

СТРУКТУРА И АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ ЛЕТАЮЩЕГО РОБОТА ДЛЯ ЗАБОРА И АНАЛИЗА ГРУНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

В.А. Королев, А.М. Башилов, К.О. Можяев

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ)
129128 Москва, 1-й Вешняковский проезд, д. 2
Тел.: (499) 171-15-11, e-mail: vieshvk@yandex.ru

Заключение совета рецензентов: 17.07.15 Заключение совета экспертов: 20.07.15 Принято к публикации: 23.07.15

Для проведения забора проб грунта использован комплекс на базе мобильного робота вертолетного типа – квадрокоптера. Исходя из критических условий, когда объем грунта максимален и он твердый, определены размеры активной части грунтозаборника и создана модель привода для забора проб с коническим буром с режущей кромкой.

Ключевые слова: забор проб почвы, летающий робот, система управления, устройство забора почвы.

STRUCTURE AND ALGORITHMS OF THE WORK FLYING ROBOT FOR TAKING AWAY AND ANALYSIS OF THE SOIL AGRICULTURAL FIELDS

V.A. Korolev, A.M. Bashilov, K.O. Mozhaev

All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH)
2, 1st Veshnyakovskii str., Moscow, 129128, Russia
Tel.: (499) 171-15-11, e-mail: vieshvk@yandex.ru

Referred: 17.07.15 Expertise: 20.07.15 Accepted: 23.07.15

To conduct soil sampling it was decided to use a system based on mobile robot helicopter type - quadrocopter. To calculate the system we took maximum critical conditions, when the maximum amount of soil and it loose. After the calculation drive of sampling model was created with a conical drill with a cutting edge.

Keywords: soil-sampling, flying robot, management system, soil-sampling device.



Владимир
Александрович
Королев
Vladimir A. Korolev

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, заведующий лабораторией ВИЭСХ. Профессиональный опыт – более 30 лет.
Образование: Фрунзенский политехнический институт (1971).
Область научных интересов: математика, компьютерные технологии.
Публикации: более 230.

Information about the author: candidate of technical sciences, assistant professor, head of the laboratory VIESH.
Professional experience – more than 30 years.
Education: Frunze Polytechnic Institute (1971).
Research area: mathematics, computer technologies.
Publications: more than 230.



Алексей Михайлович
Башилов
Aleksey M. Bashilov

Сведения об авторе: д-р. техн. наук, профессор, заведующий лабораторией ВИЭСХ. Профессиональный опыт – более 30 лет.
Образование: Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. В.П. Горячкина (1973).
Область научных интересов: агротехнологии, техническое зрение.
Публикации: более 200.

Information about the author: doctor of the technical sciences, professor, head of the laboratory VIESH.

Professional experience – more than 30 years.

Education: Moscow Institute of Agricultural Engineers named V.P. Goryachkin (1973).

Research area: agrarian technologies, technical vision.

Publications: more than 200.



Кирилл Олегович
Можяев
Kirill O. Mozhaev

Сведения об авторе: инженер ВИЭСХ. Профессиональный опыт – более 4 лет.
Образование: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (2013).
Область научных интересов: робототехника, моделирование.
Публикации: 12.

Information about the author: engineer, VIESH.

Professional experience – more than 4 years.

Education: Moscow State Technical University named N.E. Bauman (2013).

Research area: robotics, modeling.

Publications: 12.

Технико-технологические особенности забора грунта летающим роботом

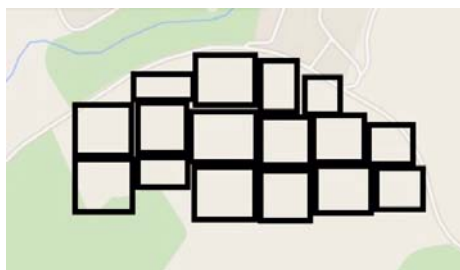
В сельском хозяйстве сфера деятельности робототехнических устройств широка, и одним из видов такой деятельности является забор проб грунта на сельхозугодьях. Эту технологическую операцию выполняют при создании карт плодородия сельхозугодий; привязке динамики изменения агрофизических и агрохимических показателей отдельного взятого сельхозугодья ко времени и к пространству; определении доз и сроков внесения в почву удобрений, а также при решении других конкретных задач.

В настоящее время ручные методы и устройства забора проб почвы заменяют автоматизированными грунтозаборниками (ГЗБ) на наземном самоходном технологическом средстве [1, 2]. Однако подобные системы пока не соответствуют полностью предъявляемым требованиям, т.к. имеют большие габариты и при перемещении по возделываемым сельхозугодьям повреждают почву и агрокультуры, не могут функционировать без участия человека, дороги, а затраты времени и энергии на выполнение поставленных задач здесь значительны.

