигационная система параллельного вождения. Предназначена для работы с машинами внесения минеральных и органических удобрений с любой шириной захвата. Позволяет рассчитывать траекторию движения машины и проложить по необходимому оптимальному маршруту.

Система DGPS навигации выполняет следующие функции: параллельное вождение, система копирования, выравнивания 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.

Комплектность: противоударный корпус с цветным ЖК-дисплеем 4", порт USB 1.1, GPS-антенна, силовой кабель 12 Вольт, вход для подключения

системы управления компьютером опрыскивателя BRAVO 300, крепление для корпуса.

Основной недостаток: низкая точность позиционирования, низкие функциональные возможности, нет 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, специалиста в высокотехнологичных решениях для сельского хозяйства.

Принцип работы: чтобы получить помощь в вождении по курсовой линии, необходимо задать тип желаемой траектории (шаблон): прямая, кривая, по кругу или колея. После того как курсовые линии заданы, указатель курса отображается в верхней панели над картой поля для поддержания движения согласно рассчитанной траектории.



Рис. 28. Система параллельного вождения, курсоуказатель G 6 Farmnavigator

В режиме «Прямая», G6 Farmnavigator отображает на экране параллельные прямые линии, вдоль которых должно осуществляться движение. Нажимая А в начале и Б в конце желаемой траектории для задания курсовой (виртуальной) линии.

Задавая курсовую линию «По кругу», создаются concentric замкнутые траектории, начиная с периметра поля внутрь поля. В режиме «Кривая» задаются курсовые линии на извилистом поле нажимая А в начале кривой и В в конце. Затем параллельные курсовые линии будут отображены на экране.

Достоинства: G6 Farmnavigator имеет функцию виртуального контролера 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 контролера подсвечивается красным, рекомендуя выключить данную секцию. После прохождения обработанного участка индикатор секции загорается желтым, что означает, что секцию нужно включить. Виртуальный контролер 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. Если необходимо проверить работу машины или посмотреть вид позади прицепа, просто нажмите кнопку «Камера», и видео изображение появится на экране.

Влагозащищенная внешняя GPS-антенна работает в любых условиях. Качественное решение для стационарного размещения, поддержка 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; совместимо 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, имеют 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 часов 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-ной 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.

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 «Bars-5», обеспечивающее автоматическое равномерное внесение средств защиты растений при работе с опрыскивателем.



Рис. 31. Система параллельного вождения «COMMANDER»

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 «Bars-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»)

Разработчиком навигатора «Агронавт» является ООО «Элеком» (г. Курган). Он представляет собой программный комплекс, состоящий из планшетного компьютера (рис. 32) с кронштейном для крепления в кабине трактора и установленной 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 не обработанные 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.

