

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ И
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА»
(ФГБНУ «РОСИНФОРМАГРОТЕХ»)

УДК 631.3.009:004.428.4

Рег. № НИОКТР АААА-А19-119040990047-2

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора
ФГБНУ «Росинформагротех»,
канд. юрид. наук

П. А. Подъяблонский

« 04 » декабрь 2019 г.



ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследование и разработка инерциального беспроводного датчика определения буксования двигателей энергетических средств

по теме: 2.2.9 Проведение исследований и разработка инновационных методов и средств метрологического обеспечения создания конкурентоспособных технологий в растениеводстве

2.2.9.3 Проведение исследований и разработка инновационного средства для определения буксования двигателей энергетических средств при оценке комплексов сельскохозяйственной техники

Директор КубНИИТиМ

Руководитель темы,
зав. лабораторией, ведущий науч. сотр.,
канд. техн. наук




М.И. Потапкин

В.Е. Таркинский

Новокубанск 2019


СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Отв. исполнитель,


зав. лабораторией, канд. техн. наук  22.11.2019 В.Е. Таркивский
(введение, раздел 1, 2, 4,
заключение, приложение А, В)

Исполнители:


Гл. науч. сотр.,
канд. техн. наук

 22.11.2019 Н.В. Трубицын
(раздел 3, приложение В)

Науч. сотр.

 22.11.2019 Е.С. Воронин
(приложение А, раздел 4)

Инженер

 22.11.2019 В.Н. Слесарев
(приложение В)

Нормоконтроль

 22.11.2019 В.О. Марченко

РЕФЕРАТ

Отчет 51 с., 26 рис., 8 табл., 28 источн., 3 прил.

ИСПЫТАНИЯ, БУКСОВАНИЕ, ДАТЧИК, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ИНЕРЦИАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА, АКСЕЛЛЕРОМЕТР, ГИРОСКОП.

Объектом исследования являются методы и технические средства измерения буксования, датчики буксования и другие средства и системы самоходных колесных машин, в которых реализована функция определения пробуксовки колес.

Цель работы – создание беспроводных, легко монтируемых датчиков, позволяющих оценивать показатели буксования мобильных энергетических средств в реальном режиме времени при проведении испытаний сельскохозяйственной техники.

Метод исследований – экспериментально-теоретический, основанный на анализе и лабораторном исследовании существующих методов определения положения объекта в 3-х мерном пространстве.

В результате работы создан опытный образец датчика определения буксования ведущего колеса мобильного энергосредства на основе инерциального принципа ориентации в пространстве, особенностью которого является простой монтаж на испытываемый объект и отсутствие проводов для подключения к измерительной системе.

Актуальность работы и новизна заключается в том, что применение инерциальных датчиков определения буксования мобильных энергосредств позволит снизить трудоёмкость при испытаниях за счёт упрощения монтажа и отсутствия необходимости прокладки информационных кабелей.

Область применения – МИС, НИИ Минсельхоза России, ВУЗы и другие организации занимающиеся исследованиями и испытаниями сельскохозяйственной техники.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Состояние вопроса и выбор направления исследований	7
2 Конструкция опытного образца инерциального датчика буксования.....	14
3 Экспериментальные исследования.....	19
3.1 Методика экспериментальных исследований.....	19
3.2 Разработка универсального адаптера датчика ИП-291	20
3.3 Разработка системы беспроводной связи	22
3.4 Программное обеспечение полевых исследований.....	25
4 Результаты экспериментальных исследований	27
4.1 Результаты оценки точности датчика ИП-291 в полевых условиях	27
4.2 Результаты эффективности работы группы датчиков ИП-291 в полевых условиях.....	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	35
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Руководство по эксплуатации датчика ИП-291	39
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное) Патент на полезную модель	47
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Конструкторская документация на датчик ИП-291.....	48

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями и сокращения:

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь

ИИС – измерительная информационная система

ИНС – инерциальная навигационная система

Кватернион — четырехмерное комплексное число, которое применяется для представления ориентации тела в трехмерном пространстве

МИС – машиноиспытательная станция

МТА – машинотракторный агрегат

ПК – персональный компьютер

СИ – средство измерения

AHRS (Attitude and Heading Reference Systems) - системы определения курса и пространственного положения

MEMS (Micro-Electro Mechanical Systems) – микроэлектромеханические системы, объединяющая в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты

ВВЕДЕНИЕ

Важным направлением деятельности Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ) является разработка средств измерений (СИ) для обеспечения оценки показателей сельскохозяйственной техники. Средства измерений, разработанные в КубНИИТиМ, позволяют проводить оценку сельскохозяйственной техники в соответствии с национальными и межгосударственными стандартами на методы испытаний, а также способствуют развитию отечественного сельскохозяйственного машиностроения.

Буксование движителей самоходного энергосредства является показателем, характеризующим правильность подбора состава МТА и выбора режима выполнения сельскохозяйственных работ. Буксование определяется при проведении испытаний тракторов [1, 2] и энергооценки сельскохозяйственных машин [3]. Величина буксования входит в перечень критериев функциональных характеристик сельскохозяйственных тракторов, определяемых в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 01.08.2016 № 740 «Об определении функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования» [4].

Одной из проблем при организации испытаний сельскохозяйственной техники является сложность монтажа датчиков буксования на трактор. Подготовка трактора занимает до 2-х рабочих смен и включает в себя прокладку кабелей и установку кронштейнов.

Поэтому разработка датчиков буксования, основанных на новых принципах и обеспечивающих беспроводную связь с измерительной системой является важной задачей.

Разработанные датчики могут найти применение в ВУЗах, НИИ и машиноиспытательных станциях (МИС) Минсельхоза России при исследованиях и испытаниях сельскохозяйственной техники и технологий.

1 Состояние вопроса и выбор направления исследований

Буксование двигателей трактора или самоходной машины возникает в следующих случаях: при трогании с места; при движении по поверхности, имеющей низкие сцепные свойства (влажный грунт, пахота, дороги во время или после дождя, гололёд, снег); при загрузке энергосредства (выполнении работ) и т.п. Данный процесс приводит к повышенным износам шин или гусениц, к потере управляемости, к перерасходу топлива и к повреждению структуры почвы.

При проведении тяговых испытаний тракторов и энергетической оценки сельскохозяйственных машин одним из определяемых показателей также является текущая величина буксования двигателей. В соответствии с требованием стандарта [1] максимальное тяговое усилие, развиваемое на крюке трактора, должно ограничиваться началом неустойчивой работы двигателя или буксованием, предельное значение которого должно быть: на треках не более 7% - для гусеничных тракторов и 15% - для колёсных тракторов, а на почвенных фонах – 15% и 30% соответственно. Буксование двигателя δ , %, вычисляется по формуле

$$\delta = \left(1 - \frac{n'_0}{n_0}\right) \cdot 10^2, \quad (1)$$

где n'_0 , n_0 – частота вращения ведущего колеса соответственно при движении трактора без нагрузки и с нагрузкой на крюке при одной и той же длине гона, мин⁻¹.

Как правило, определение буксования трактора не ограничивается определением буксования одного двигателя, среднюю величину буксования $\bar{\delta}$, %, вычисляется по формуле

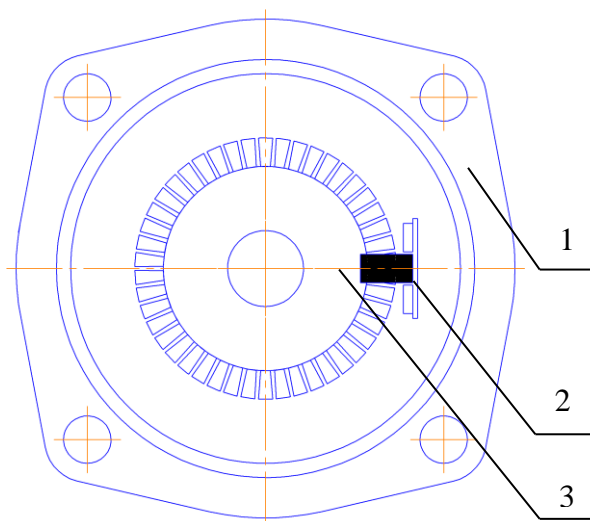
$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\delta_i), \quad (2)$$

где n – число двигателей;

δ_i - буксование i -го двигателя, %.

При испытаниях сельскохозяйственной техники определить величину буксования в соответствии с [1] не представляется возможным, так как невозможно пройти гон абсолютно на одной и той же скорости с нагрузкой и без нагрузки. Для определения коэффициента буксования устанавливают дополнительное устройство, которое определяет величину коэффициента буксования непосредственно в процессе движения под нагрузкой.

Как показывают результаты исследований различных учёных [5-11], задачу определения коэффициента буксования движителей на практике решают традиционным способом – установкой датчиков угла поворота движителя трактора (рисунок 1) и пройденного пути.



1 – корпус датчика; 2 – оптический элемент; 3 – диск с вырезами.

Рисунок 1 – Устройство датчика угла поворота ведущих колёс

Основным элементом датчика угла поворота является диск с фрезерованными через одинаковый угол вырезами 3. Как правило, диск имеет 24 или 45 вырезов. Соответственно, точность (дискретность) датчика составляет 15° или 8° . Диск соединён гибкой муфтой со ступицей колеса и вращается вместе с ней. Корпус датчика 1 фиксируется неподвижно. Скорость вращения диска и, соответственно, движителя определяется количеством электрических импульсов за единицу времени, формируемых электронной схемой датчика при прохождении вырезов через оптическую пару 2. Электрические импульсы от датчика передаются по проводам и фиксируются в измерительной информационной системе, где измеряется их период или количество за определённый

временной интервал и рассчитывается угловая скорость и частота вращения ротора датчика и, соответственно, двигателя.

В испытательных центрах для проведения испытаний тракторов и сельскохозяйственной техники получила широкое распространение измерительная информационная система ИП-264. В комплект системы входят первичные преобразователи угла ведущих колёс ИП-268 (рисунок 2).



Рисунок 2 – Датчик угла поворота ведущего колеса ИП-268

Первичные преобразователи типа ИП-268 предъявляет определённые требования к установке на испытываемый трактор:

- датчик должен быть закреплён так, чтобы избежать вращения его корпуса;
- должна быть обеспечена гибкая связь между ступицей колеса и ротором датчика для передачи вращения колеса.

Для решения первого требования для каждой конкретной модели трактора изготавливаются штанги-фиксаторы. Штанга устанавливается на трактор и жёстко фиксирует датчик (рисунок 3). Основная сложность при монтаже заключается в необходимости изготовления штанги-фиксатора под каждую конкретную модель трактора. В некоторых случаях для установки требуется подготовить испытываемый трактор, например, просверлить отверстия для её крепежа.



