

Точное земледелие – инновация в системе ресурсосберегающего земледелия

1.1 Сущность системы точного земледелия

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 как его иногда называют "прецизионное земледелие" - precision agriculture). Точное земледелие - это управление продуктивностью посевов с учётом внутрипольной вариабельности 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.

Перед руководителями и специалистами сельского хозяйства стоит задача повышения уровня менеджмента, как важного фактора для достижения результативного хозяйствования. Поставленную задачу решает новое направление под названием точное (прецизионное) земледелие, которое в настоящее время получает все большее распространение во многих странах.

Точное земледелие – это комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, включающая в себя технологии глобального позиционирования (GPS), географические информационные системы (GIS), технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), технологию переменного нормирования (Variable Rate Technology) и технологии дистанционного зондирования земли (ДЗЗ).

Суть точного земледелия в том, что обработка полей производится в зависимости от реальных потребностей выращиваемых в данном месте культур. Эти потребности определяются с помощью современных информационных технологий, включая космическую съемку. При этом средства обработки дифференцируются в пределах различных участков поля, давая максимальный эффект при минимальном ущербе окружающей среде и снижении общего расхода применяемых веществ. Наиболее важным вопросом, решенным в последнее время в европейских странах, было нахождение оптимального уровня использования удобрений и химикатов в растениеводстве, а также определение доз их внесения, исключающих негативное воздействие на почву, растения и окружающую среду.

Накопление статистики обработки (куда и сколько внесли каждого вещества) и получаемых результатов (урожайность) позволяет применять различные виды анализа с тем, чтобы в дальнейшем корректировать применяемые дозы для получения максимума отдачи на каждый вкладываемый в обработку рубль.

Основные результаты, достигаемые посредством применения технологий точного земледелия:

1. оптимизация использования расходных материалов (минимизация затрат);
2. повышение урожайности и качества сельхозпродукции;
3. минимизация негативного влияния сельскохозяйственного производства на окружающую природную среду;
4. повышение качества земель;
5. информационная поддержка сельскохозяйственного менеджмента.

Основными компонентами системы точного земледелия являются:

1. система сбора пространственной информации (ДЗЗ, наземные аналитические методы);
2. система пространственного контроля выполнения операций: GPS (приборы спутниковой навигации) и сенсорные датчики.

Принцип работы системы приборов спутниковой навигации (GPS):

В околоземном пространстве развернута сеть искусственных спутников Земли (ИСЗ), равномерно “покрывающих” всю земную поверхность. Орбиты ИСЗ определяются с очень высокой точностью, поэтому в любой момент времени известны координаты каждого спутника. Радиопередатчики спутников непрерывно излучают сигналы в направлении Земли. Эти сигналы принимаются GPS-приемником, находящимся в некоторой точке земной поверхности, координаты которой нужно определить.



Рисунок 1 GPS спутник

Приемник измеряет время распространения сигнала от ИСЗ и вычисляет дальность “спутник-приемник” (радиосигнал, как известно, распространяется со скоростью света).

Для определения местоположения точки нужно знать три координаты (плоские координаты X , Y и высоту H), следовательно, в приемнике должны быть измерены расстояния до трех различных ИСЗ). При таком методе радионавигации (он называется беззапросным) точное определение времени распространения сигнала возможно лишь при наличии синхронизации временных шкал спутника и приемника.

В связи с этим, в состав аппаратуры ИСЗ и приемника входят эталонные часы (стандарты частоты), точность которых исключительно высока (долговременная относительная стабильность частоты обеспечивается на уровне 10^{-13} - 10^{-15} за сутки). Бортовые часы всех ИСЗ синхронизированы и привязаны к так называемому “системному времени”. Эталон времени GPS- приемника менее точен, чтобы чрезмерно не повышать его стоимость. Этот эталон должен обеспечивать только кратковременную стабильность частоты - в течение процедуры измерений.

