

Министерство сельского хозяйства РФ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет
им. И. Т. Трубилина»

Е. В. Труфляк

Сенсорика



Краснодар
КубГАУ
2016

УДК 631.171 (076.5)

ББК 40.7

Т80

Труфляк Е. В.

Сенсорика / Е. В. Труфляк. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 33 с.

Представлены основы сенсорики при использовании технологий точного земледелия.

Освещены принципы работы датчиков для определения свойств почвы и измерения свойств растений и травостоев.

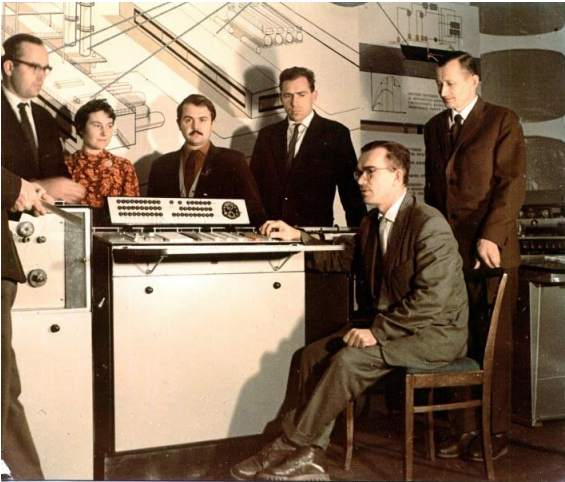
Для специалистов в области сельского хозяйства, преподавателей, аспирантов и студентов аграрных вузов.

УДК 631.171 (076.5)

ББК 40.7

© Труфляк Е. В., 2016

© ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина», 2016



«Человек в XXI веке, который не будет уметь пользоваться ЭВМ, будет подобен человеку XX века, не умевшему ни читать, ни писать»

*В. М. Глушков (1923–1982 гг.),
академик*

СЕНСОРИКА

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 мелкомасштабного 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).

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 для возделывания сельскохозяйственных культур. Плотность характеризует структуру почвы; ее увеличение указывает на уплотнение почвы, возрастание сопротивления пене-трации 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_{pen} , 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 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 1, а и б) либо цилиндрический штамп (рисунок 1, в), а по принципу работы, т. е. измерения силы, которая необходима для внедрения штампа, различают пружинный (рисунок 1, б) и ударный (рисунок 1, в) типы пенетрометров.