а)

б)

Рисунок 3 – Монтаж датчика ИП-268 на тракторах New Holland t9.505 и Case STX-500

Для передачи вращения колеса на датчик применяются гибкие шланги с крепёжной скобой или мощным (ниодимовым) магнитом (рисунок 4).



Рисунок 4 – Датчик ИП-268 с муфтой на основе ниодимового магнита

Для передачи сигнала от датчика используются информационные кабели, которые должны быть аккуратно уложены на тракторе, чтобы не создавать помех обслуживающему персоналу и обеспечивать надёжную связь между датчиком и измерительной информационной системой (ИИС).

При использовании такого типа датчика, среднее буксование $\bar{\delta}$, %, вычисляется по формуле

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - K_i \cdot \frac{I_s}{I_i} \right) \cdot 10^2, \quad (3)$$

где K_i – коэффициент i -го движителя, полученный при проезде трактора по отмеренному участку с ровным покрытием без нагрузки;

I_s – число импульсов датчика пройденного пути, ед;

I_i – число импульсов датчика i -го ведущего колеса, ед.

Для передачи сигнала от датчика используются информационные кабели, которые должны быть аккуратно уложены на тракторе, чтобы не создавать помех обслуживающему персоналу и обеспечивать надёжную связь между датчиком и измерительной информационной системой (ИИС).

Анализ различных источников показал, что за рубежом применяются датчики буксования для сельскохозяйственной техники с конструкцией аналогичной отечественным. В качестве устройства, считающего обороты движителя, применяются различные энкодеры или пьезоэлектрические датчики. Зарубежным датчикам буксования присущи те же недостатки, что и отечественным – необходимость неподвижного закрепления корпуса датчика, прокладка информационных кабелей.

Исходя из формулы (1) следует, что определение буксования сводится к вопросу определения угла положения ведущего колеса в реальном времени. Его можно получить с помощью новейшей технологии – инерциальной навигационной системы (ИНС).

Таким образом, если установить на диск ведущего колеса трактора датчик, включающий инерциальную навигационную систему, можно в любой момент времени получить данные о положении колеса в 3-х мерном про-

странстве и скорость его вращения вокруг оси [12-16]. Система координат, описывающая положение тела в пространстве получила название связанная система координат и описывается тремя углами – крен, тангаж и курс.

Для расчёта буксования необходимо знать текущее значение тангажа колеса, так как колесо вращается в вертикальной плоскости. Крен колеса может дать незначительную погрешность для расчёта, так как проекция колеса на вертикальную плоскость при отклонении от вертикального положения представляет собой не окружность, а овал. Но значение тангажа при любом значении крена отличном от 90° по вертикали будет всегда совпадать в 4-х точках при полном обороте колеса: 2-х вертикальных положениях и 2-х горизонтальных положениях. Учитывая также, что в нормальных условиях, колеса трактора имеют незначительное отклонение от вертикали, значением крена можно пренебречь.

Благодаря современному уровню развития технологий изготовления микросхем, устройства инерциальной навигации (акселерометр, гироскоп и магнетометр) komponуются в одной микросхеме, которая получила название микроэлектромеханическое устройство.

Акселерометр, гироскоп и магнетометр по отдельности не дают полного набора данных, по которым можно определить ориентацию тела в пространстве, но если данные использовать вместе, то можно добиться высокой точности. Для обработки данных от акселерометра, гироскопа и магнетометра применяется специализированный цифровой фильтр – фильтр ориентации.

Существует множество вариантов реализации фильтров ориентации, основанных на различных алгоритмах. Они отличаются ресурсоёмкостью, необходимостью (или нет) задания начальных параметров системы, точностью и скоростью определения ориентации [17 - 22]. По результатам исследований [15, 23 - 25] наиболее оптимальным алгоритмом фильтра ориентации для инерциального датчика буксования принят фильтр Мэджвика на основе метода «градиентного спуска» для нахождения локальных экстремумов целевой функции.

Выходным результатом работы фильтра ориентации является кватернион – комплексное число, описывающее изменение положения тела в пространстве [11].

Угол, определяющий поворот ведущего колеса вокруг ступицы - тангаж. Тангаж $\theta, ^\circ$ вычисляется по формуле

$$\theta = \arcsin(-2 \cdot (q_1 \cdot q_3 - q_0 \cdot q_2)), \quad (4)$$

где q_0, q_1, q_2, q_3 – нормированные значения компонентов кватерниона.

Таким образом, буксование ведущего колеса $\delta_{\text{в.к.}}, \%$ с использованием системы инерциальной навигации рассчитывается по формуле

$$\delta_{\text{в.к.}} = \left(1 - \frac{\theta'}{\theta} \right) \cdot 10^2, \quad (5)$$

где θ' – значение тангажа на колесе без нагрузки, $^\circ$;

θ – значение тангажа на колесе под нагрузкой, $^\circ$.

2 Конструкция опытного образца инерциального датчика буксования

Основным элементом системы определения буксования движителей является датчик изменения угла положения ведущих колёс. В рамках исследований разработан беспроводной инерциальный датчик угла поворота ведущего колеса ИП-291. На рисунке 5 представлена структурная схема датчика.

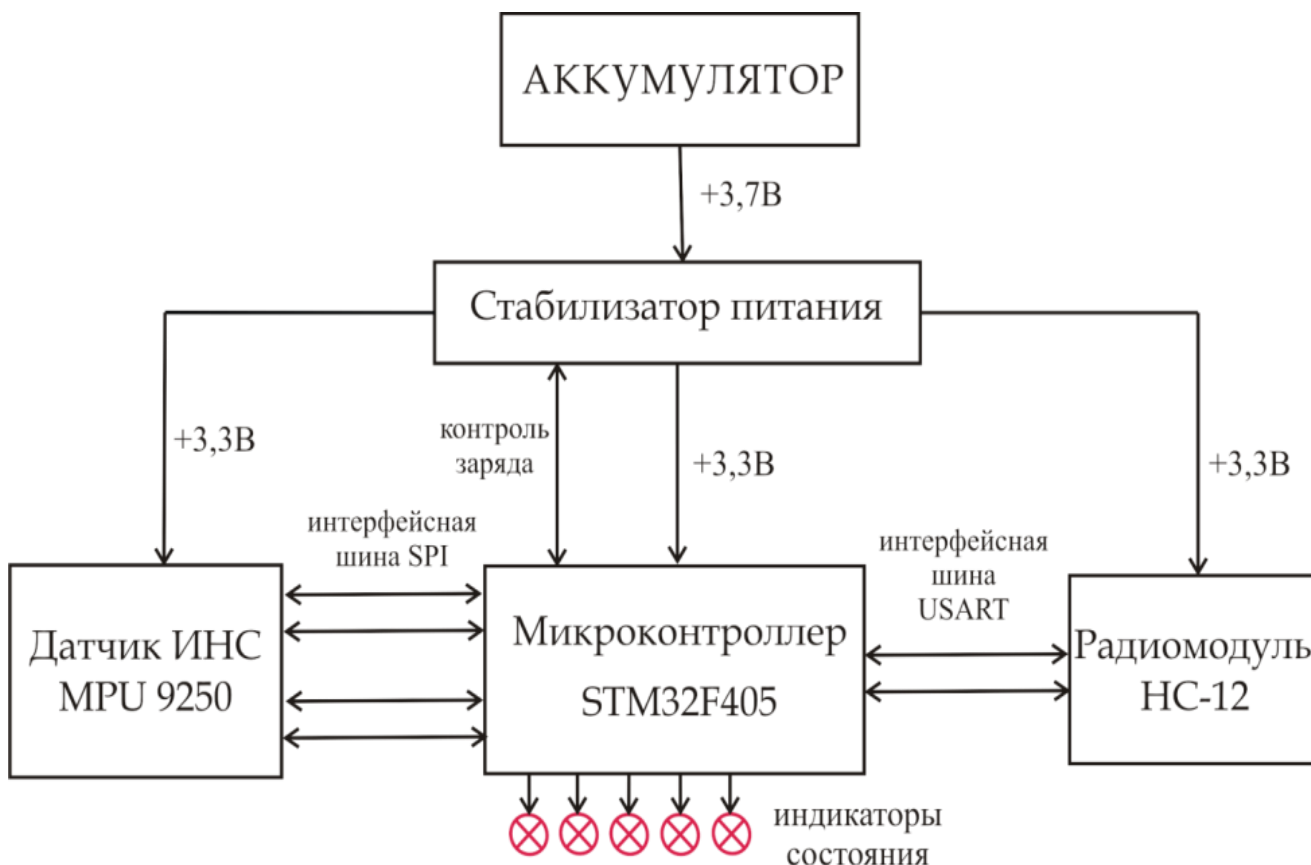


Рисунок 5 – Структурная схема инерциального датчика угла поворота ведущего колеса

Конструктивно инерциальный датчик положения ведущего колеса представляет собой пластиковую коробку размером 80×55×33 мм и массой 140 г (рисунок 6).