На практике в измерениях времени всегда присутствует ошибка, обусловленная несовпадением шкал времени ИСЗ и приемника. По этой причине в приемнике вычисляется искаженное значение дальности до спутника или “псевдодальность”. Измерения расстояний до всех ИСЗ, с которыми в данный момент работает приемник, происходит одновременно. Следовательно, для всех измерений величину временного несоответствия можно считать постоянной. С математической точки зрения это эквивалентно тому, что неизвестными являются не только координаты X , Y и H , но и поправка часов приемника $D t$. Для их определения необходимо выполнить измерения псевдодальностей не до трех, а до четырех спутников. В результате обработки этих измерений в приемнике вычисляются координаты (X , Y и H) и точное время.

Если приемник установлен на движущемся объекте и наряду с псевдодальностями измеряет доплеровские сдвиги частот радиосигналов, то может быть вычислена и скорость объекта. Таким образом, для выполнения необходимых навигационных определений надо обеспечить постоянную видимость с нее, как минимум, пяти спутников. После полного развертывания созвездия ИСЗ в любой точке Земли могут быть видны от 5 до 12 спутников в произвольный момент времени. Современные GPS-приемники имеют до 12 каналов, т.е. могут одновременно принимать сигналы от такого количества ИСЗ. Избыточные измерения (сверх пяти) позволяют повысить точность определения координат и обеспечить непрерывность решения навигационной задачи.

В состав системы входят:

1. созвездие ИСЗ (космический сегмент)
2. сеть наземных станций слежения и управления (сегмент управления);
3. собственно GPS-приемники (аппаратура потребителей).

1.2 История появления и внедрения системы точного земледелия в мировую практику землепользования

Суть качественно новой системы земледелия, которое на Западе получило название точного (или прецизионного), состоит в том, что для получения с данного поля (массива) максимального количества качественной и наиболее дешевой продукции для всех растений этого массива создаются одинаковые условия роста и развития без нарушения норм экологической безопасности. Точное земледелие внедряется путем постепенного освоения качественно новых агротехнологий на основе принципиально новых, высокоэффективных и экологически безопасных технических и агрохимических средств.

Ученые и конструкторы понимали, что система точного земледелия должна базироваться на последних достижениях электроники. Однако

испытания уже первых экспериментальных образцов показали, что сложные и дорогостоящие электронные приборы не приспособлены для полевых условий, которые характеризуются повышенными запыленностью и влажностью среды, требуют высококвалифицированного обслуживания и ремонта при дефиците запчастей. Но очень скоро были созданы адаптированные к с.-х. условиям микропроцессоры, электронные, фотоэлектрические, емкостные, электромагнитные, пьезоэлектрические, электромеханические и другие датчики, а также электронные приборы.

Первыми весомых результатов в использовании электронных устройств на с.-х. технике добились разработчики машин для защиты растений. Например, опрыскиватель Hydroelectron фирмы Теснома, получивший золотую медаль на международной выставке SIMA-1976 в Париже, был оборудован электронным регулятором подачи раствора пропорционально скорости движения агрегата. Аналогичную машину разработала английская фирма Agmet. По сравнению с используемыми в странах СНГ аналогами в них поддерживается постоянный в единицу времени расход раствора, а норма его внесения на 1 га значительно варьируется при каждом переключении передачи, изменении частоты вращения двигателя и буксовании колес, что обеспечивает экономию до 20 % ядохимикатов. А это не только экономический, но и экологический эффект.

Сложнее решались вопросы точного высева семян зерновых колосовых культур. Экспериментальные образцы таких сеялок были показаны на международной выставке в Мюнхене в 1982 г., а серийная машина с электронным регулятором высева фирмы Blanchot появилась лишь через три года и была отмечена на парижской выставке SIMA-1985. Фирма Rider (Германия) пошла еще дальше, создав сеялку Saxonia, которая обеспечивает заданные не только расстояние между семенами в рядке, но и глубину их заделки.