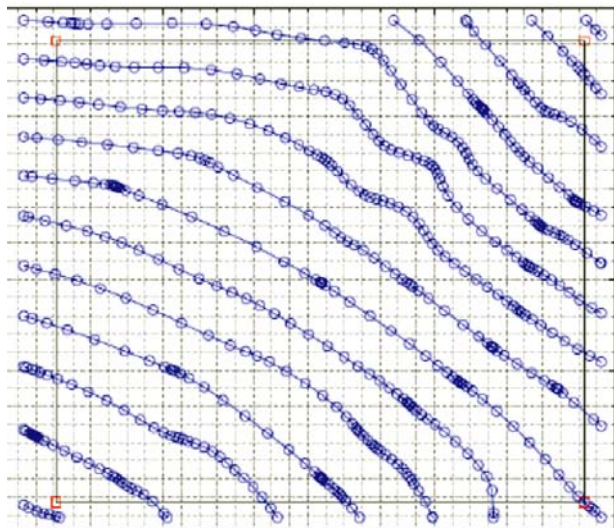
Согласно концепции точного земледелия [2] в технологических процессах возделывания агрокуль-

тур целесообразно применять технические средства, при использовании которых вредные воздействия на агрокультуры, почву и окружающую среду отсутствуют. К таким техническим средствам можно отнести комплекс на базе дрона вертолетного типа – квадрокоптера (КВТ) [3]. Квадрокоптеры в автоматическом режиме способны забирать и переносить пробы почвы на заданные расстояния, а при оснащении специальным оборудованием (средствами технического зрения, устройствами отбора фрагментов агрокультур и т.п.), исследовать характеристики агрокультур, оценивать увлажненность почвы, выполнять другие технологические операции на больших территориях сельхозугодий.

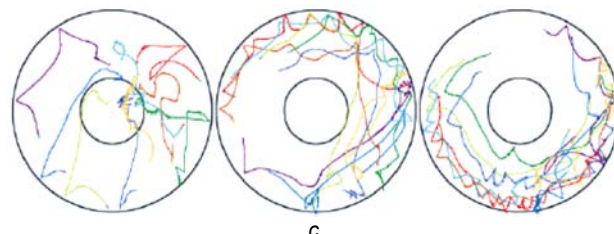
Траектории полетов дрона должны быть реализуемы с учетом технических характеристик квадрокоптера, обеспечивать минимум энергозатрат и максимально быструю отработку выполняемых задач. Наиболее рациональны траектории дрона при разбивке сельхозугодья на зоны (квадраты), линейное сканирование сельхозугодий, использование равноудаленных кольцевых трасс (рис. 1). Сложной задачей при функционировании КВТ для забора пробы почвы является обеспечение требуемой прижимной силы и устойчивости носителя ГЗБ.



a



b



c

Рис. 1. Траектории полетов летающего робота:
a – разбивки сельхозугодия на квадраты;
b – линейная проработка точек забора грунта;
c – полеты внутри кольцевой зоны
Fig. 1. Paths flight flying robot:
a – breakdown agricultural field on squares;
b – linear flights of the taking away the soil;
c – flights inwardly recirculating zone

Требуемые параметры функционирования КВТ в процессе полета дрона, например, точность отработки траекторий, расчет и корректировка траекторий, определяет аппаратная и программная реализация его системы управления, поддерживаемая ресурсами дополнительных сервисов глобальной и локальной навигации (MapInfo, SSToolBox, ArcGIS и т.п.). Аппаратная база системы управления КВТ (средний уровень системы управления комплексом) должна иметь удобный интерфейс программирования, высокую производительность, возможности реализовать требуемые алгоритмы работы, потреблять мало энергии.

Структура и параметры грунтозаборника мобильного робота

При выборе модели ГЗБ учитывают его назначение (забор проб почвы или грунта); глубину забора (для пахотных слоев почвы – до 30 см, для грунтов различной сложности – до 10 м); уровень требований к прочности материала активной части (нержавеющая сталь, тефлон); способ взятия проб (автоматизированный или ручной), периодичность (требуемая частота исследований).

Параметры забора проб почвы, согласно ГОСТ 17.4.3.01-83, определяют с учетом структуры, плотности и влажности почвы, а также решаемой задачи (таблица).