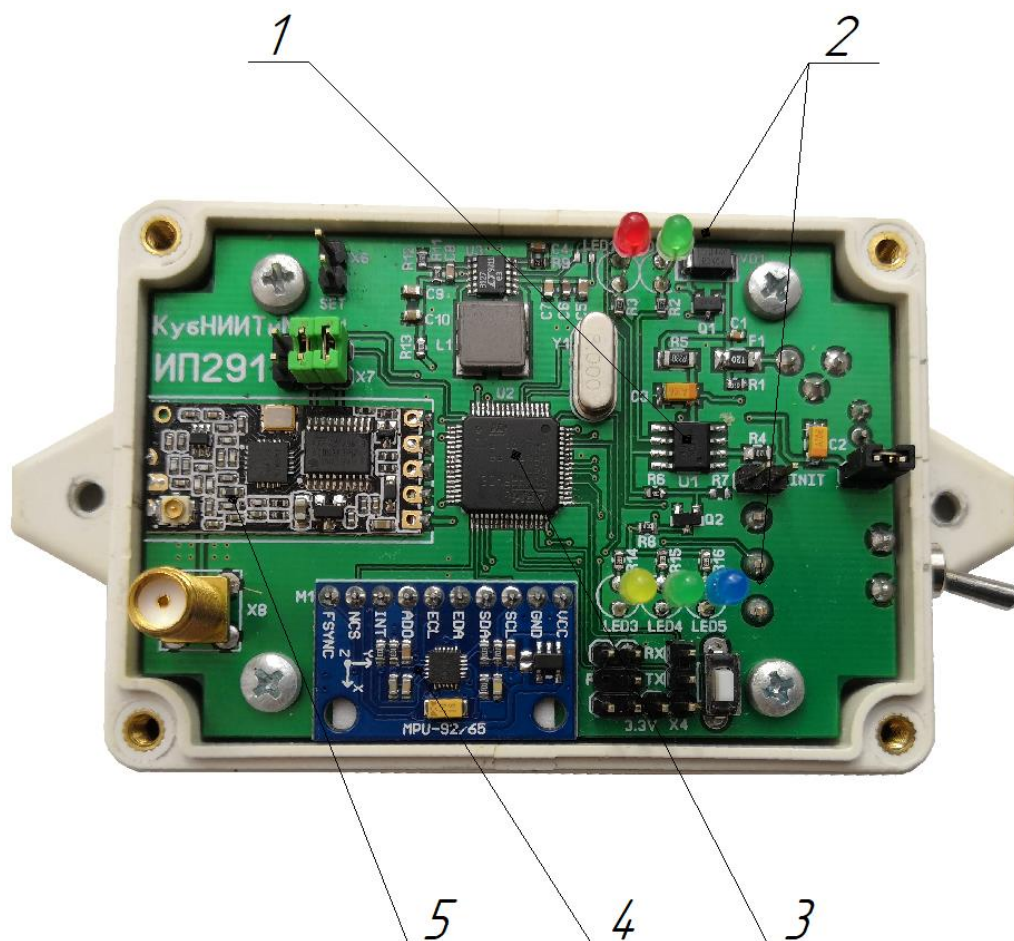
Рисунок 6 – Инерциальный датчик ИП-291

Внутри корпуса датчика находится плата с электронными компонентами и литий-полимерный аккумулятор. На плате установлены микроконтроллер STM32F405RG с элементами обвязки, модуль ИНС MPU-9250, модуль радиосвязи HC-12, система питания и пять информационных светодиодов (рисунок 7).

На корпусе датчика расположен выключатель и разъём питания. С лицевой стороны выведены светодиоды:

- включения датчика;
- подключения и обмена данными по радиосети;
- контроля уровня заряда аккумулятора;
- подключения внешнего питания;
- полного заряда аккумулятора.

Также выведен разъём для подключения съёмной внешней антенны.



- 1 – стабилизатор питания; 2 – светодиодные индикаторы;
 3 – микроконтроллер STM32F405RG; 4 - модуль микросхемы ИНС MPU-9250;
 5 – модуль радиосвязи HC-12

Рисунок 7 – Электронная плата датчика ИП-291

В качестве основного измерительного устройства в датчике ИП-291 применена МЕМС-микросхема инерциальной навигации MPU-9250 [26]. Частота формирования исходных данных о положении в пространстве составляет 1000 Гц. Данные передаются в контроллер STM32F405RG по шине SPI на рабочей частоте 1 МГц [27, 28]. Для обработки данных в контроллере реализован алгоритм на основе метода градиентного спуска. Скорость вращения датчика и, соответственно, колеса определяется на основании изменения его положения в пространстве (изменение тангажа и крена).

Мгновенные значения углов по тангажу и крену и рассчитанная текущая частота вращения колеса передаются по беспроводному каналу связи

Wi-Fi на измерительную систему для расчёта коэффициента буксования. Данные передаются по протоколу DCON.

Краткая техническая характеристика датчика ИП-291 приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Краткая техническая характеристика инерциального датчик угла положения ведущего колеса ИП-291

Наименование параметра	Значение параметра
Максимальная частота вращения ведущего колеса, рад/с	20π
Диапазон измерения изменения угла, °	8
Точность определения тангажа, °	±1
Ёмкость внутренних счётчиков, ед	2 ³²
Точность определения длительности изменения угла, с	±0,001
Несущая частота радиоканала, МГц	433
Дальность устойчивой радиосвязи, м	300
Напряжение питания, В	5
Потребляемая мощность, Вт	2
Ёмкость встроенного Li-POL аккумулятора, мА·ч	2500
Длительность автономной работы при полном заряде аккумулятора, ч	8
Габаритные размеры, мм	
- длина	80
- ширина	55
- высота	33
Масса, г	140
Рабочий диапазон температур окружающей среды, °С	от 0 до +55

Встроенное программное обеспечение для датчиков ИП-291 разработано на языке «С» в среде «СооСоx» с использованием компилятора «gcc 6.00» для микроконтроллеров на ядре ARM.

Встроенное программное обеспечение инерциального датчика поворота выполняет следующие функции:

- обмен данными с модулем ИНС MPU-9250;
- расчёт углов положения датчика на основе метода градиентного спуска с частотой 1000 Гц;
- обмен данными через радиоканал с измерительной системой;
- контроль уровня заряда аккумулятора датчика.

Программа управления инерциальным датчиком ИП-291 зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности свидетельство № 2017663001 от 23.11.2017.

Команды протокола управления датчиком приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Команды протокола обмена датчика ИП-291

Наименование команды	Формат команды	Описание команды
Опрос	#AA0	Опрос счётчика интервалов тангажа
Специальная команда	&AAX0	X='H' – запрос целого количества заданных угловых интервалов тангажа от последнего успешного опроса; X='F' – запрос частоты следования заданных интервалов тангажа от последнего успешного опроса
Конфигурация	\$AA2	Запрос текущей конфигурации датчика
Установка	%AANNTTCCFF	Установка и запись в память новых параметров конфигурации датчика
Очистка	\$AAC0	Очистка значений счётчика интервалов тангажа
Версия	\$AAF	Запрос версии встроенной программы
Имя	\$AAM	Запрос имени модуля

У каждого датчика есть уникальный адрес с целью идентификации при работе в группе. В описании формата команды в таблице 2 - это AA (значения могут приниматься от '00' до '99').

В приложении А приведено руководство по эксплуатации разработанного датчика ИП-291.

На конструкцию датчика получен патент на полезную модель № 184333 (Приложение Б).

3 Экспериментальные исследования

3.1 Методика экспериментальных исследований

Для проверки заявленных характеристик инерциального датчика буксования ИП-291 в программу полевых исследований включены следующие этапы:

- оценка точности работы инерциального датчика на колесе трактора во время выполнения технологической операции;
- оценка эффективности работы радиоканала при подключении группы датчиков во время выполнения технологической операции.

Место проведения исследований – валидационный полигон Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ).

Для реализации поставленных в программе исследований задач необходимо разработать и изготовить:

- универсальный адаптер для фиксации датчика ИП-291 на колесе трактора диаметром до 600 мм;
- устройство приёма радиосигнала на частоте 433 МГц;
- специализированное программное обеспечение для оценки показателей инерциального датчика ИП-291 в сравнении с эталонным датчиком ИП-268;
- специализированное программное обеспечение для оценки качества передачи информации радиосвязи при одновременной работе группы датчиков ИП-291 в количестве 4 ед;
- оборудовать трактор инерциальными и эталонными датчиками ИП-291 и ИП-268 на одном колесе одновременно и провести измерения во время выполнения технологической операции;
- оборудовать ведущие колёса трактора 4-мя датчиками ИП-291 и провести измерения во время выполнения технологической операции.

3.2 Разработка универсального адаптера датчика ИП-291

Для проведения исследований точности датчика ИП-291 был разработан адаптер, позволяющий одновременно фиксировать на ведущем колесе трактора оба датчика – ИП-291 и ИП-268 (рисунок 8).



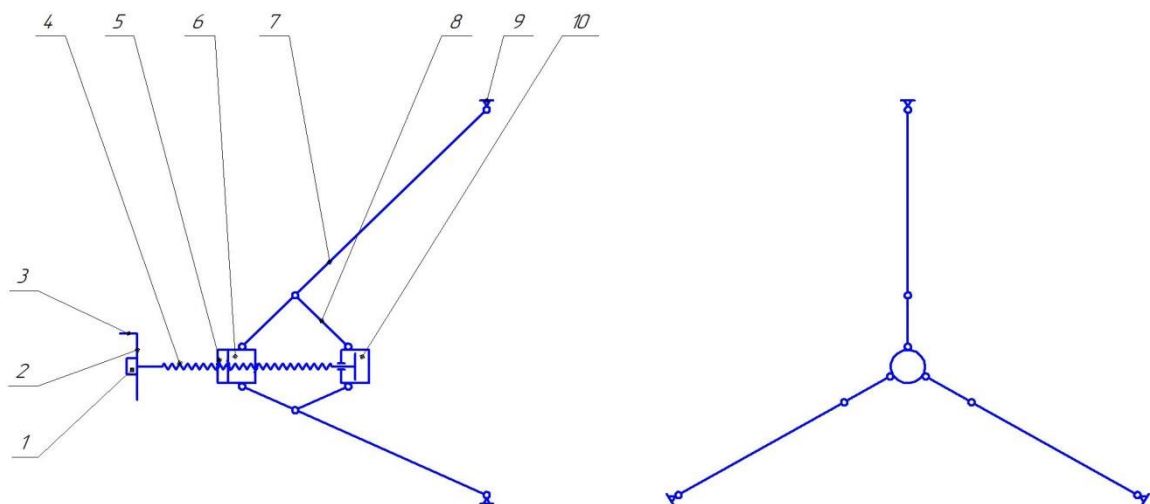
Рисунок 8 – Адаптер для одновременной установки ИП-291 и ИП-268

Для фиксации инерциального датчика ИП-291 на различные типы колёс трактора разработан универсальный адаптер (рисунок 9).



Рисунок 9 – Универсальный адаптер датчика ИП-291

Универсальный адаптер предназначен для установки инерциального датчика угла поворота ИП-291 на колесо трактора с возможностью самоцентрирования относительно оси вращения колеса (рисунок 10). При этом датчик 1 закрепляется винтами на платформе 2, жестко закрепленной на винте 4. Вращая винт посредством рукоятки 3, перемещаем каретку 6 на которой, одним концом шарнирно закреплены три стержня 7, расположенные под углом 120° друг относительно друга и имеющие на другом конце подвижные опоры 9. Стержни начинают расходиться вследствие воздействия на них шарнирно закрепленных рычагов 8, упирающихся в подпятник 10. Таким образом, перемещая каретку в осевом направлении к подпятнику, производится разведение стержней до момента устойчивого положения опор на диске трактора. После достижения надежной фиксации адаптера фиксируется стопорная гайка 5 для предотвращения самопроизвольного проворачивания винта.



1 — датчик угла поворота; 2 — платформа; 3 — рукоятка; 4 — винт;
 5 — гайка стопорная; 6 — каретка; 7 — стержень;
 8 — рычаг; 9 — опора; 10 — подпятник.

