

Действительно, пусть при коррекции положения резца установилось давление

$$P_{1\Sigma} = \frac{1}{3} P_1 + P_2 + P_3 .$$

Затем после коррекции канал выходного сигнала P_3 отключается и на выходе суммирующего устройства устанавливается давление

$$P_{2\Sigma} = \frac{1}{2} P_1 + P_2 .$$

Из анализа полученных выражений следует, что $P_{1\Sigma} \neq P_{2\Sigma}$. В таком случае система автоматического регулирования придет в движение и ее предварительная настройка будет нарушена. Для предотвращения этого явления необходимо коррекцию положения резца осуществлять либо по особому каналу, не связанному с контуром стабилизации, либо вводить дублирующий сигнал. В последнем случае в системе необходимо наличие запоминающего устройства аналогового сигнала.

Заключение. Таким образом, работа предложенной системы активного контроля и автоматического регулирования размеров детали с использованием полумостовой схемы пневматического измерительного преобразователя предполагает выполнение нескольких требований: 1) при связанном регулировании параметров предъявляются повышенные требования к идентичности метрологических характеристик первичных преобразователей; 2) для исключения влияния не идентичности характеристик параметров на точность обработки детали, проточные части первичных преобразователей должны быть откалиброваны по давлению и расходу рабочей среды.

Библиографический список

1. Симанин, Н. А. Гидравлические системы автоматического управления технологическими операциями в машиностроении / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2009. – 155 с.
2. Симанин, Н. А. Проектирование элементов и систем автоматического регулирования гидравлических приводов технологического оборудования / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский. – Пенза : Изд-во ПГТУ, 2015. – 180 с.
3. Симанин, Н. А. Измерительные преобразователи типа «сопло-заслонка» для гидравлических систем автоматического регулирования приводов промышленного оборудования / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский, И. А. Поляков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2015. – №1 (13). – С. 176-183.
4. Симанин, Н. А. Экспериментальные исследования пневматических измерительных преобразователей / Н. А. Симанин, Ю. М. Передрей // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. – 2015. – №02 (24). – С. 102-114. – (Серия «Технические науки. Машиностроение»).
5. Симанин, Н. А. Гидравлика, гидроприводы и гидроавтоматика технологического оборудования / Н. А. Симанин, Е. Н. Ярмоленко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2003. – 132 с.

DOI 10.12737/24511

УДК 631.3

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПРИ ПОСЕВЕ

Канаев Михаил Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 «А».

E-mail: kanaev_miha@mail.ru

Карпов Олег Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Физика, математика и информационные технологии», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 «А».

E-mail: oleg@ssaa.ru

Васильев Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 «А».

E-mail: aspmig@mail.ru

Фатхутдинов Марат Рафаилович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 «А».

E-mail: fathutdinov_mr@mail.ru

Ключевые слова: удобрения, система, платформа, почва, тензодатчик.

Цель исследований – разработка электронной системы автоматизации дифференцированного внесения минеральных удобрений посевным агрегатом. На основе изучения и анализа средств механизации дифференцированного внесения удобрений при посеве выявили основные их недостатки. Из имеющихся на рынке

аппаратно-программных комплексов была выбрана платформа Arduino, на базе которой разработана электронная схема системы дифференцированного внесения удобрений. Для проверки работоспособности системы был изготовлен тарировочный стенд и разработано программное обеспечение для регистрации изменения нагрузки тензодатчика. Проведен тарировочный эксперимент на 8 тензодатчиках типа С2Н 500 кг. По результатам эксперимента выявлено, что разработанную систему можно использовать для автоматизации дифференцированного внесения минеральных удобрений при посеве сельскохозяйственных культур в технологиях точного земледелия. Точность измерения, высокая скорость обработки и генерации сигналов и не высокая стоимость выбранного оборудования делают возможным внедрение технологий точного земледелия даже в небольших хозяйствах с минимальными затратами.

В настоящее время к разрабатываемым сельскохозяйственным машинам предъявляют высокие требования по экономичности, экологической безопасности и производительности [6]. Особое внимание уделяют внедрению технологий точного земледелия, в которых одной из самых дорогостоящих операций, требующих высокой точности дозирования, является внесение минеральных удобрений. В традиционных технологиях дозаторы туковсевающихся аппаратов на посевных агрегатах, как правило, приводятся от опорно-приводных колёс или вала отбора мощности и лишены возможности быстрого изменения дозы вносимых удобрений. Технологии точного земледелия предусматривают быстрое изменение доз удобрений непосредственно при работе агрегатов, чего можно добиться только установкой дополнительных электронных модулей.