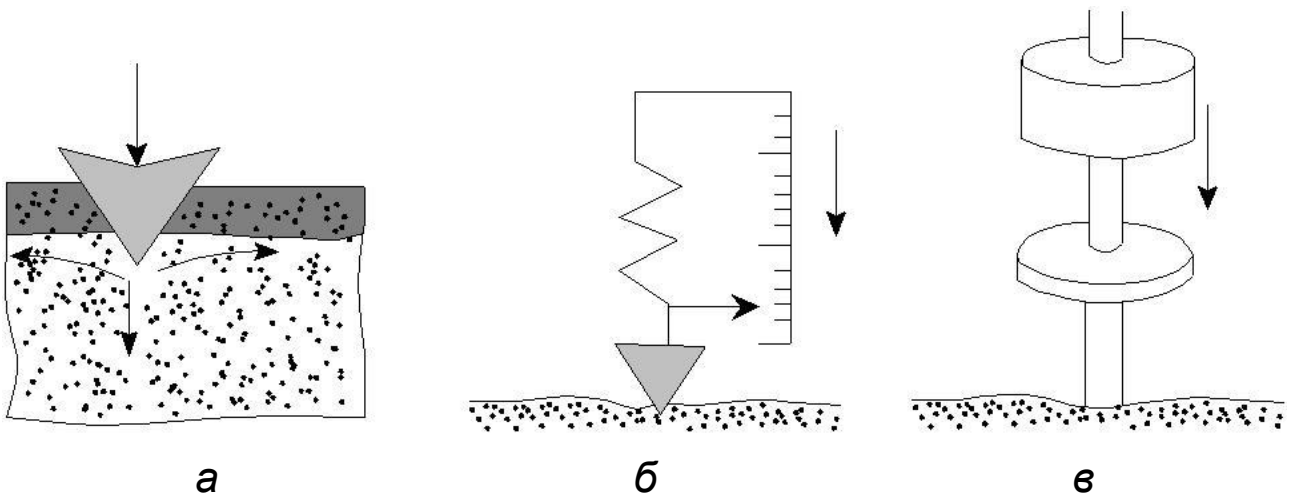


Рисунок 1 – Схема внедрения конического штампа пенетromетра (а) в почву и основных типов пенетromетров: пружинного (б) и ударного (в)

Сопротивление пенетрации для пенетromетров ударного типа рассчитывают по массе скользящего груза, высоте и количеству падений. Для расчета сопротивления пенетрации ($\text{кг}/\text{см}^2$) используют следующую формулу:

$$P_{pen} = n (mg \cdot h_1) / (S \cdot h_2), \quad (1)$$

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 P_{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 позициониро-

вания, 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 устанавливаются 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 почву 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 содер-

жанием 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 2), и прибор EM38 канадской фирмы Geonics Limited, который основан на измерении электромагнитной индукции (рисунок 3).



Рисунок 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 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 рас-трах. 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 дис-

танционно с использованием различий в отражении солнечного света органическими веществами с помощью спектрометров, преимущественно в ближней инфракрасной части спектра.

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 4).