Рисунок 10 – Схема универсального адаптера

3.3 Разработка системы беспроводной связи

Количество установленных датчиков угла поворота ведущих колёс зависит от колесной формулы трактора. Поэтому модуль беспроводной связи ИИС должен обеспечивать надёжное подключение к каждому датчику вне зависимости от типа ведущего колеса, на котором он установлен, а для обеспечения устойчивой связи модуль имеет возможность подключения внешней выносной антенны. Кроме того, модуль связи играет роль информационного узла для всей системы – каждый функциональный модуль подключается к системе через модуль связи по интерфейсу RS485. Также модуль должен обеспечивать как беспроводное, так и проводное подключение управляющего компьютера к измерительной информационной системе по шине USB. Структурная схема модуля приведена на рисунке 11.

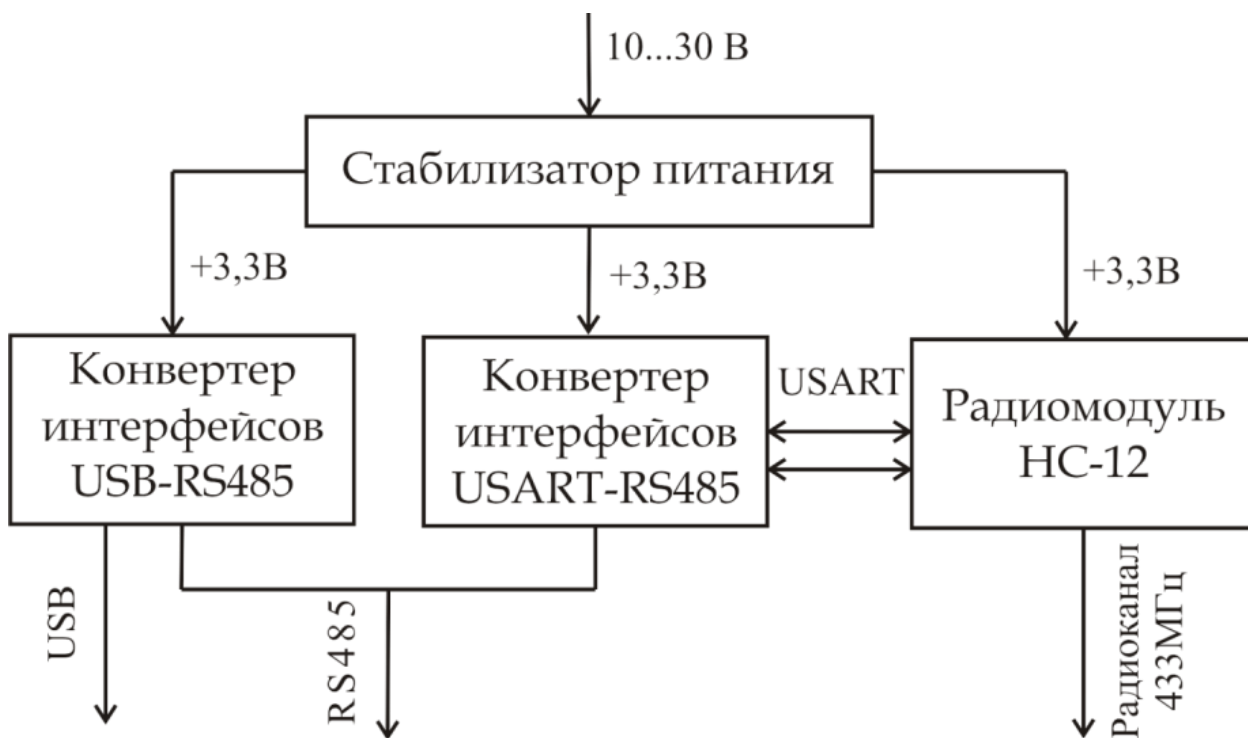


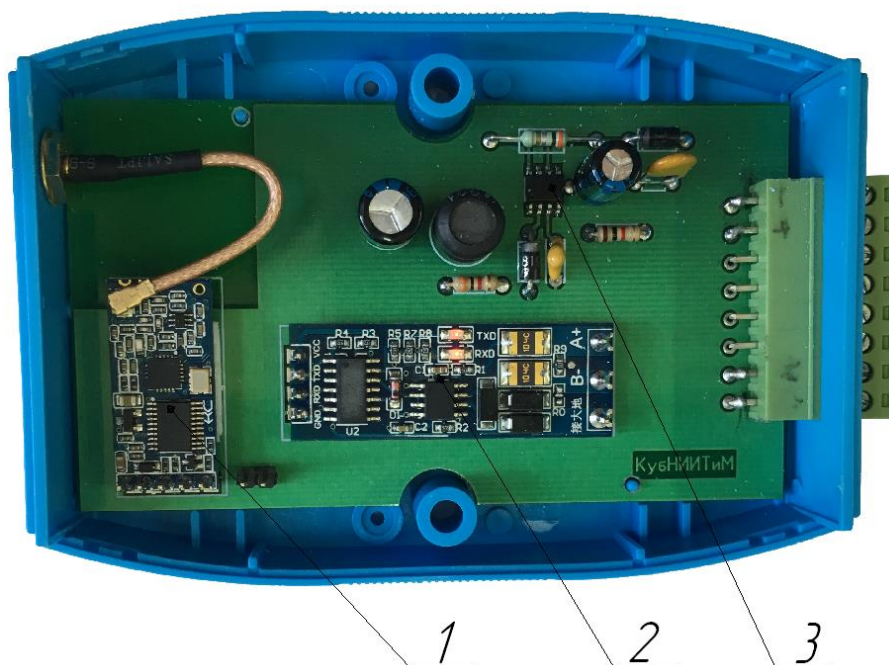
Рисунок 11 – Структурная схема модуля беспроводной связи

Для организации беспроводной связи с инерциальными датчиками угла поворота ведущих колёс со стороны измерительной системы разработан модуль беспроводной связи ИП-294 (рисунок 12).



Рисунок 12 – Модуль беспроводной связи ИП-294

В состав модуля входят стабилизатор питания, модуль радиосвязи НС-12, преобразователь интерфейсов RS485-USB (рисунок 13). Модуль выполнен в стандартном корпусе для измерительных приборов с возможностью установки на DIN-рейку.



1 – модуль радиосвязи НС-12; 2 – преобразователь интерфейсов RS485-USB;
3 – стабилизатор питания

Рисунок 13 – Устройство модуля беспроводной связи:

Краткая техническая характеристика модуля беспроводной связи приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Краткая характеристика модуля беспроводной связи ИП-294

Показатели	Значение
Проводные интерфейсы связи	RS485 USB
Несущая частота радиоканала, МГц	433
Дальность устойчивой радиосвязи с выносной антенной, м	1000
Напряжение питания, В	10...30
Потребляемая мощность, Вт	5
Рабочий диапазон температур окружающей среды, °С	0...+55
Габаритные размеры, мм	120×70×35
Масса, г	130

Для подключения управляющего компьютера к измерительной системе, которая находится на тракторе, по радиоканалу разработан мобильный модуль радиосвязи ИП-295 (рисунок 14).



Рисунок 14 – Портативный радиомодуль ИП-295

Модуль подключается к компьютеру через стандартный интерфейс USB и не требует дополнительного источника питания. Дальность, которую обеспечивает модуль, достаточна для оборудования стационарного пункта получения и контроля показателей эффективности трактора на расстоянии 1 км.

3.4 Программное обеспечение полевых исследований

Для организации приёма данных от датчиков, расчёта буксования и демонстрации показателей в реальном режиме времени разработано специализированное программное обеспечение (рисунки 15, 16).