В наиболее распространенных технологиях точного земледелия при подкормке растений удобрения вносятся чаще всего дифференцированно. Посевные агрегаты, предназначенные для реализации технологий точного земледелия, предусматривают точно заданную норму высева семян и чаще всего не вносят удобрения дифференцированно, а используют одинаковую дозу по всему полю. В свою очередь, правильно рассчитанная стартовая доза удобрений при посеве создаст оптимальные условия в начале роста и вегетации растений. Применяемые в настоящее время способы дифференцированного внесения удобрений основаны на определении потребности в азоте по информации от оптических датчиков (система Green Seeker). Косвенно нормы дифференцированного внесения удобрений определяют по биомассе растений с помощью датчиков системы CROP-meter, а также по результатам лабораторных исследований почвенных образцов [4, 5]. Все эти способы (за исключением лабораторных исследований) не учитывают такую важную составляющую почвенного плодородия как наличие гумуса, который оказывает сильное влияние на рост и развитие растений. В Самарской ГСХА на протяжении нескольких лет ведутся работы по определению наличия гумуса в почве в зависимости от её физико-механических свойств [1, 2, 3]. Полученные данные свидетельствуют о том, что наличие гумуса тесно связано с твёрдостью почв, которую определяют при помощи специальных твердомеров. В связи с этим возникает необходимость разработки системы дифференцированного внесения удобрений при посеве с учётом толщины гумусового горизонта почвы.

Цель исследований – разработка электронной системы автоматизации дифференцированного внесения минеральных удобрений посевным агрегатом.

Задача исследований – определить возможность использования аппаратно-вычислительных платформ для построения систем дифференцированного внесения удобрений при посеве.

Материалы и методы исследований. В основе разрабатываемой системы лежат платформы Raspberry Pi и Arduino Due. Любую из них можно использовать для наших целей, но так как Raspberry Pi дороже и сложнее в использовании, мы остановили свой выбор на Arduino Due.

Структурная схема системы дифференцированного внесения удобрений состоит из следующих элементов (рис. 1).

Микроконтроллер управления AT91SAM3X8E имеет: 54 цифровых входа/выходов (12 из которых могут использоваться как выходы ШИМ); 12 аналоговых входов и 2 аналоговых выхода; 512Мб Flash памяти; частоту 84 МГц; 2 MicroUSB порта. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB. Также питание можно подать при помощи адаптера AC/DC, аккумуляторной батареи или Raspberry Pi с набором аналого-цифровых преобразователей и других дополнительных элементов.

Интерфейсная плата ввода-вывода Mega IO Expansion Shield V2.3 Включает в себя три xBee интерфейса, слот для microSD карты и большую площадку для прототипирования. Поддерживает большинство Arduino шилдов. Совместим с Arduino Mega/Arduino ADK. Имеет расширенные связи TTL контактов для четырех последовательных портов. DIP прототипная площадка позволяет легко добавлять больше электронных компонентов.

GPS-приемник с интерфейсом Xbee. Время его позиционирования – менее 1 с. Технология SuperSense обеспечивает чувствительность на уровне 160 дБ. Имеется возможность приёма поправок DGPS, за счёт чего повышается точность позиционирования. Потребляемая мощность не превышает 50 мВт, а занимаемая площадь – менее 100 мм².

Блок коммутации предназначен для формирования управляющих импульсов для управления сервоприводом. В нем используются твердотельные электронные реле с входным напряжением 3...15 В и коммутационными характеристиками: 15...20 В, 1...2 А. К таким блокам относят МОАС5А, SDV2415 и др.

Тензорезистивный датчик С2Н. S-образный датчик растяжения-сжатия может измерять двуполярную нагрузку, имеет высокую точность. При проведении лабораторных испытаний в почвенном канале на разные глубины хода почвенного деформатора, выяснилось, что датчик должен быть настроен на максимальную нагрузку 500 кг. Напряжение питания датчика - до 12 В постоянного тока. Тензорезистивный датчик изготовлен из нержавеющей стали, рабочие температуры от -50 до +50°С. Датчики сило- и весоизмерительные серии «С» внесены в Госреестр средств измерений РФ под № 53636-13. Класс точности – С1. На практике необходимый диапазон измерений для конкретных условий определения твердости почвы разработанным твердомером лежит в пределах от 200 до 350 кг.