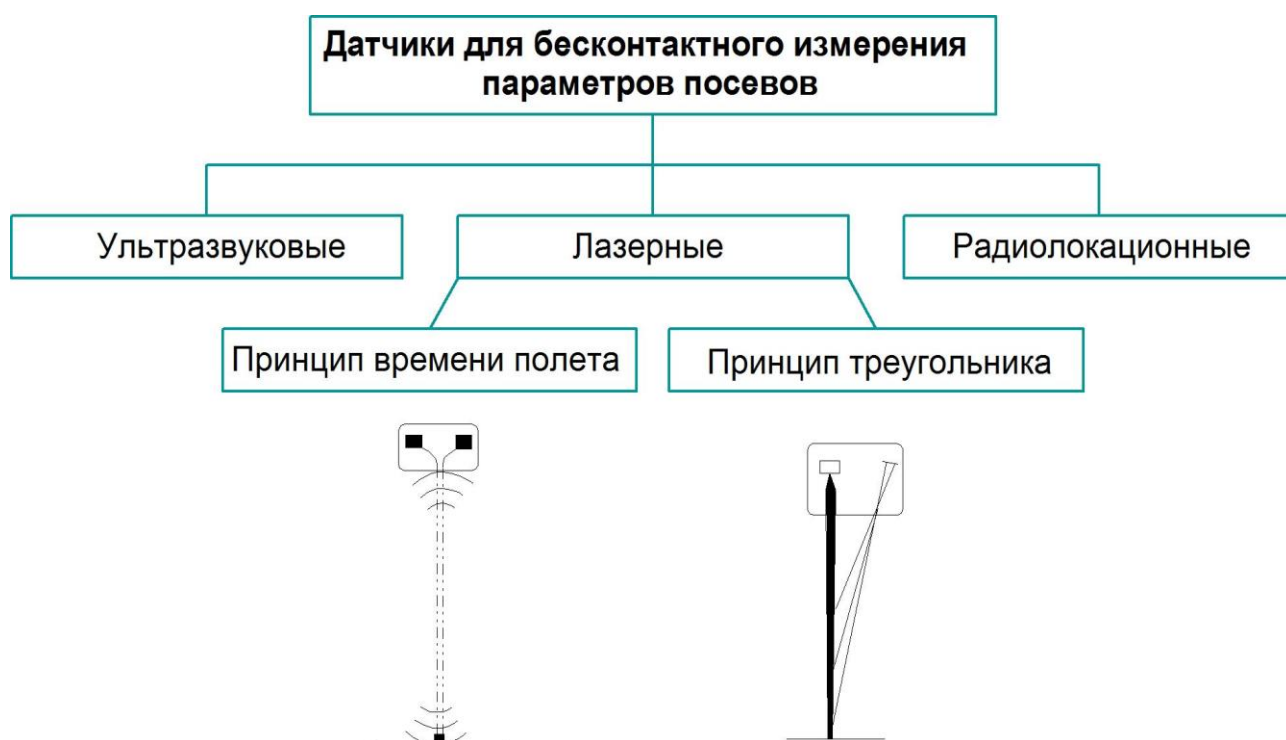


Рисунок 4 – Датчики для бесконтактного измерения параметров посевов и определения их свойств

Чаще всего работы проводят с использованием лазерных датчиков (рисунок 5). На практике успешно применяют также и систему, работающую по механическому принципу (Crop Meter).

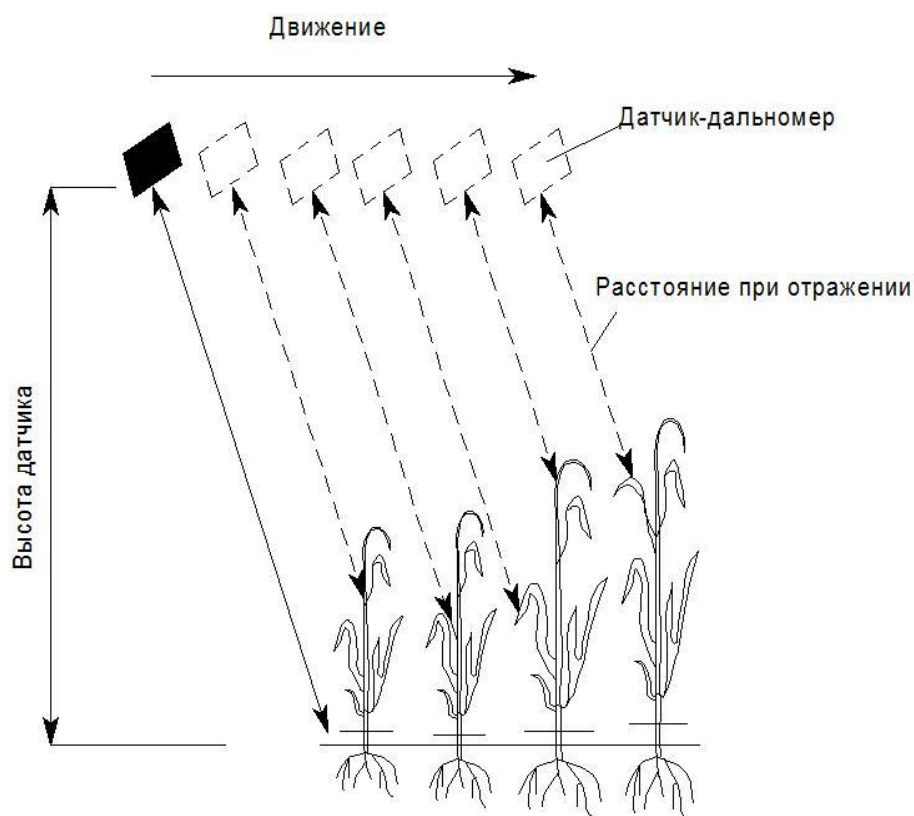


Рисунок 5 – Работа лазерных датчиков

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 добавочного 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 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 7) и имеет ширину 6 м. Он состоит из четырех независимо работающих датчиков, которые расположены вертикально по отношению к посеву.



Рисунок 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 регу-

лируют 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 убранных продукта. В бортовом компьютере для этого сохраняются соответствующие функции (кривые) регулирования.

Датчик Crop 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 чип-карт.

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:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (2)$$

где *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра.

Согласно формуле (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.

Датчики могут присоединяться к отдельным форсункам или в разном количестве к частям опрыскивателя или тукоразбрасывателя (рисунок 8). Прибор может регулировать внесение азотных удобрений в твердой или жидкой форме. Его используют и для дифференцированного внесения регуляторов роста.