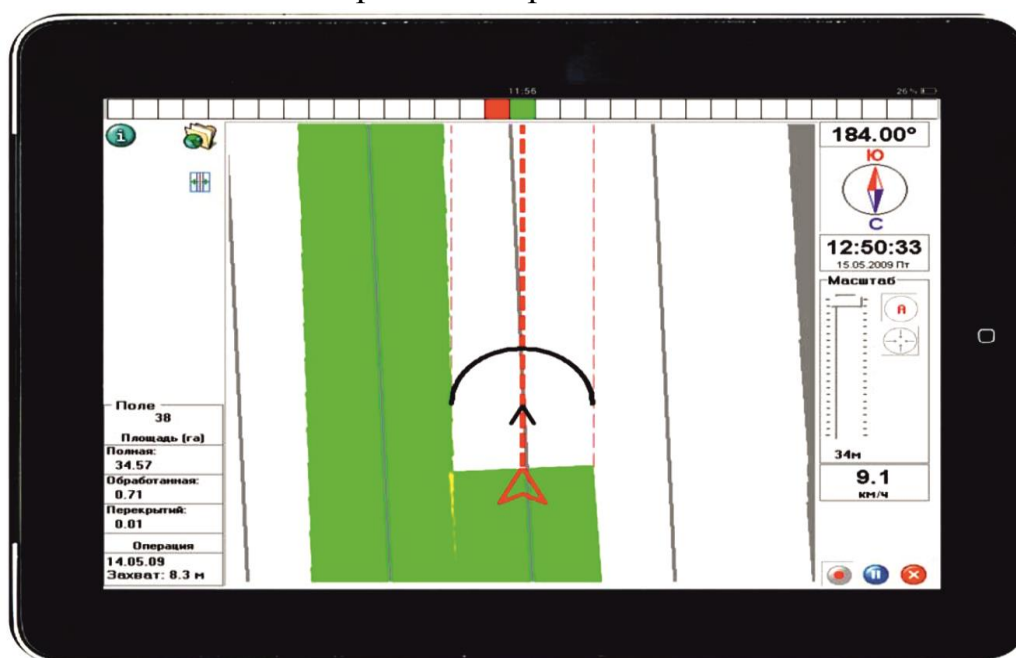


Рис. 32. Экран навигатора «Агронавт»

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.

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»

Бортовой навигационный комплекс (БНК) «Агронавигатор» разработан 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.



Рис. 33. Бортовой навигационный комплекс «Агронавигатор»

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».

На навигаторе установлены две программы: «Опрыскивание сельскохозяйственных растений» и «Дифференцированное внесение удобрений». Первая программа обеспечивает параллельное вождение агрегата с различными функциями управления внесением раствора пестицидов в зависимости от дополнительного оборудования, используемого на опрыскивателе. Так, при доукомплектовании опрыскивателя электростанциями, 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 навигатора. 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, парольная защита редактирования (удаления) полей.

Планшетный компьютер Yuma

Планшетный компьютер Yuma (компания «Trimble») предназначен для использования в полевых условиях и может работать при температуре от -30°C до +60°C. Оборудован дисплеем, обеспечивающим хорошую видимость при ярком солнечном свете; включает 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).

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.



Рис. 34. Планшетный компьютер Yuma (компания «Trimble»)

Также на рынке представлены курсоуказатели и системы параллельного вождения других марок, таких как **Ag Leader Technology, Tecnom, Bertu, Horsh, Lemken** и др., которые являются аналогами **Trimble, Leica** и **Müller-Elektronik**.

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
Список сокращений и обозначений	7
1 Возникновение и развитие точного земледелия	11
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	20
2 Глобальные навигационные спутниковые системы	21
2.1 Исторические сведения	21
2.2 Принципы построения глобальных навигационных спутниковых систем	23
2.2.1 Структура глобальных навигационных спутниковых систем	23
2.2.2 Подсистема космических аппаратов	25
2.2.3 Наземный комплекс управления космическими аппаратами	25
2.2.4 Навигационная аппаратура потребителей	27
2.2.5 Особенности глобальных навигационных спутниковых систем: ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, BEIDOU	28
2.2.6 Совместное использование различных спутниковых систем	32
2.2.7 Точностные характеристики	33
2.2.8 Контроль целостности навигационного поля	35
2.3 Решение навигационной задачи в навигационной аппаратуре потребителей	36
2.4 Дифференциальный режим работы глобальных навигационных спутниковых систем	40
2.4.1 Принцип организации дифференциального режима	41
2.4.2 Точностные характеристики навигации в дифференциальном режиме	42
2.4.3 Каналы доведения дифференциальных поправок	43
2.4.4 Дифференциальные подсистемы	44
2.5 Фазовые измерения в глобальных навигационных спутниковых системах	46
2.6 Комплексная обработка измерений от глобальных навигационных спутниковых систем и инерциальных датчиков	47
2.7 Области применения навигационной аппаратуры потребителей	48
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	51
3 Геоинформационные системы и применение их в планировании, мониторинге и анализе использования техники	52
3.1 Назначение географической информационной системы	52
3.2. Модули, компоненты и программные обеспечения ГИС.	52
3.3. Применение ГИС в сельском хозяйстве и решаемые задачи	54
3.4. Планирование, мониторинг и анализ использования техники	58
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	60