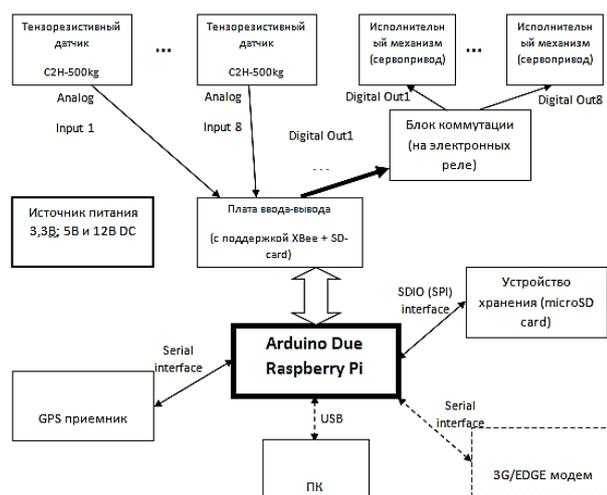


Рис. 1. Структурная схема системы дифференцированного внесения удобрений

Исполнительный механизм (сервопривод). Исполнительным механизмом в данном случае может являться любой электродвигатель (шаговый, мотор-редуктор и т.п.), с возможностью изменения частоты вращения, связанный с входным валом туковысевающего аппарата.

Устройство хранения данных microSD (TF) Flash карта. Допустимый объем до 16 Гб.

Опционально схема может содержать GPRS/3G модем для выгрузки данных в реальном времени в удаленную систему регистрации и управления. Предлагаемая система работает следующим образом – один раз в секунду происходит вызов программы, инициированный таймером прерывания. Во время выполнения программы в микроконтроллере происходит последовательный опрос тензодатчиков с 5-кратной повторностью для более точного определения показаний датчика и устранения «выскакивающих» значений. Для чтения показателей тензодатчиков используются аналоговые входы №1-8 микроконтроллера AT91SAM3X8E, на котором возможно напряжение от 0 до 5 В (что соответствует воздействию на датчик усилия от 0 кг до 500 кг). По тарифовочной таблице вычисляется реальный показатель твердости почвы в зависимости от считанного с тензорезистивного датчика напряжения. Далее с учётом тарифовочных коэффициентов, генерируется управляющий сигнал на исполнительные механизмы в виде импульсов. Выдача импульсов управления производится через 8 (с 1-го по 8-й) цифровых выходов микроконтроллера. Через первый последовательный порт (UART) микроконтроллера с использованием стандартного протокола работы с GPS приемниками (NMEA0183) считывается точное время и координаты машинотракторного агрегата, которые записываются на flash-карту, для дальнейшего использования при обработке результатов. Также на flash-карту записываются в таблицу полученные показатели работы системы, и контроллер переходит в режим ожидания следующего прерывания.

Система питания состоит из двух основных элементов системы питания тензометрических датчиков и микроконтроллера, а также блока питания сервопривода. Питание датчиков производится за счёт установки гелевого аккумулятора с напряжением 12 В и ёмкостью 75 А·ч. К аккумулятору через преобразователь DC-DC 12-5v подключаются тензометрические датчики, также через преобразователь напряжения DC-DC 12-5v подключается микроконтроллер управления AT91SAM3X8E. Низкое энергопотребление тензорезистивных датчиков и микроконтроллера даёт возможность работать длительное время.

Электрическая схема подключения экспериментальной системы показана на рисунке 2. Выходы D1-8 в дальнейшем планируется использовать для подключения исполнительных механизмов (сервоприводов).