Рисунок 8 – Датчики GreenSeeker RT200

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 рефлектируется. 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 стеблей-
стоев 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 – 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.

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 культуры), а также кормоуборочными комбайнами. Предпосылкой для этого стало оснащение уборочной техники дГСП-приемниками и датчиками для измерения урожайности. Накопление и обработка данных измерения осуществ-

ляются с помощью электронновычислительного 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.

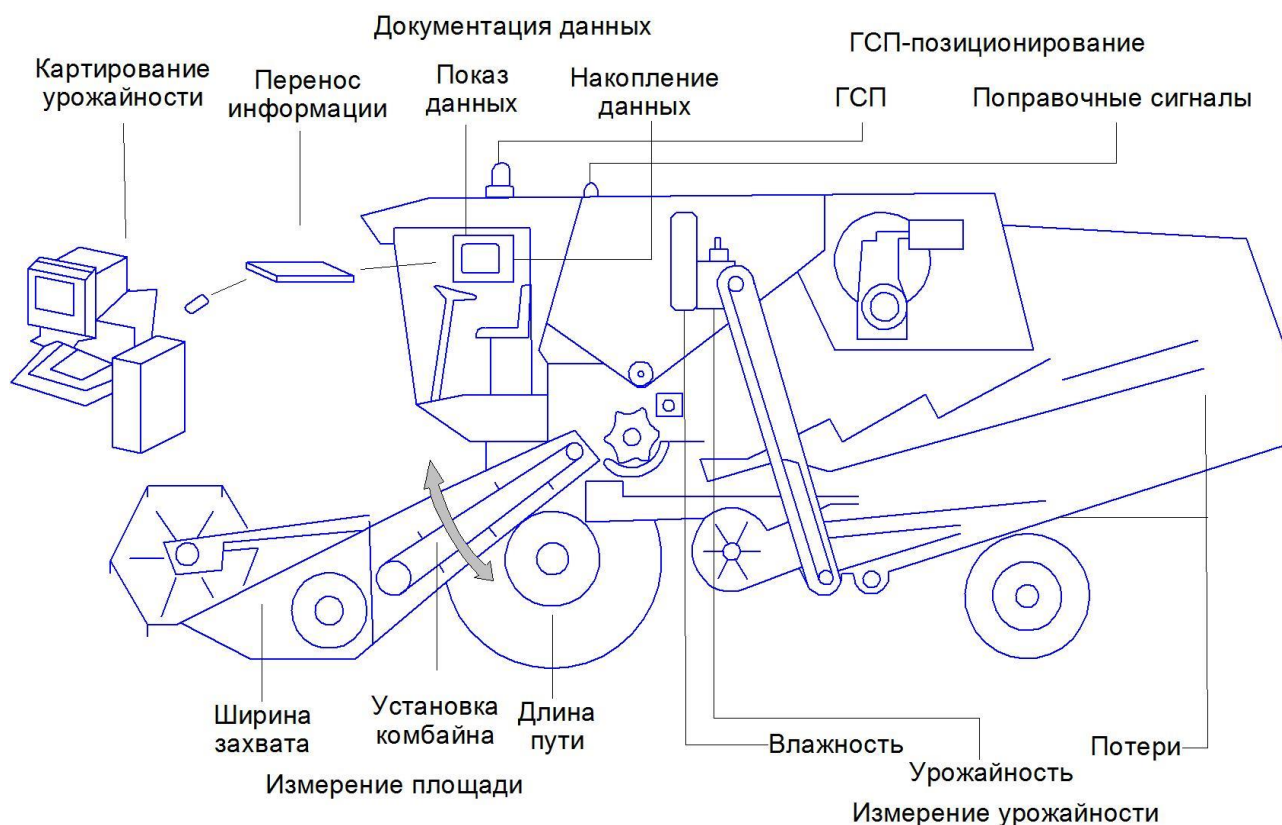


Рисунок 10 – Схема оснащения уборочного комбайна для картирования урожайности

Датчики урожайности на зерноуборочных комбайнах выдают отдельные измерительные показатели (пропускная способность зерна), по которым урожайность вместе с данными об уборанной площади вычисляют с помощью формулы:

$$Y = [(p \cdot T) / (m \cdot ш)] \cdot [(1 - B_1) / (1 - B_2)], \quad (3)$$

где Y – показатель урожайности, ц/га;