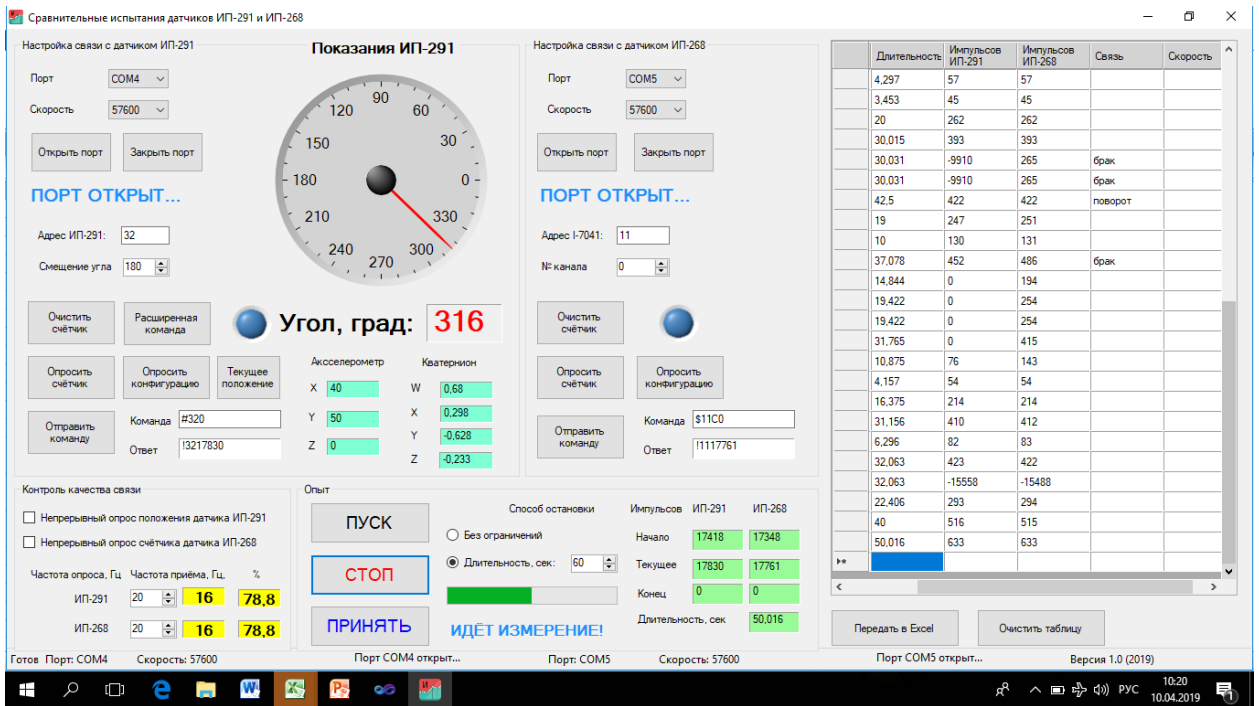


Рисунок 15 – Компьютерная программа для определения точности ИП-291

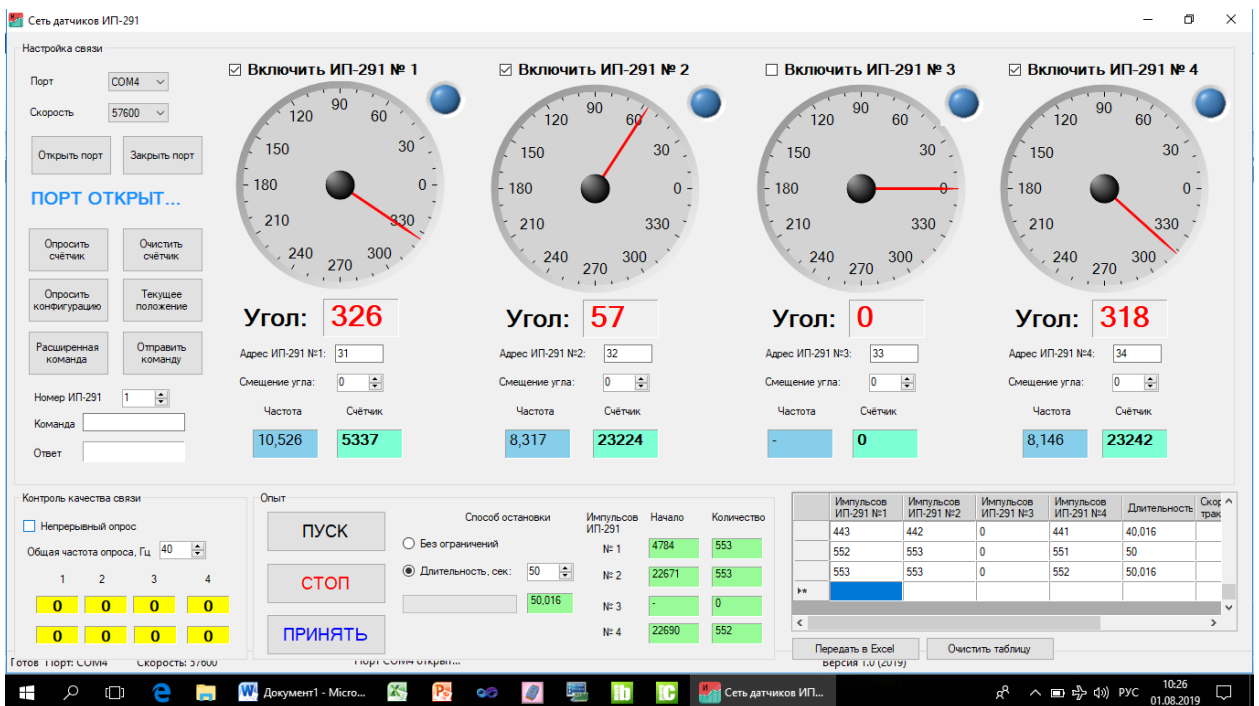


Рисунок 16 – Компьютерная программа для оценки работы группы датчиков ИП-291

Программы написаны в среде Visual Studio 2010 и функционируют в операционных системах Windows 7/10.

4 Результаты экспериментальных исследований

4.1 Результаты оценки точности датчика ИП-291 в полевых условиях

Исследования точности инерциального датчика ИП-291 были проведены на валидационном полигоне КубНИИТиМ. В качестве эталона для сравнения был взят стандартный датчик ИП-268. Оба датчика устанавливались на колесо трактора К-744 (рисунок 17). Датчик ИП-268 подключался к измерительной системе ИП-264, а датчик ИП-291 – по беспроводной связи через модуль ИП-295 напрямую к ноутбуку. На датчик ИП-268 установлен счётный диск с 20-ю прорезями через 18° , соответственно датчик ИП-291 настроен на подсчёт диапазонов величиной 18° .



Рисунок 17 – Датчики ИП-291 и ИП-268 на колесе трактора К-744

Трактор К-744, оборудованный датчиками ИП-291 и ИП-268, осуществлял предпосевную культивацию (рисунок 18).



Рисунок 18 – Трактор К-744 на испытании датчика ИП-291

В таблице 4 приведены результаты полевых исследований точности датчика ИП-291.

Таблица 4 – Результаты полевых исследований точности ИП-291

Номер опыта	Длительность, с	Количество импульсов		Погрешность		Пройденный путь, м
		ИП-291, ед	ИП-268, ед	абсолютная, ед	относительная, %	
1	2,72	36	36	0	0	13,60
2	6,11	80	81	1	1	30,55
3	10,11	133	134	1	1	50,55
4	23,72	313	313	0	0	118,60
5	44,25	583	583	0	0	221,25
6	24,17	315	319	4	1	120,86
7	33,22	267	267	0	0	166,10
8	183,50	2402	2402	0	0	917,50
9	31,56	347	347	0	0	157,82
10	16,77	222	222	0	0	83,83
11	2,97	39	39	0	0	14,85
12	4,30	57	57	0	0	21,49
13	3,45	45	45	0	0	17,27
14	20,00	262	262	0	0	100,00
15	30,02	393	393	0	0	150,08
16	42,50	422	422	0	0	212,50
17	19,00	249	251	2	1	95,00
18	10,00	130	131	1	1	50,00
19	4,16	54	54	0	0	20,79
20	16,38	214	214	0	0	81,88
21	31,16	410	412	2	0	155,78
22	6,30	82	83	1	1	31,48
23	32,06	423	422	-1	0	160,32
24	22,41	293	294	1	0	112,03
25	40,00	516	515	-1	0	200,00
26	50,02	633	633	0	0	250,08
27	60,02	784	784	0	0	300,08
28	5,52	72	72	0	0	27,58
29	26,70	285	285	0	0	133,52
30	3,59	48	48	0	0	17,97
31	80,02	1054	1054	0	0	400,08
32	90,00	1174	1176	2	0	450,00
33	5,031	66	67	1	1	25,155
34	20,00	263	264	1	0	100,00
35	35,72	472	472	0	0	178,60
36	50,00	648	647	-1	0	250,00
37	221,42	2916	2915	-1	0	1107,11
38	126,58	1658	1658	0	0	632,89
39	100,74	1313	1315	2	0	503,68

Результаты испытаний показали высокую точность датчика ИП-291. Максимальный разброс показаний ИП-291 составил 4 ед. в сравнении с базовым ИП-268 или $4 \times 18^\circ = 72^\circ$ поворота колеса на расстоянии 120,86 м. Величина относительной погрешности во всех опытах не превысила 1 %.

4.2 Результаты эффективности работы группы датчиков ИП-291 в полевых условиях

Трактор К-701 был оборудован четырьмя датчиками ИП-291 (рисунок 19), ноутбуком с модулем беспроводной связи ИП-295 и установленным специализированным программным обеспечением.



Рисунок 19 – Датчик ИП-291 с адаптером на тракторе К-701

Результаты проведения опыта приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты оценки эффективности работы группы датчиков ИП-291

Число импульсов датчиков				Длительность опыта, с	Качество связи, %
ИП-291 №1	ИП-291 №2	ИП-291 №3	ИП-291 №4		
727	727	728	728	67,34	95
574	575	575	576	52,03	100
223	223	217	216	20,02	94
221	221	219	219	20,02	95
311	311	313	313	30,03	99
331	330	331	332	30,02	95
441	441	440	440	40,01	95
442	442	442	441	40,00	92
552	552	552	551	50,00	97
661	662	662	662	60,02	95
660	660	660	660	60,02	99
219	219	219	219	20,00	96
219	219	220	219	20,02	93
663	664	663	662	60,02	94
662	661	663	664	60,02	95
662	663	662	662	60,02	91
2565	2565	2564	2565	232,02	92
2638	2639	2639	2639	239,06	94
218	220	216	215	20,00	91
221	221	218	218	20,00	95
220	220	220	219	20,02	96
331	332	327	326	30,02	95
330	331	331	331	30,02	95
292	292	291	290	26,34	94
442	442	444	444	40,03	100
443	442	441	441	40,02	99
552	553	552	551	50,00	98
553	553	552	552	50,02	98
1105	1108	1108	1107	100,00	96
1105	1108	1108	1106	100,00	96
330	330	326	326	30,02	92
328	329	329	329	30,00	91
440	441	440	440	40,00	95
1172	1172	1173	1173	106,22	93

Качество связи K , % определяется по формуле

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{O_i}{M_i} \cdot 10^2 \quad (6)$$

где O_i – число ответов i -го датчика ИП-291, ед;

M_i – число запросов, отправленных i -му датчику ИП-291, ед.

n – число датчиков, шт.

При проведении опыта частота отправки запросов на один датчик ИП-291 составила 10 Гц.

Как видно из таблицы 5 максимальная разница между показаниями датчиков составила 4 импульса, что соответствует разнице угла поворота колёс $4 \times 18 = 72^\circ$. Это меньше четверти оборота колеса. Разница показаний объясняется тем, что несмотря на одно направление движения трактора, колёса двигаются по индивидуальным траекториям, копируя различный микрорельеф и имеют отличающийся друг от друга динамический радиус.

Качество связи по всем датчикам составило, минимум, 93% при длительности опыта 106,22 с. Это означает, что при числе запросов от управляющей системы $M_i = 4 \times 10 \times 106,22 = 4249$ ед., получено ответов $O_i = 93/100 \times 4249 = 3952$ ед. или $3952 / 4 / 106,22 = 9,3$ ед/с. на 1 датчик, что более чем достаточно для комфортного определения буксования в реальном режиме времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения НИР проанализированы современные методы и технические средства для определения буксования мобильных энергосредств. Выделены их главные недостатки: необходимость установки дополнительных фиксирующих устройств между датчиком угла положения и трактором, а также прокладка длинных информационных кабелей от каждого двигателя к измерительной информационной системе. Теоретически обоснована возможность использования принципов инерциальной навигации для определения изменения угла вращения ведущего колеса мобильного энергосредства в реальном режиме времени с целью оценки буксования.

В результате выполнения НИР:

- разработаны и изготовлены опытные образцы инерциального датчика буксования ИП-291, включающий в себя:
 - модуль ИНС MPU-9250;
 - микропроцессор STM32F405RG;
 - литий-полимерный аккумулятор;
 - систему контроля заряда аккумулятора;
 - систему беспроводной передачи данных на базе модуля HC-12;
 - контрольные светодиоды: включения датчика, подключения к беспроводной сети, уровня заряда аккумулятора, заряда от внешнего источника и полного заряда аккумулятора.
- разработана программа и методика полевых испытаний датчика;
- проведены полевые испытания датчика ИП-291;
- разработана конструкторская документация на датчик ИП-291 (приложение В);
- разработана эксплуатационная документация на датчик ИП-291 (приложение А).