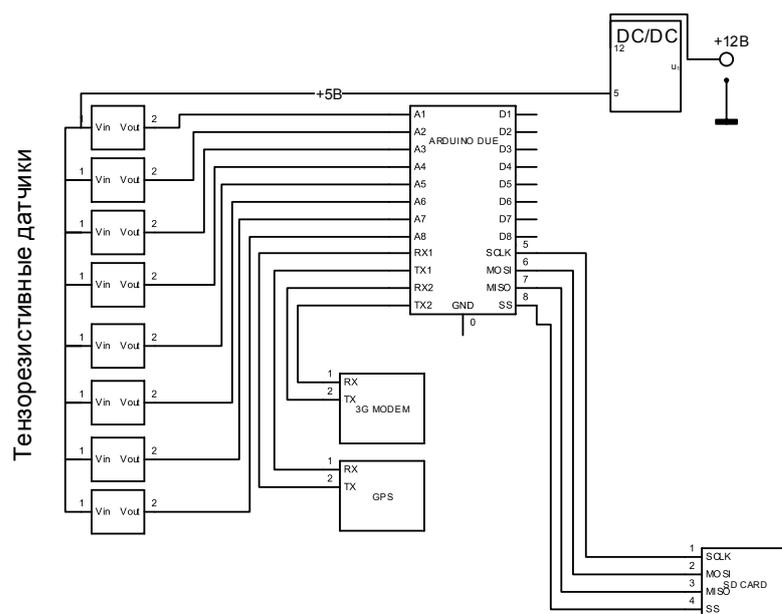


Рис. 2. Электрическая схема экспериментальной системы

Результаты исследований. Для проверки работоспособности всей системы был изготовлен тарировочный стенд и разработано программное обеспечение для регистрации изменения нагрузки тензодатчика. Тарировочный стенд состоит из станины, винтовой тяги и динамометра. При вращении винтовой тяги тензодатчик, шарнирно соединённый с динамометром, растягивается, и динамометр показывает усилие растяжения. Параллельно контроллером фиксируется напряжение на выходах тензодатчика. Результаты записываются на flash-карту.

При проведении эксперимента по тарировке использовали 8 тензодатчиков типа С2Н 500 кг, повторяемость – трёхкратная, нагрузка – циклическая, температура в лаборатории – плюс 22°С. Напряжения на выходах тензодатчика регистрировали через каждые 20 кг в интервале от 0 кг до 500 кг. В таблице 1 приводятся данные тарировочного эксперимента, указанные напряжения 8 тензодатчиков средние по трём повторностям.

Таблица 1

Результаты тарировочного эксперимента

Приложенное усилие, кг	Показания 1 датчика, mV	Показания 2 датчика, mV	Показания 3 датчика, mV	Показания 4 датчика, mV	Показания 5 датчика, mV	Показания 6 датчика, mV	Показания 7 датчика, mV	Показания 8 датчика, mV	Среднее значение	Доверительный интервал
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1,9	1,9	1,8	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8625	0,03586
40	3,8	3,7	3,8	3,9	3,8	3,7	3,8	3,6	3,7625	0,06348
60	5,8	5,8	5,7	5,7	5,7	5,8	5,8	5,7	5,75	0,03704
80	7,6	7,6	7,7	7,7	7,7	7,6	7,6	7,6	7,6375	0,03586
100	9,5	9,6	9,4	9,5	9,5	9,5	9,6	9,5	9,5125	0,04440
120	11,5	11,2	11,3	11,6	11,4	11,5	11,4	11,3	11,4	0,09072
140	13,3	13,1	13,2	13,3	13,1	13,1	13,2	13,2	13,187	0,05782
160	15,2	15,2	15,4	15,3	15,4	15,4	15,3	15,4	15,325	0,06142
180	17,1	17	17,2	17,1	17,1	17,2	17	17,2	17,112	0,05782
200	19	19,1	18,9	19,2	19,1	19	19,2	19,1	19,075	0,07172
220	21	21,1	21	21,2	21	21,1	21,1	21	21,062	0,05155
240	22,8	22,6	22,8	22,7	22,8	22,7	22,7	22,6	22,712	0,05782
260	24,7	24,5	24,6	24,6	24,6	24,5	24,6	24,5	24,575	0,04899
280	26,6	26,5	26,5	26,4	26,5	26,5	26,4	26,5	26,487	0,04440
300	28,5	28,4	28,5	28,6	28,5	28,6	28,6	28,4	28,5	0,05408
320	30,5	30,4	30,3	30,5	30,4	30,3	30,4	30,5	30,412	0,05782
340	32,3	32,3	32,4	32,3	32,3	32,3	32,4	32,3	32,325	0,03207
360	34,2	34,3	34,1	34,1	34,3	34,1	34,1	34,2	34,175	0,06142
380	36	36,1	36,2	36,2	36,2	36,2	36,3	36,1	36,162	0,06348
400	38	37,9	38,1	38,2	38,1	38,1	38	37,9	38,037	0,07349
420	39,9	40,1	40,1	40	40,1	40	40,2	40,1	40,062	0,06348
440	41,8	41,9	41,8	41,9	41,9	42	41,8	41,9	41,875	0,04899
460	43,7	43,6	43,7	43,7	43,6	43,7	43,6	43,6	43,65	0,03704
480	45,6	45,7	45,7	45,6	45,6	45,7	45,6	45,7	45,65	0,03704
500	47,5	47,7	47,6	47,7	47,6	47,7	47,5	47,6	47,612	0,05782

Как видно из таблицы 1 наименьшая погрешность измерений лежит в пределах от 200 до 300 кг, это объясняется тем, что оптимальный интервал нагрузок тензодатчика лежит в середине его рабочего диапазона. Далее рассчитывались средние показания по всем тензодатчикам и доверительное значение. После сопоставления усилия растяжения динамометра и среднего напряжения тензодатчиков, был построен тарировочный график с доверительным интервалом 95% (рис. 3).