Значительных успехов в электронизации с.-х. техники достигли фирмы Amazone, Diadem, Rotina, Lely и др. В машинах центробежного типа они

добились независимости дозы внесения удобрений на 1 га от скорости агрегата. Кроме того, частота вращения рассеивающих дисков и фактическая доза удобрений, вносимых на 1 га, постоянно высвечиваются на мониторе, причем последнюю тракторист может изменять со своего рабочего места. Применение электронных устройств дало возможность значительно (до $\pm 15\%$) снизить неравномерность внесения удобрений.

В 1986 г. в результате тесного сотрудничества фирм — производителей тракторов и сельхозмашин было признано рациональным многоканальный микропроцессор устанавливать на тракторе, а на машинах использовать лишь унифицированные датчики. Так, например, на тракторе Case стали монтировать микропроцессор и подключать к нему датчики и исполнительные механизмы:

1. регулирования глубины обработки почвообрабатывающих машин фирмы Landsberg;
2. оптимизации работы опрыскивателей фирмы Holder;
3. машин для внесения минеральных удобрений фирмы Rotina;
4. сеялок Saxonia и др.

Причем микропроцессор не только контролирует и регулирует технологические параметры, но и показывает фактическую рабочую скорость агрегата, объем выполненной работы, параметры двигателя и удельный расход топлива.

Для объединения усилий по разработке и освоению в с.-х. производстве электронных систем в 1992 г. страны ЕС приняли план, предусматривающий ускоренное финансирование из бюджета ЕС перспективных направлений автоматизации и компьютеризации с.-х. техники. В настоящее время к этой работе присоединились Венгрия, Чехия, Словения и Эстония. Причем в создании качественно новых, высокоточных и высокопроизводительных машин западноевропейские страны значительно обошли США и Канаду.

Благодаря использованию высокоточной техники в странах с развитым земледелием удалось поднять урожайность зерновых культур до 90 ц/га и получить весомую прибыль. Вместе с тем было замечено, что пестрота урожайности на полях, обработанных этой техникой, хотя и значительно уменьшилось, но все-таки сохранилась. Следовательно, такое земледелие еще не соответствует критериям точного. Агрохимический анализ почвы, взятой на участках с различной урожайностью, показал, что по содержанию азота, фосфора и калия они существенно различаются, хотя минеральные удобрения вносились с высокой равномерностью. Причина этого явления в том, что растения питаются не только веществами, вносимыми в почву при выращивании данной культуры, но и теми, что накопились в ней. Поэтому удобрения нужно вносить в почву дифференцированно в зависимости от количества ранее накопленных в ней основных питательных веществ.

Однако внедрение такой технологии с использованием существующих технических средств связано с большими трудовыми и финансовыми затратами. В связи с этим в разных странах начали разрабатывать способы и средства для упрощения и снижения стоимости агрохимического анализа почвы, в том числе через урожайность выращенной культуры на отдельных участках поля. Для этого, например, зерноуборочный комбайн оборудуют электронным прибором, который определяет урожайность, по координатам записывает ее в бортовой компьютер и распечатывает картограмму. Но картограмма урожайности может служить лишь средством обоснования необходимости дифференцированного применения удобрения или определения аномальных зон и взятия проб почвы для агрохимического анализа лишь в этих зонах. Одно из кардинальных решений этой проблемы предложила английская фирма KRM — оценивать содержание азота, фосфора и калия в почве путем фотографирования полей в инфракрасных лучах на специальную пленку с помощью самолета или спутника Земли.

Еще более упрощает агрохимический анализ почвы созданный английской фирмой Challeng Agriculture оптический прибор (золотая медаль

на парижской выставке в 1994 г.). Содержание в почве азота, фосфора, калия и других элементов определяют путем сравнительного измерения в двух точках отраженного света выбранной полосы спектра. Он может обрабатывать более 30 параметров и запоминать 50 значений. Через четыре года прибор аналогичного назначения разработали китайские специалисты на основе транзисторов, преобразователей, фотодатчиков и других электронных элементов.