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

T – интервал между измерениями, с;

m – 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 ($m \cdot ш$) 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, $3 \cdot 4,16$ кг/с = 12,5 кг зерна. Это соответствует локальной урожайности $12,5$ кг / 30 м² = 0,416 кг/м². При влажности 18 % сухая масса достигает $0,416$ кг/м² · (1 – 0,18) = 0,341 кг/м², и урожайность уборанного зерна при 14 % требуемой влажности составляет $0,341$ кг/м² · 1,14 = 0,389 кг/м².

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 следую-

щие 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 11, а).



Рисунок 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 Agrosom.

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 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-Ferguson 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 12).

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 поглощение гамма-излучения также увеличивается, и показатель радиодетектора становится относительно низким. При проходе меньшего количества зерна получают, наоборот, высокие показатели радиодетектора.

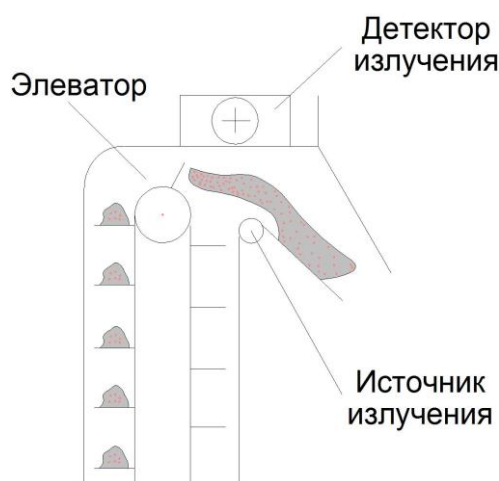


Рисунок 12 – Схема косвенного определения прохода зерна в зерновом элеваторе с помощью измерения гамма-лучей радиоактивного элемента в радиодетекторе

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 валиков и отклонение валиков предварительного прессования, а также скорость потока зеленой массы (рисунок 13).