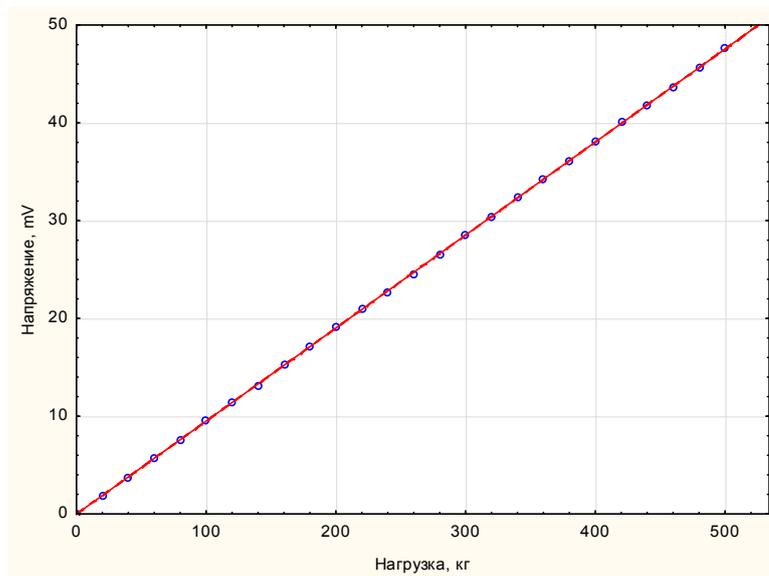


Рис. 3. Усреднённый тарировочный график 8 датчиков С2Н, доверительный интервал 95%

Построив график для усреднённых значений напряжения тензометрических датчиков, пришли к выводу, что датчики полностью идентичны по своим техническим характеристикам, а сама система и программное обеспечение работоспособны и дают высокую точность измерений. После введения программного обеспечения контроллер способен генерировать управляющий сигнал на основе величины входящего сигнала с тензодатчика на сервоприводы, в качестве которых могут быть использованы мотор-редукторы, шаговые электродвигатели и другие исполнительные механизмы, связанные с валом туковывсевающих аппаратов.

Заключение. Таким образом, разработанная электронная система может использоваться для автоматизации процесса дифференцированного внесения минеральных удобрений при посеве сельскохозяйственных культур в технологиях точного земледелия, путём обработки входящего и генерации управляющего сигналов на исполнительные механизмы туковывсевающих аппаратов. Скорость корректировки частоты вращения исполнительных механизмов на туковывсевающих аппаратах, т.е. фактически изменения нормы внесения удобрений, лежит в пределах от 1 до 10 раз в секунду и ограничивается лишь частотой опроса тензодатчиков контроллером. На практике корректировка нормы внесения при рабочей скорости посевного агрегата 6-8 км/ч необходима 1 раз в 2-3 с, что также подтверждает возможность использования данной системы. Точность измерения сигналов с тензодатчиков лежит в 95% доверительном интервале, высокая скорость обработки и генерации управляющих сигналов и не высокая стоимость выбранного оборудования делают возможным внедрение технологий точного земледелия даже в небольших хозяйствах с минимальными затратами.

Библиографический список

1. Милюткин, В. А. Новый способ дифференцированного внесения удобрений при посеве сельскохозяйственных культур / В. А. Милюткин, М. А. Канаев // Известия Самарской ГСХА. – Самара, 2010. – Вып. 3. – С. 16-18.
2. Милюткин, В. А. Эффективность ресурсосберегающих элементов применения удобрений при внедрении прямого посева / В. А. Милюткин, Н. И. Несмеянова, М. А. Беляев // Агро XXI. – 2007. – №7-9. – С. 9-13.
3. Милюткин, В. А. Разработка машин для подпочвенного внесения удобрений на основе агробиологических характеристик растений / В. А. Милюткин, М. А. Канаев // Известия Самарской ГСХА. – Самара, 2012. – Вып. 3. – С. 9-13.
4. Канаев, М. А. Дифференцированное внесение удобрений при посеве / М. А. Канаев, С. В. Машков // Сельский механизатор. – 2011. – №7. – С. 22-23.
5. Парфенов, О. М. Комплекс измерительных приборов и оборудования для определения твёрдости почвы / О. М. Парфенов, Н. В. Бармин // Известия Самарской ГСХА. – Самара, 2006. – Вып. 3. – С. 153-154.
6. Иванайский, С. А. Рабочий орган для предпосевной обработки почвы / С. А. Иванайский, О. М. Парфенов // Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решения : сб. науч. тр. – Кинель : СГСХА, 2016. – С. 364-366.