Другая сложная проблема — привязка результатов агрохимического анализа к координатам взятия проб и передача этих данных на агрегат для внесения удобрений. Достаточно известное средство определения координат агрегата — ротационное устройство, измерительным элементом которого служит колесо трактора или машины, а регистрирующим — счетчик числа оборотов, шкала которого проградуирована в метрах. Отклонение показаний на длине гона 1000 м не превышает ± 2 м.

Фирма Claas разработала радиосистему, в которую входят компьютеризированная базовая радиостанция с приемником, размещенные в офисе (помещении) фирмы, и приемопередающие устройства — на полевых агрегатах. С помощью этой системы можно находить координаты 200 агрегатов, работающих в радиусе до 9 миль, с точностью ± 10 м.

В радиосистеме аналогичного назначения компании Massey Ferguson используют установленные на агрегатах специальные радиоприемники и глобальную спутниковую сеть (GPS). Система с приемлемой точностью определяет географические координаты агрегата, но она достаточно сложна и дорогостояща.

Первый экспериментальный образец двухдисковой центробежной машины для дифференцированного внесения одного вида минеральных удобрений продемонстрировала в 1994 г. на выставке Smithfield Farm Tech английская фирма KRM. Содержание питательных веществ в почве определяется методом инфракрасного фотографирования поля со спутника Земли с построением картограммы поля, а координаты агрегата — с

помощью систем GPS. Для непосредственного изменения дозы вносимых удобрений используется электронный прибор Calibrator 2002, функционально соединенный с компьютером (на дискете которого записана картограмма удобрения поля) и системой GPS. В 1995 г. фирма Amazone освоила серийный выпуск центробежных машин ZA-Max с аналогичными приборами. Однако из-за дороговизны электронного оборудования (около 50 % цены машины) они не получили широкого распространения.

Пионером освоения точного земледелия является Великобритания, где на ферме в графстве Сафольк на протяжении трех лет проводили картографирование урожайности, покоординатный анализ почвы в аномальных зонах, а удобрения вносились другой машиной фирмы Amazone-M-Tronic. Это обеспечило годовую экономию в среднем по 17,2 фунта стерлингов на каждом гектаре (по сравнению с внесением постоянных доз по всему полю).

Технология отлично зарекомендовала себя и успешно применяется в США, Канаде, Бразилии и в странах Европы. В США и Канаде навигационное оборудование особенно распространено, т.к. в производстве используется широкозахватная техника.

На сегодняшний момент все мировые лидеры по производству сельскохозяйственных машин (CLAAS, John Deer, Case и др.), комплектуют свою технику навигационной системой GPS. В России «пионером» в этом направлении стала компания «Евротехника», с 2004 года все производимые сельскохозяйственные машины на заводе можно дооснастить навигационной системой GPS.

GPS – оборудование востребовано в связи с тем, что обеспечивает экономию средств. В Европе, например, подсчитано, что экономический эффект от применения GPS – оборудования достигает 50-60 Евро на гектар. Кроме того, пользователи данного оборудования получают возможность проводить полевые работы ночью, в тумане, при повышенной запыленности и т.д.

В настоящее время, сравнивая производимые российские и зарубежные приборы спутниковой навигации для работы в сельском хозяйстве, можно сказать, что иностранные приборы имеют преимущества по своим функциям.

Навигационных приборов российского производства пока еще очень мало. В качестве примера можно привести навигационный прибор «Агронавигатор». Он достаточно многофункционален: позволяет вести параллельно трактор при опрыскивании, внесении минеральных удобрений, записывать и хранить информацию с площади до 10 000 га. Однако точность данного прибора составляет от 1,5-2 м, что не допустимо в сельскохозяйственных работах.

Зарубежный опыт насчитывает гораздо больше подобных приборов: это известная компания John Deere с прибором Green Star Parallel Tracking System, и менее известные: Mid-Tech Center-Line, Raven RGL 500, Cultiva ATC, Outback S, и другие. Однако, неоспоримым лидером в данном направлении на сегодняшний день является компания Trimble с семейством навигационных приборов серии AgGPS, которые широко применяются в точном земледелии в Европе, США, Канаде, а теперь и в России.