По результатам полевых исследований установлено, что погрешность датчика не превышает 1%, выбранный метод беспроводной связи позволяет передавать достаточный объём информации от 4-х датчиков по радиоканалу в режиме реального времени.

Для датчика угла положения ведущего колеса ИП-291 разработано программное обеспечение на языке «С», реализующее алгоритм фильтра ориентации на базе метода градиентного спуска, передачу кватернионов по запросу от внешнего устройства, контроль подключения к беспроводной сети и контроль уровня заряда аккумулятора.

КубНИИТиМ рекомендует:

- доработать программу «Исследователь» с целью добавления функционала по подключению датчиков ИП-291 и расчёта буксования на основе их данных и данных датчика пройденного пути GPS/ГЛОНАСС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 30745–2001 Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 12 с.
2. ГОСТ 7057-2001 Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.
3. ГОСТ Р 52777-2007 Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М.: Стандартинформ, 2008. – 8 с.
4. Постановление Правительства РФ от 01.08.2016 № 740 «Об определении функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования» – Собрание законодательства РФ. – 2016. – Ст. 5120.
5. Таран Д. А., Таран А. Д. Устройство для определения буксования колёсных тракторов с одной ведущей осью // Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований : Материалы междунар. науч.-прак. конф./ – Казань: Издательство ООО «АТЭРНА», 2017. – С. 56 – 58.
6. Лопарев А. А., Комкин А. С. Исследование буксования ведущих колес трактора в транспортно-технологическом сельскохозяйственном агрегате // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : Материалы 9-й междунар. науч.-прак. конф. «Наука – Технология – Ресурсосбережение.» / – Киров: Издательство Вятская ГСХА, 2016. С. – 158–161.
7. Кузнецов Н.Г., Гапич Д.С., Ширяева Е.В. К вопросу об определении допустимого коэффициента буксования полноприводного колесного трактора // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2 (34). – С. 176-179.
8. Горшков Ю. Г., Четыркин Ю. Б., Калугин А. А. Регистрирующий комплекс для исследования буксования и КПД дифференциала и движителя колесной машины // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 11. – С. 13-15.

9. Венглинский А.М. Контроль буксования колесных тракторов МТЗ при возделывании сельскохозяйственных культур // Улучшение эксплуатационных показателей с.-х. энергетики : Материалы IV междунар. науч.-практ. конф. «Наука – технология – ресурсосбережение». / – Киров: Издательство Вятская ГСХА, 2011. – С. 10–12.

10. Видикер А.А., Бережнов Н.Н. Адаптация аппаратных средств измерительно-информационного комплекса для проведения контрольного динамометрирования энергонасыщенных МТА : материалы VIII региональной науч.-практ. конф. студентов и аспирантов, посвящённой 80-летию НГАУ-НСХИ (10-11 ноября 2016 г.). / – Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2016. – С. 52-58.

11. Куликов Н.К. Элементы динамики процесса буксования трактора // Машиностроение: Изв. вузов. – 1961. – № 2. – С. 111-118.

12. Akos, Vinko Wheel sleep detection by using wheel-mounted inertial sensor // 31th Danubia-Adria Symposium: Kempten University, 2014.

13. Трубицын В.Н., Таркинский В.Е. Инерциальный метод определения буксования мобильных энергосредств // Сб. науч. тр. по итогам Международного молодёжного аграрного форума «Аграрная наука в инновационном развитии АПК». – Белгород: ФГБОУ ВО «БелГАУ», 2018. С. 21-25.

14. Исследование и разработка интеллектуальных систем оценки потребительских свойств сельскохозяйственной техники: отчёт о НИР: 08-2018 / ФГБНУ «Росинформагротех»; рук. Таркинский В.Е.; исполн.: Н.В. Трубицын, Е.С. Воронин и др. – Новокубанск, 2018. – № ГР АААА-А18-118040990077-0.

15. Федоренко В.Ф. Мишуров Н.П., Трубицын Н.В., Таркинский В.Е. Применение инерциальной навигации для определения буксования сельскохозяйственных тракторов // Вестник Мордовского университета. –2018. – Т. 28. – Вып. 1. – С. 8-23.

16. Трубицын Н.В., Таркинский В.Е. Беспроводные технологии при определении потребительских свойств сельскохозяйственной техники //

Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : сб. науч. тр. по итогам IX междунар. науч.-практ. конф. «ИнформАгро-2017». – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – С. 321-324.

17. Frogerais, P., Bellanger, J.-J., Senhadji, L. Various ways to compute the continuous-discrete extended Kalman filter // IEEE Trans. Automat. Control. 2012. Vol. 57, No. 4. P. 1000– 1004.

18. Конаков А.С., Шаврин В.В., Тисленко В.И., Савин А.А. Сравнительный анализ среднеквадратической погрешности определения координат объекта в бесплатформенной инерциальной навигационной системе при использовании различных алгоритмов нелинейной фильтрации // Доклад Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 1. – С. 5-9.

19. Конвей Дж. Х, Смит Д. А. О кватернионах и октавах, об их геометрии, арифметике и симметриях. М.: МЦНМО, 2009.– 184 с.

20. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, – 1973. – 320 с.

21. Кудрявцева И.А. Анализ эффективности расширенного фильтра Калмана, сигма-точечного фильтра Калмана и сигма-точечного фильтра частиц // Научный вестник Московского гос. техн. ун-та гражданской авиации. – М.: МГТУ ГА, 2016. – № 224 (2). – С. 43-51.

22. Куликова М.В., Куликов Г.Ю. Численные методы нелинейной фильтрации для обработки сигналов и измерений // Вычислительные технологии. – 2016. – № 4. – С. 64-98.

23. Sebastian O.H. Madgwick An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays [Электронный ресурс]. [URL:http://x-io.co.uk/res/doc/madgwick_internal_report.pdf](http://x-io.co.uk/res/doc/madgwick_internal_report.pdf)

24. Федоров Д.С., Ивойлов А.Ю., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Разработка системы стабилизации угла отклонения балансирующего робота // Автоматика и программная инженерия. – 2015. – № 2 (12).– С. 16-34.

25. Кузнецов А. В., Павловский А.М. Повышение точности инерциального измерительного модуля на MEMS-датчиках // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2015. – № 50 (2). – С. 5-11.

26. MPU-9250. Product Specification. Revision 1.1. [Электронный ресурс]. URL:<https://www.invensense.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/>

27. Вальпа О.Г. Современные микроконтроллеры с 32-разрядной ARM-архитектурой // Современная электроника. – 2008. – № 1. – С. 11-17.

28. Трубицын Н.В., Таркинский В.Е. Современные микропроцессорные средства измерений для испытаний сельскохозяйственной техники // Электротехнологии, оптические излучения и электрооборудование в АПК : сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф./ – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2016. – С. 122-127.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Инерциальный датчик угла поворота ведущего колеса
ИП-291

Руководство по эксплуатации

ИП-291 РЭ

Новокубанск 2019

Настоящее руководство по эксплуатации предназначено для ознакомления обслуживающего персонала с устройством, принципом действия, конструкцией, работой и техническим обслуживанием инерциального датчика угла поворота ведущего колеса ИП-291.

Руководство по эксплуатации распространяется на оригинальный датчик ИП-291, выполненный по техническим условиям предприятия-изготовителя.

А.1 Описание и работа

А.1.1 Назначение изделия

Инерциальный датчик угла поворота ведущего колеса ИП-291 предназначен для непрерывного определения угла поворота движителя энергосредства в составе измерительной системы. ИП-291 может эксплуатироваться в различных климатических зонах, в установленных температурных пределах, когда нет воздействия внешних атмосферных осадков.

А.1.2 Технические характеристики

Основные технические характеристики инерциального датчика угла поворота ведущего колеса ИП-291 приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Технические характеристики

Наименование параметра	Значение параметра
Максимальная частота вращения ведущего колеса, рад/с	20π
Диапазон измерения изменения угла, °	8
Точность определения тангажа, °	±1
Ёмкость внутренних счётчиков, ед	2 ³²
Точность определения длительности изменения угла, с	±0,001
Несущая частота радиоканала, МГц	433
Дальность устойчивой радиосвязи, м	300
Напряжение питания, В	5
Потребляемая мощность, Вт	2
Ёмкость встроенного Li-POL аккумулятора, мА·ч	2500
Длительность автономной работы при полном заряде аккумулятора, ч	8
Габаритные размеры, мм	
- длина	80
- ширина	55
- высота	33
Масса, г	140
Рабочий диапазон температур окружающей среды, °С	от 0 до +55

А.1.3 Комплектность

Комплектность поставки инерциального датчика угла поворота ведущего колеса ИП-291 приведена в таблице А.2.

Таблица А.2 - Комплектность поставки

Обозначение	Наименование	Количество	Примечание
ИП-291	Инерциальный датчик	1	-
	Блок питания	1	-
ИП-291 ПС	Паспорт	1	-
ИП-291 РЭ	Руководство по эксплуатации	1	-

А.1.4 Устройство и работа инерциального датчика угла поворота ведущего колеса ИП-291

А.1.4.1 Инерциальный датчик ИП-291 состоит из корпуса и крышки (рисунок А.1). Внутри корпуса датчика находится плата с электронными компонентами и литий-ионный аккумулятор (не показана на рисунке). На плате установлены микроконтроллер STM32F405RG с элементами обвязки, модуль ИНС MPU-9250, модуль радиосвязи HC-12, система стабилизации питания и зарядки аккумулятора и 5 информационных светодиодов. Светодиоды (рисунок А.1) делятся на светодиоды работы (слева) и светодиоды обслуживания (справа).