Для расчета характеристик ГЗБ следует принимать наиболее критические условия: объем грунта максимален, грунт плотный и твердый. Для категории грунтов 1 (песок, супесь, растительный грунт, торф) плотность необходимо принимать равной $600-1600 \text{ кг/м}^3$. С учетом запаса по объему ГЗБ (коэффициент запаса 1,15) расчетное значение массы почвы одного забора (объем заборника) составила $3,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ и соотношение высоты H и радиуса r активной части ГЗБ – 150 мм/50 мм.

В классической конструкции ГЗБ – это трубка с заостренным концом, внутри которой вдоль оси размещается поворотный механизм, позволяющий осуществлять процедуру забора грунта на различных глубинах.

Требования по забору проб грунта
Amount of earth for sample

Цель исследования	Размер пробной площадки, га		Количество проб
	Почвенный покров		
	однородный	неоднородный	
Определение содержания в почве химических веществ	от 1 до 5	от 0,5 до 1	не менее одной объединенной пробы
Определение физических свойств и структуры почвы	от 1 до 5	от 0,5 до 1	от 3 до 5 точечных проб на один почвенный горизонт
Определение содержания патогенных организмов и вирусов	от 0,1 до 0,5	0,1	10 объединенных проб, состоящих из 3 точечных проб каждая

Бур оснащен режущими гранями в нижней (активной) части для разрыхления почвы и эффективного проникновения на требуемую глубину. Надежное проникновение ГЗБ в почву при снижении прикладываемого к нему усилия при входе в верхние слои почвы обеспечивает стреловидность (конусность) его активной части (рис. 2). Для возможности работы как с сыпучими, так и с плотными грунтами на боковой части конуса предусмотрена режущая кромка для среза малого слоя (до 3 мм) и переноса почвы во внутреннюю часть.

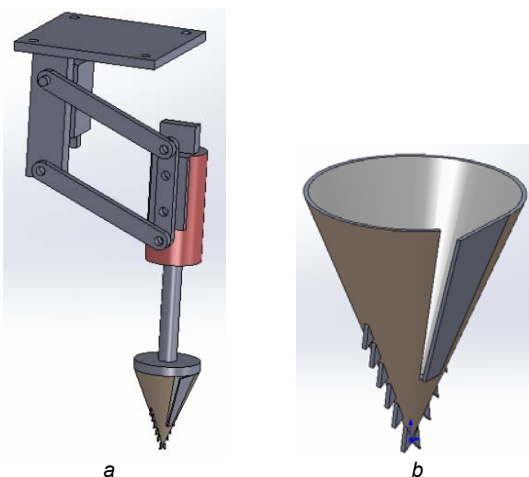


Рис. 2. Конструкция грунтозаборника летающего робота: а – 3-D модель; б – нижняя (активная) часть

Fig. 2. Design device taking away the soil on flying robot: а – 3D model; b – lower part of sampling system

Суммарную силу, действующую на активную часть ГЗБ (рис. 3), составляют масса дрона (около 2,5 кг, $M_d = 25$ Н), усилие, побуждаемое сервоприводом ГЗБ при вращении, «обратная» тяга маршевых двигателей дрона, работающих в режиме «прижимания» аппарата к земле (максимальная сила одного маршевого двигателя $F = 15$ Н, четырех – 60 Н). Таким образом, совокупная сила, приложенная к буру ГЗБ, составляет 85 Н. При необходимости можно использовать специальный подвес совместно с установленным сервоприводом, поворотная сила которого составляет 2 кг (рис. 3).

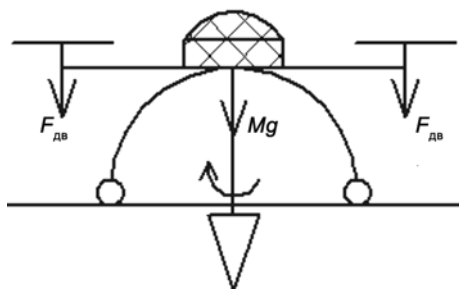


Рис. 3. Силы нагрузки бура грунтозаборника летающего робота

Fig. 3. Power of the load borax device of the taking the soil flying robot

Конструкция ГЗБ обеспечивает не только продольное перемещение бура, но и поперечное, что нагружает режущую кромку его активной части при заполнении почвой. Для приближения центра масс робота к поверхности почвы устройство крепится в нижней части квадрокоптера под блоком батарей.