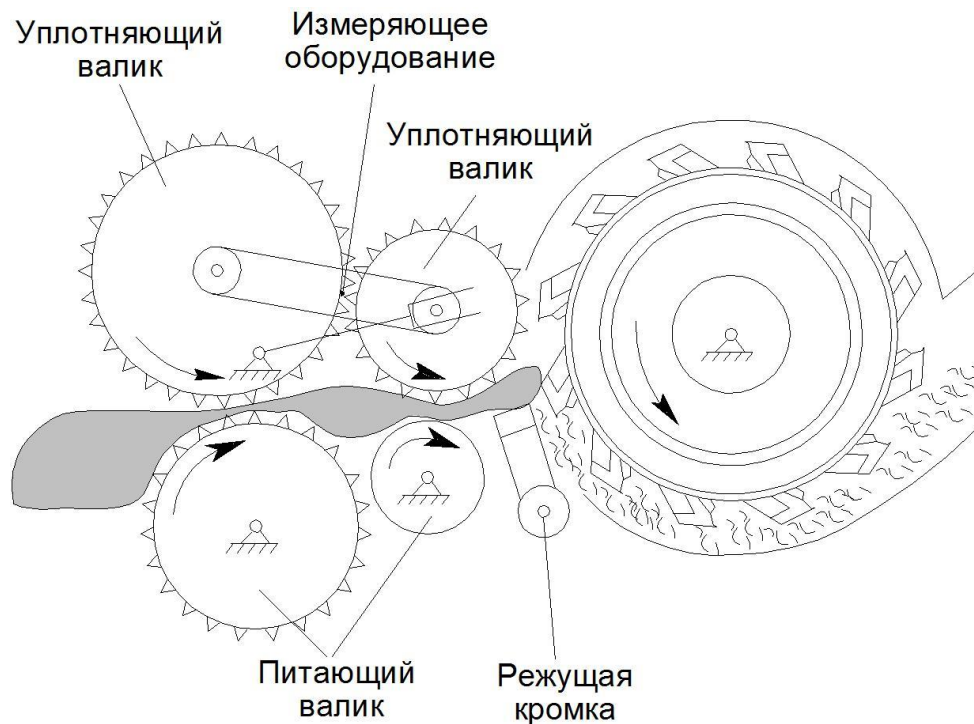


Рисунок 13 – Схема работы датчика в кормоуборочном комбайне для определения урожайности зеленой массы

Чем больше зеленой массы принимается, тем выше давление валиков. 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 обсле-

довать достаточный размер площади, чтобы достоверно 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 более 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 14).

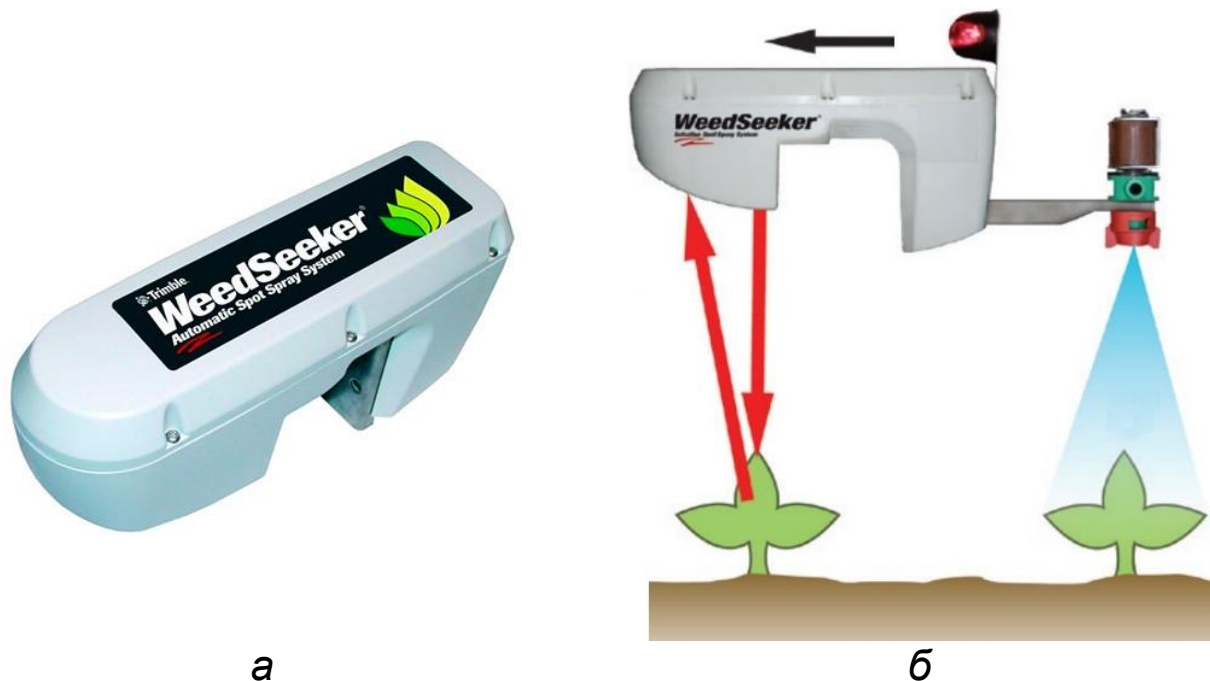


Рисунок 14 – Датчиковая система WeedSeeker:

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Точное земледелие : учеб. пособие / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин, В. Э. Буксман, С. М. Сидоренко. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 376 с.
2. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture) : учеб.-практ. пособие / под ред. Д. Шпаара, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. – СПб. : Пушкин, 2009. – 397 с.
3. Интеллектуальные технические средства АПК : учеб. пособие / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 266 с.