Таким образом в последние годы система точного земледелия массово интегрирована в земледелие многих стран. Что касается России, то лишь небольшое количество предприятий принимает решение использовать данную систему. Это связано в первую очередь с финансовыми затруднениями при внедрении данной системы.

2. Теоретические аспекты применяемой технологии на производстве

Системы позиционирования, основанные на приеме сигналов спутников GPS, уже успешно используются в некоторых российских агропромышленных предприятиях, способствуя повышению производительности и качества выполненных агротехнических операций и

сохранению экологического баланса поля. Так, ОАО «Агрофирма» Бунятино» Дмитровского р-на Московской области успешно использует систему параллельного вождения Trimble, универсальную для любых типов сельскохозяйственных машин.

Система позволяет повысить эффективность и точность всех сельскохозяйственных операций: обработки почвы, посева, опрыскивания, внесения удобрений и уборки урожая.

Точная навигация до минимума сокращает пропуски и перекрытия при смежных проходах агрегатов, что, в конечном счете, приводит к экономии посевного материала, удобрений, химикатов и ГСМ. Поскольку система устраняет потребность в сигнальщиках, сокращаются расходы на дополнительный персонал. Сельскохозяйственные операции выполняются быстрее. Немаловажно, что система дает возможность работать в условиях плохой видимости в том числе, в темное время суток. Более того, система является ресурсосберегающей технологией: за счет уменьшения полос перекрытий до минимума снижается перерасход удобрений и средств защиты растений (СЗР). За счет точной навигации не «размывается» первоначальная технологическая колея: система запоминает траекторию движения и дает механизатору возможность точно попасть в ту же колею при повторной обработке поля.

Основное преимущество применения систем параллельного вождения при опрыскивании – сокращение до минимума огрехов, неизбежно возникающих при этой операции, особенно если она производится широкозахватной техникой и в условиях плохой видимости. Например: при обработке гербицидами, такие огрехи могут негативно отразиться на урожайности не только необработанных участков, но и всего поля. При вождении обычным способом, механизатор, чтобы избежать пропусков, старается проходить соседние ряды с перекрытием, что значительно усугубляет фитотоксичность препаратов. В конечном счете, перекрытия составляют, по разным оценкам, от 5 до 15% площади. Применение GPS-

навигации снижает взаимное перекрытие рядов до 1-3%. На 18-и метровой штанге опрыскивателя на расстоянии 45 см друг от друга находятся 40 распылительных форсунок. Ориентируясь на пенный маркер, колышки или сигнальщики, водитель создает перекрытия от 50 см до 1,5 м, то есть на каждом проходе 2-3 лишних форсунки выливают на поле пестицид, что заметно увеличивает гектарную стоимость обработки культуры. Применяемая в данное время спутниковая навигационная система позволяет достичь точности обработки 15-30 см от прохода к проходу.

Система состоит из нескольких компонентов: курсоуказателя EZ-Guide 250/500 со встроенным спутниковым приемником, подруливающего устройства EZ-Steer либо навигационного контроллера NavController II.

Курсоуказатель Trimble EZ-Guide 250 устанавливается в кабине трактора и указывает водителю направление для точного вождения по параллельным рядам в ходе полевых работ. Он состоит из светодиодной панели, цветного 4-дюймового дисплея и интегрированного 12-канального GPS-приемника. Яркие светодиоды показывают водителю, в какую сторону отклоняется трактор от идеальной траектории и величину сдвига.

Использование системы Trimble EZ-Guide 500 имеет расширенный диапазон точностей от прохода к проходу (2,5-30 см). Этот прибор содержит высокоточный двухчастотный приемник GPS/DGPS/RTK и 7-дюймовый дисплей. Приемник дает возможность из года в год использовать «старую» траекторию движения и легко модернизируется до более высокого уровня точности.