Для придания буру вращательной силы, постепенного проникновения его в слои почвы и обеспечения равномерного забора грунта использован бесколлекторный низкооборотный двигатель постоянного тока с моментом инерции $0,1125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Система управления и алгоритмы работы мобильного робота

В качестве управляющей платы КВТ выбрана плата Arduino, к которой подключена периферия (сенсоры и управляемые устройства). Плата позволяет осуществить прием/передачу управляющих сигналов и летных данных, видеосигнала, навигационных данных и информации о текущем процессе, обеспечивает обработку сигналов с датчиков (акселерометр, гироскоп, компас) для отработки заданной траектории, а также управление двигателями с высокой точностью.

В память системы управления записана программа, осуществляющая работу по конечно-автоматному алгоритму. Работа КВТ осуществляется в цикле автоматического анализа состояния почвы, который включает в себя операции по доставке грунтоотборника к месту забора, операцию отбора пробы, а также возврат на исходную позицию для передачи образца грунта наземной станции – модулю отбора проб грунта (МОПГ). Управляемый автомат ЛР (рис. 4) является автоматом Мура с девятнадцатью дискретными состояниями [4].

В начальном состоянии на вход автомата поступает сигнал об инициализации. По этому сигналу в память дрона считывается информация о задании, включающая количество точек забора проб грунта, их GPS-координаты, а также последовательность их облета. Далее автомат переходит в состояние X_1^{LP} и передает на выход отчет о завершении инициализации. После этого на вход автомата подается сигнал *rise*, по которому начинается осуществление вертикального взлета (состояние X_2^{LP}). При этом на пульт управления (ПУ) транслируется высота взлета. По достижении ЛР высоты 15 метров на ЛР подается сигнал *go_i*, по которому автомат переходит в состояние $X_{3/i}^{LP}$, начинается полет в заданную точку забора пробы. На ПУ при этом транслируются координаты положения ЛР. По достижении заданной точки автомат переходит в состояние X_4^{LP} , в котором происходит вертикальный спуск. По команде *lower=A* включается сервопривод, опускающий пробозаборник в состояние забора пробы, а также включение двигателя грунтоотборника (X_5^{LP}). Затем по

команде $lower=B$ происходит подъем пробозаборника вместе с пробой (X_6^{JP}). По команде $rise$ происходит вертикальный взлет до высоты в 15 м (X_7^{JP}). И затем по команде go_UTSPG ЛР возвращается на базу (МОПГ) (X_8^{JP}). По команде $land_Utspg$ происходит посадка ЛР на МОПГ с применением СТЗ

(X_9^{JP}). Затем в состояниях X_{10}^{JP} и X_{11}^{JP} происходит смена пробозаборника с пробой на пустой пробозаборник, после чего автомат вновь переходит в состояние X_2^{JP} , цикл возобновляется.

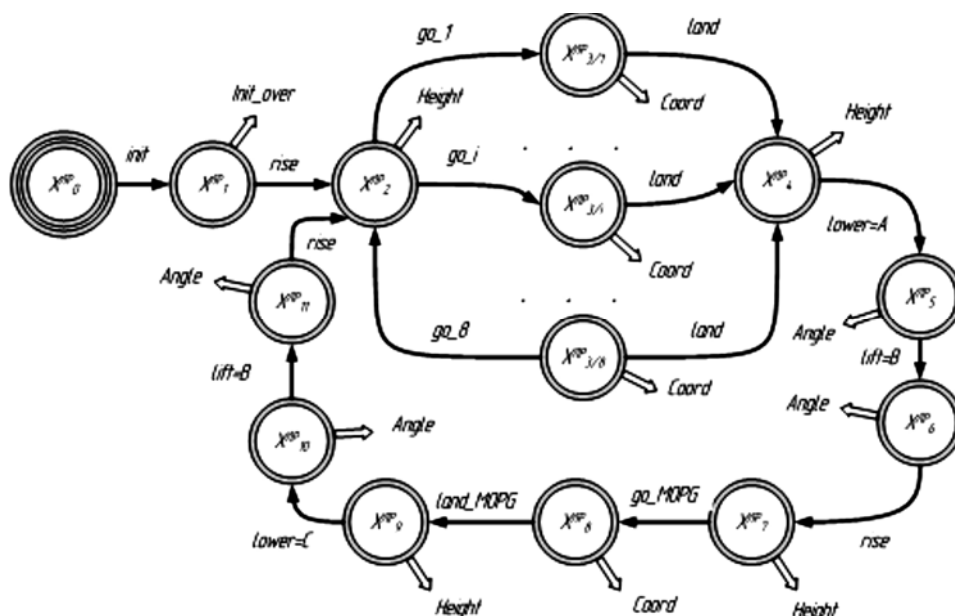


Рис. 4. Конечный автомат летающего робота
Fig. 4. Sequence block-scheme of flying robot