4. Дистанционное зондирование земли	61
4.1 Общие сведения	61
4.2. Электромагнитное излучение	62
4.3 Спектр электромагнитного излучения	63
4.4 Взаимодействие излучения с атмосферой	67
4.5 Взаимодействие излучения с объектом исследования	69
4.6 Характеристики цифровых изображений	71
4.7 Базовые сведения о фотограмметрии	75
4.8. Носители для аппаратуры дистанционного зондирования земли	78
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	81
5 Беспилотные летательные аппараты	82
5.1 Общие сведения	82
5.2 Классификация беспилотных летательных аппаратов	83
5.3 Управление беспилотными летательными аппаратами	83
5.4 Беспилотная авиационная система	84
5.5 Предпосылки применения беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки	85
5.6 Обзор моделей беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки	87
5.6.1 Беспилотная авиационная система «Птеро-G0»	87
5.6.2 Беспилотный самолет ZALA 421-16E	90
5.6.3 Беспилотный летательный комплекс Геоскан 201 Агро	91
5.6.4 Беспилотный летательный комплекс Геоскан 401 Про	92
5.7 Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве	93
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	97
6 Системы параллельного и автоматического вождения сельскохозяйственной техники	98
6.1 Системы параллельного вождения	98
5.2 Системы автоматического вождения	1021
6.3 Испытания систем параллельного и автоматического вождения	109
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	119
7 Технические средства для анализа почвы и картографирование	120
7.1 Геоинформационные системы в сельском хозяйстве	120
7.2 Электронные карты полей	122
7.3 Структура электронных карт	125
7.4 Технологии создания электронных карт	127
7.5 Картографирование плодородия почв	130
7.6 Определение сопротивление пенетрации	140
7.7 Оценка электропроводности и теплопроводности почвы	144
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	149

8. Технология мониторинга урожайности и применяемые технические средства в них	150
8.1. Оценка урожайности	150
8.2. Методы измерения и системы картирования урожайности	151
8.3. Необходимость картирования урожайности каждого поля	154
8.4. Принцип картирования урожайности	155
8.5. Основные элементы системы мониторинга урожайности	157
8.6 Составление карт урожайности	171
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	178
9. Основы сенсорики. Индексы растительности.	
Оптические датчики	179
9.1. Общие сведения	179
9.2. Основы сенсорики	181
9.3. Датчики для определения свойств почвы	182
9.4. Датчики для измерения свойств растений и травостоев	188
9.5. Датчики для компьютерного мониторинга и составления карт урожайности	195
9.6. Дистанционные и наземные методы измерения индекса NDVI	204
9.7 Оптические датчики для координатного земледелия	208
9.8. Пространственно-временная оценка NDVI в координатном земледелии	215
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	217
10. Дифференцированные технологии и технические средства, применяемые в точном земледелии	218
10.1. Общие сведения	218
10.2. Режим дифференцированного внесения в режиме off-line	219
10.3. Дифференцированное внесения в режиме online	221
10.4. Оборудование для дифференцированного внесения	222
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	225
11. Экономические и экологические аспекты. Стандартизация в точном земледелии	226
11.1. Экономические аспекты технологии точного земледелия	226
11.2 Экологические аспекты технологии точного земледелия	231
11.3 Стандартизация в точном земледелии	234
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	238
Библиографический список	239
Словарь-гlossарий	244
Приложение	260

К.Д. Астанакулов, В.И. Балабанов

ОСНОВЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

/ Учебник /

Редактор: Н.Ташходжаева

*Подписано в печать: 10.10.2022 г. Формат 60x84 - 1/16.
Объем: 19,5 п.л. Тираж: 50 экз. Заказ № _____.
Отпечатано в типографии НИУ "ТИИМСХ".
Ташкент 100000, ул. Кари-Ниязова, 39.*

ДЛЯ ЗАМЕТОК