Использование подруливающего устройства EZ-Steer исключает огрехи, увеличивает эффективную эксплуатацию сельскохозяйственной техники, за счет возможности работать в темное время суток, в условиях плохой видимости и значительно снижает утомляемость механизаторов. При достижении конца гона механизатору остается только вывести машину на новый ряд, пользуясь подсказками курсоуказателя, и снова подключить EZ-Steer, который передает усилие через резиновый валик на рулевое колесо.

Встроенное программное обеспечение курсоуказателей Trimble EZ-Guide 250/500 позволяет выполнять картирование полей - при объезде поля по контуру определить точные координаты границ поля и вычислить его общую площадь.

Для механизатора работа с системой довольно проста: первый проход, механизатор выполняет вручную. Указывает ширину захвата агрегата, задает начальную и конечную точки движения. Затем система автоматически размечает плоскость поля в курсоуказателе линиями, параллельными заданной и с шириной равной ширине захвата агрегата. Далее механизатору необходимо двигаться по этим траекториям. Система поддерживает не только прямолинейные, но также криволинейные и спиралевидные способы движения. Практика показывает, что механизатор осваивает меню курсоуказателя примерно за один-два часа. Еще около трех часов требуется, чтобы механизатор «набил руку» и приобрел навыки прямолинейного вождения машины с использованием курсоуказателя.

Точность, которую обеспечивают системы параллельного вождения, может быть проиллюстрирована следующей таблицей. При этом надо иметь в виду, что с повышением точности системы возрастает область ее применения.

Таблица 1. Точность систем параллельного вождения

Агротехнические операции	Статическая и динамические точности	Режим дифференциальной коррекции
Опрыскивание химикатами, внесение удобрений в разброс, мониторинг с.х. техники	$\pm 15-30$ см «от прохода к проходу» ± 1 м «из года в год» $\pm 10-30$ см ± 20 см «из года в год»	Автономный режим Omnistar VB
Рядовой посев, сплошная культивация, уборка	$5-12$ см «от прохода к проходу» ± 20 см «из года в год»	Omnistar HP/XP
Посадка, широкорядный посев, нарезка гребней и междурядная культивация, планировка и выравнивание полей. Составление карты поля	$\pm 2,5-5$ см «от прохода к проходу» ± 5 см «из года в год»	RTK-режим

Эффект от использования параллельного вождения очевиден и подтверждается опытом. Так, например, при работе посевного комплекса стыковое междурядье было установлено 25см при расстоянии между сошниками 35см. При работе агрегата ширина стыковой колебалась в пределах 5 см. Таким образом, использование высокоточного курсоуказателя с подруливающим устройством позволяет минимизировать перекрытия и осуществлять посев с величиной стыковых междурядий, равных межсошниковому расстоянию. Перекрытия сократились до 10%, и следовательно, уменьшился перерасход семенного материала, ГСМ и припосевных минеральных удобрений. За счет увеличения сменной производительности на 20% и увеличения рабочего времени на 40% из-за работы ночью, значительно сокращается время выполнения полевых работ.

ЗАО «Агрофирма «Бунятино» Дмитровского р-на Московской области использует систему параллельного вождения применительно к картофельным полям и полям с овощами открытого грунта с марта 2010 г. по настоящее время. Был разработан инвестиционный проект с требуемым экономическим обоснованием. Суть проекта состояла в покупке и установке необходимого оборудования, позволяющего существенно увеличить точность агротехнических операций на пропашных культурах.

Финансовые ресурсы, необходимые для осуществления проекта составили 3150 тыс. руб.

В результате установки системы в 2010 г. предприятие значительно снизило затраты (в среднем на 10% по сравнению с затратами 2009 г.) на следующие статьи:

- 1. ГСМ;**
- 2. Посадочный материал;**
- 3. Минеральные и органические удобрения;**
- 4. Средства защиты растений.**

Что касается срока окупаемости проекта, то проект полностью покрывает свои издержки уже в первом году использования системы параллельного вождения.