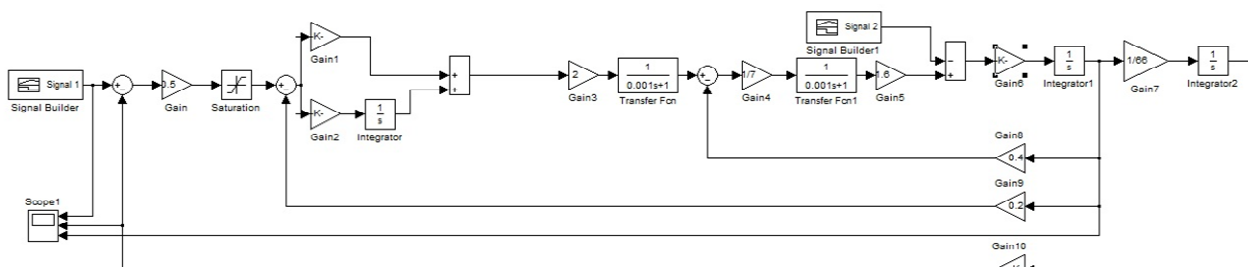


Рис. 5. Модель привода с П-регулятором положения и ПИ-регулятором скорости
Fig. 5. Model of system with location and speed regulators

Разработана модель [5] для исследования процессов управления движением КВТ (рис. 5).

Результаты моделирования процесса забора грунта (рис. 6) показывают, что двигатель, получая сигнал начала вращения (максимальная частота вращения), обрабатывает его с небольшим запозданием. Время переходного процесса составляет 3 с, перерегулирование – менее 20%. Полученные значения показателей переходных процессов удовлетворяют условиям выполнения процессов забора проб почвы на сельскохозяйственных полях.

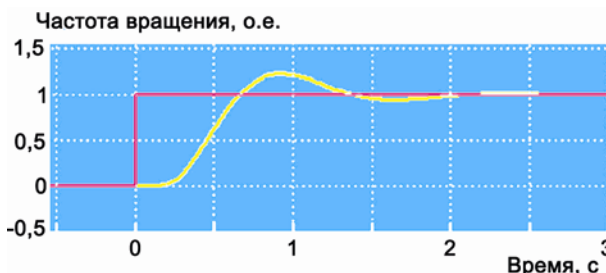


Рис. 6. Обработка начала вращения бура
Fig. 6. Beginning of drilling

Заключение

1. Процесс забора проб грунта представляет собой сложный процесс, сочетающий работу систем позиционирования мобильного робота и грунтозаборника. Для минимизации энергозатрат необходимо оптимизировать форму грунтозаборника, а также проводить настройку приводов на отработку положения грунтозаборника с учетом переменной величины силы вязкого сопротивления грунта.

2. В некоторых случаях для анализа проб грунта целесообразно использовать оптические (лазерные), бесконтактные средства контроля параметров почвы (температуры, влажности, солнечной радиации), устанавливаемые на летающем роботе и исключающие необходимость реализации операции механического забора проб.

Список литературы

1. Рунов Б.А., Пильникова Н.В. Основы технологии точного земледелия. СПб.: АФИ, 2012.
2. Роботизированные системы в сельскохозяйственном производстве: науч. ан. обзор. М.: ФГНУ «Росинфорагротех», 2009.
3. Efficient robots for precision farming [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fieldrobot.nl>, свободный.
4. Майника Э. Оптимизация на сетях и графах. М.: Мир, 1981.
5. Лазарев Ю.Ф. Начала программирования в среде MatLAB: Учебное пособие. Киев: НТУУ «КПП», 2003.

References

1. Runov B.A., Pil'nikova N.V. Osnovy tehnologii točnogo zemledeliâ. SPb.: AFI, 2012.
2. Robotizirovannye sistemy v sel'skhozâjstvennom proizvodstve: nauč. an. obzor. M.: FGNU «Rosinforagroteh», 2009.
3. Efficient robots for precision farming [Elektronnyj resurs]. Režim dostupa: <http://www.fieldrobot.nl>, svobodnyj.
4. Majnika È. Optimizaciâ na setâh i grafah. M.: Mir, 1981.
5. Lazarev Ū.F. Načala programirovaniâ v srede MatLAB: Učebnoe posobie. Kiev: NTUU «KPP», 2003.

Транслитерация по ISO 9:1995