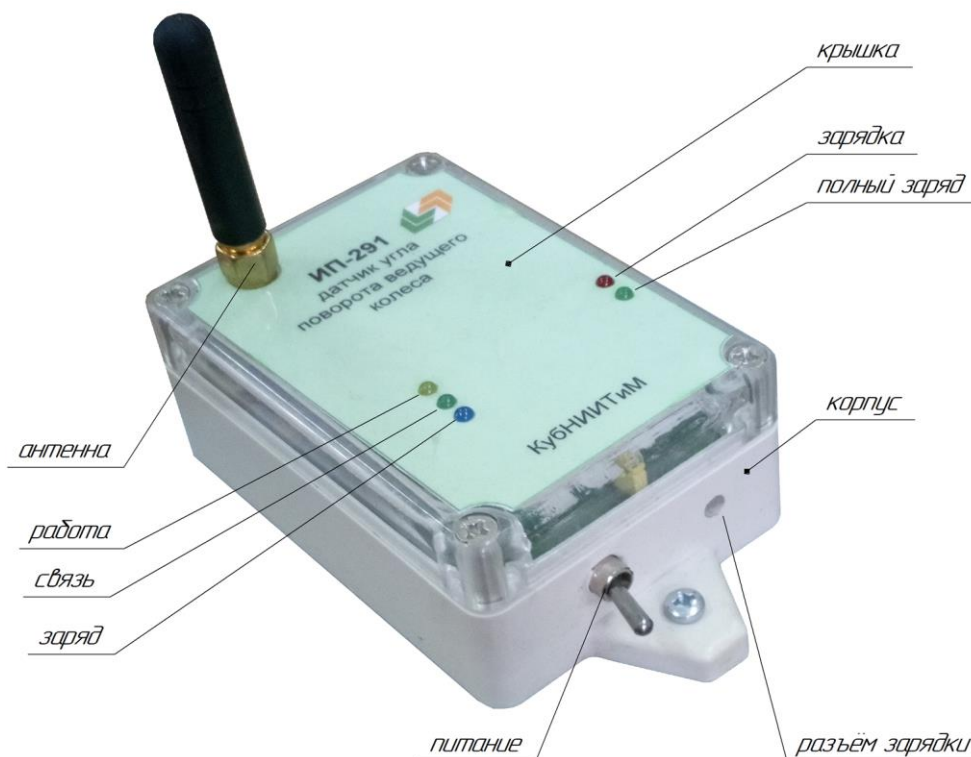


Рисунок А.1 — Внешний вид инерциального датчика угла поворота ведущего колеса ИП-291

Светодиоды работы:

- желтый «работа» - информирует о том, что датчик включен, загорается сразу после включения тумблера «питание» и горит до выключения датчика;
- зеленый «связь» - информирует о наличии связи с регистрирующим блоком, загорается после включения датчика и горит при наличии связи с блоком, если связи нет - тухнет через 5 секунд после включения датчика;
- синий «заряд» - информирует о разрядке аккумуляторной батареи, загорается и начинает мерцать когда заряд батареи менее 30 % от максимального значения, по мере уменьшения заряда интенсивность мерцания возрастает, перестает мерцать и светится постоянно когда заряд батареи близок к нулю;

Светодиоды обслуживания:

- красный «зарядка» - информирует об идущем процессе заряда аккумулятора, начинает светиться после соединения датчика с блоком питания и тухнет после полной зарядки аккумулятора;
- зеленый «полный заряд» - информирует о полной зарядке

аккумулятора, загорается после того как погаснет светодиод «зарядка» и светится до отключения датчика от блока питания.

На боковой стороне корпуса имеются отверстия для тумблера питания и разъема зарядки аккумуляторной батареи. В нижней части корпуса выполнены ушки с отверстиями для крепления датчика на промежуточную опору.

А.1.4.2 Работа инерциального датчика ИП-291 заключается в том что, МЕМС-микросхема MPU-9250 формирует исходные данные о положении в пространстве с частотой 1000 Гц. Данные передаются в контроллер STM32F405 по шине SPI на рабочей частоте 1МГц. Для обработки данных в контроллере реализован алгоритм на основе метода градиентного спуска. Скорость вращения датчика и, соответственно, колеса определяется на основании изменения его положения в пространстве – изменении тангажа и крена

Обмен данными с управляющей системой осуществляется по беспроводному каналу связи на частоте 433 МГц. Команды и ответы приведены в таблице А.3.

Таблица А.3 – Команды датчика ИП-291

Наименование команды	Формат команды	Описание команды
Опрос	#AA0	Опрос счётчика интервалов тангажа
Специальная команда	&AAX0	X='H' – запрос целого количества заданных угловых интервалов тангажа от последнего успешного опроса; X='F' – запрос частоты следования заданных интервалов тангажа от последнего успешного опроса
Конфигурация	\$AA2	Запрос текущей конфигурации датчика
Установка	%AANNTTCCFF	Установка и запись в память новых параметров конфигурации датчика
Очистка	\$AAC0	Очистка значений счётчика интервалов тангажа
Версия	\$AAF	Запрос версии встроенной программы
Имя	\$AAM	Запрос имени модуля

А.2 Использование по назначению

А.2.1 Эксплуатационные ограничения

А.2.1.1 Эксплуатация ИП-291 не создает опасности для обслуживающего персонала.

А.2.1.2 Инерциальный датчик ИП-291 эксплуатируется в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха, от 0 °С до плюс 55 °С;
- относительная влажность воздуха, от 30 % до 80 % ;
- атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.), – от 84 до 106,7 кПа (от 630 до 795 мм рт. ст.);
- атмосферные осадки недопустимы.

А.2.1.3 Подготовка инерциального датчика угла поворота ведущего колеса ИП-291 к использованию

А.2.1.4 Лица, занятые в опыте по определению буксования, должны быть ознакомлены с принципом работы, конструкцией и с эксплуатацией инерциального датчика угла поворота ведущего колеса ИП-291 и пройти инструктаж по технике безопасности на рабочем месте с соответствующей записью в регистрационном журнале.

А.2.1.5 Ответственность за выполнение мер безопасности возлагается на руководителя испытаний.

А.2.1.6 Перед началом работы с инерциальным датчиком ИП-291 необходимо:

- произвести внешний осмотр и убедиться в отсутствии механических повреждений на корпусе изделия;
- убедиться в наличии заряда аккумулятора датчика;
- установить ИП-291 на колесо трактора как можно ближе к оси вращения колеса;
- включить питание инерциального датчика ИП-291;
- проверить наличие связи ИП-291 с регистрирующим блоком.

А.2.2 Использование инерциального датчика угла поворота ведущего колеса ИП-291

А.2.2.1 Для уменьшения погрешности измерения угла поворота ведущего колеса, инерциальный датчик ИП-291 следует крепить как можно ближе к оси вращения колеса. Идеальным является положение при котором центр корпуса датчика совпадает с осью вращения колеса. Достичь такого положения датчика возможно в том числе с использованием универсального адаптера разработанного в КубНИИТиМ для крепления приборов на колеса трактора.

А.2.2.2 Инерциальный датчик угла поворота ведущего колеса ИП-291 является автономным и его взаимодействие с измерительной системой осуществляется по принципу «запрос-ответ». Измерительная система отправляет на датчик команды в соответствии с таблицей А.3 и обрабатывает ответ в соответствии с алгоритмом программы. После перевода тумблера «питание» (рисунок А.1) на инерциальном датчике в положение «Вкл» загорятся два светодиода - оранжевый «работа» и зеленый «связь». Это сигнализирует о том, что датчик включен и готов к обмену данными с управляющей системой. Дальнейшие функции датчика определяются только характером команд, поступающих от измерительной системы.

А.2.2.3 В процессе работы датчика ИП-291 мерцание синего светодиода «заряд» означает уменьшение величины заряда аккумулятора датчика. Интенсивность мерцания светодиода с течением времени изменяется от медленного до частого и перехода в режим постоянного свечения. Начальный режим мерцания соответствует заряду аккумулятора обеспечивающего работу датчика в течении не более чем 2 часов. Момент начала постоянного свечения светодиода соответствует заряду аккумулятора обеспечивающего работу датчика в течении не более 10 минут.

А.3 Техническое обслуживание

А.3.1 По техническому обслуживанию проводятся работы с целью обеспечения нормальной работы и сохранения параметров и характеристик инерциального датчика угла поворота ведущего колеса ИП-291 в течение всего срока эксплуатации. Гарантии изготовителя действительны только при условии своевременного проведения профилактических работ. Периодичность работ устанавливается предприятиями, эксплуатирующими ИП-291 с учетом интенсивности его эксплуатации, но не реже 1 раза в полгода.

А.3.2 В состав профилактических работ входят:

- осмотр внешнего состояния ИП-291;
- проверка затяжки винтового соединения крышки и корпуса;
- проверка и восстановление заряда аккумулятора (наличие мерцания синего светодиода «заряд» при включении).

А.3.3 Восстановление заряда аккумулятора инерциального датчика ИП-291 производится от блока питания (5 В, 500 мА) входящего в комплект поставки. Процесс восстановления заряда осуществляется при выключенном датчике, путем помещения штекера, подключенного к сети, блока питания в «разъем зарядки» (рисунок А.1). В процессе зарядки постоянно светится красный светодиод

«зарядка», который, по достижению полного заряда аккумулятора, гаснет и загорается зеленый светодиод «полный заряд», сигнализирующий об окончании процесса и наборе аккумулятором полного заряда. После осуществления зарядки датчик может быть отсоединен от блока питания и использоваться либо может быть помещен на хранение.

А.3.4 Разборка и ремонт инерциального датчика производится только специалистами КубНИИТиМа. В противном случае гарантия производителя считается недействительной.

А.4 Хранение

А.4.1 Инерциальный датчик угла поворота ведущего колеса ИП-291 должен храниться в упаковке в закрытых складских помещениях при температуре от плюс 5°С до плюс 45°С и относительной влажности воздуха не более 80 % без конденсации влаги.

А.4.2 Воздух помещения для хранения не должен содержать агрессивных паров и газов.

А.4.3 Инерциальный датчик ИП-291 при хранении должен размещаться на стеллажах на уровне 1,5 м от пола и не ближе 2 м от дверей, вентиляционных отверстий и отопительных устройств.

А.4.4 Инерциальный датчик ИП-291 поступивший на склад потребителя, может храниться в упаковочном ящике не более 12 месяцев.

А.4.5 При длительном хранении ИП-291 необходимо один раз в полгода производить зарядку батареи и один раз в год производить проверку его работоспособности в течение 30 минут.

А.4.6 После длительного хранения в условиях, отличных от нормальных, ИП-291 перед включением необходимо выдержать в распакованном виде в течение 12 ч в нормальных условиях.

А.5 Транспортирование

А.5.1 Инерциальный датчик угла поворота ведущего колеса ИП-291 должен транспортироваться в упаковке при температуре окружающей среды от плюс 5°С до плюс 45°С и относительной влажности воздуха не более 80 %.

А.5.2 Инерциальный датчик угла поворота ведущего колеса ИП-291 транспортируется закрытым видом транспорта с условиями транспортирования и хранения 3(Ж3) ГОСТ 15150.

А.6 Утилизация

А.6.1 Утилизация инерциального датчика ИП-291 производится в соответствии с требованиями ГОСТ 1639-93.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)
Патент на полезную модель

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 184333

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БУКСОВАНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Российский научно-исследовательский
институт информации и технико-экономических
исследований по инженерно-техническому обеспечению
агропромышленного комплекса" (ФГБНУ
"Росинформагротех") (RU)*

Автор: *Таркинский Виталий Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2018104361

Приоритет полезной модели 05 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 22 октября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 05 февраля 2028 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Конструкторская документация на датчик ИП-291

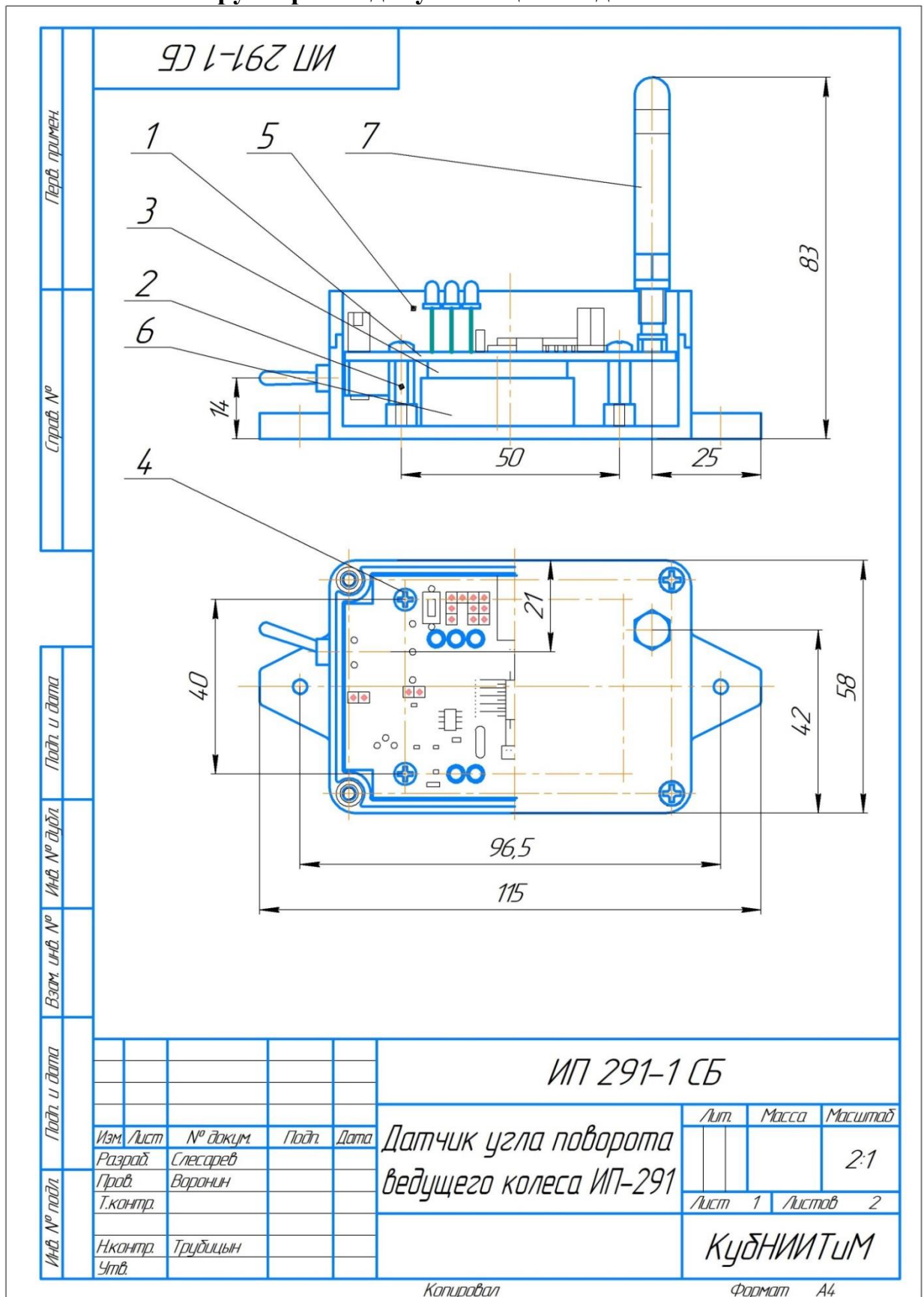


Рисунок В.1 – Сборочный чертёж датчика ИП-291

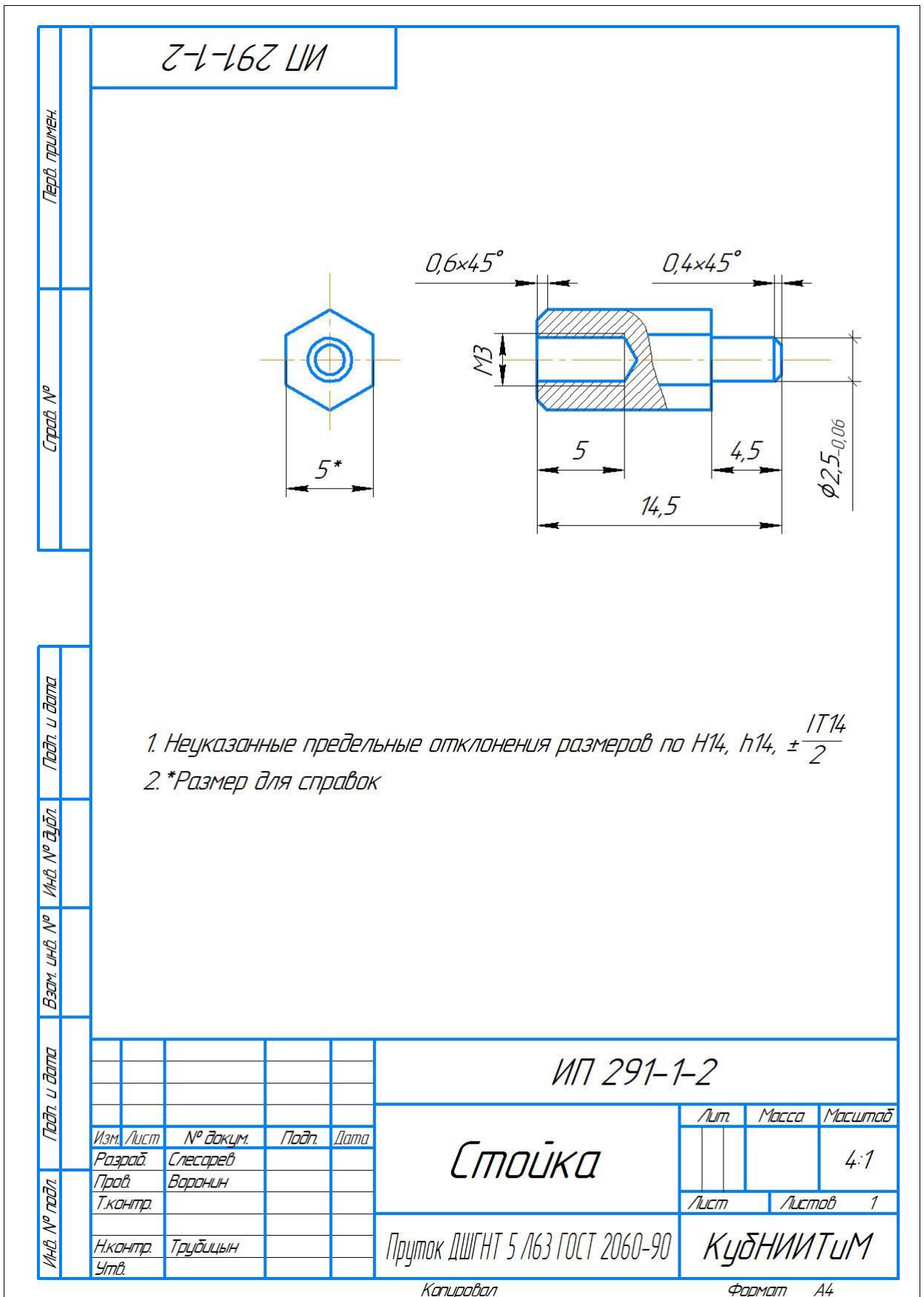


Рисунок В.3 – Чертеж стойки

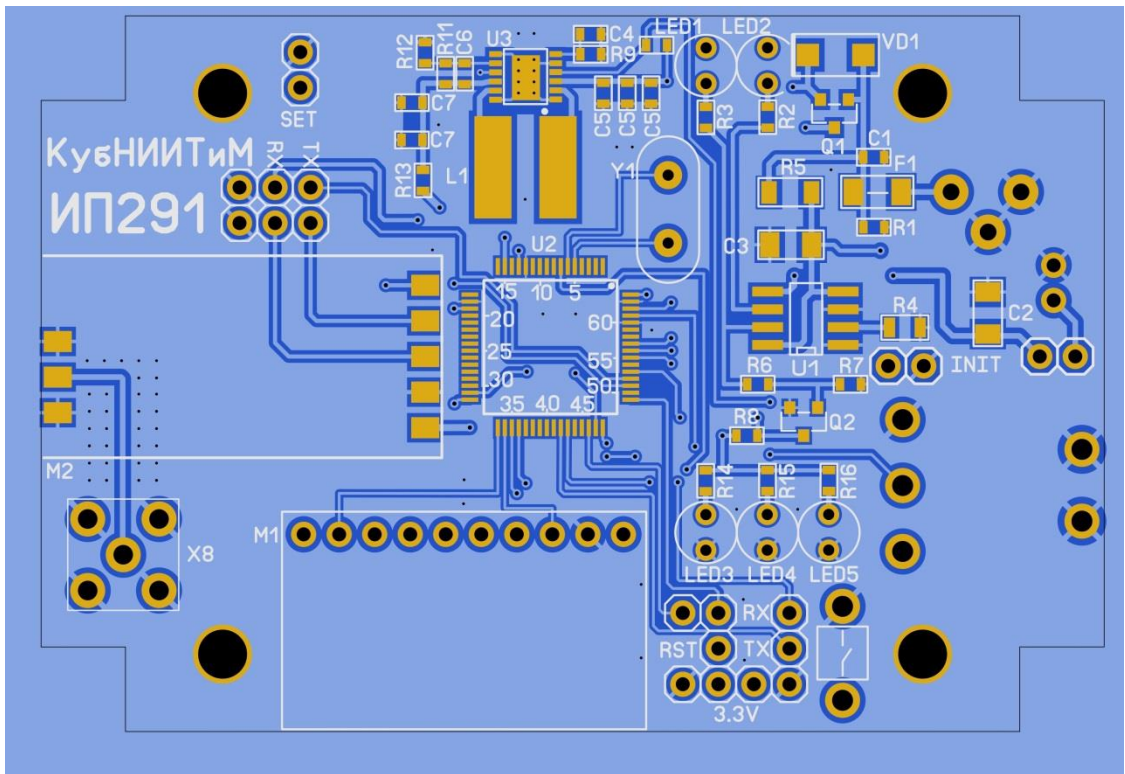


Рисунок В.4 – Плата датчика ИП-291 вид сверху

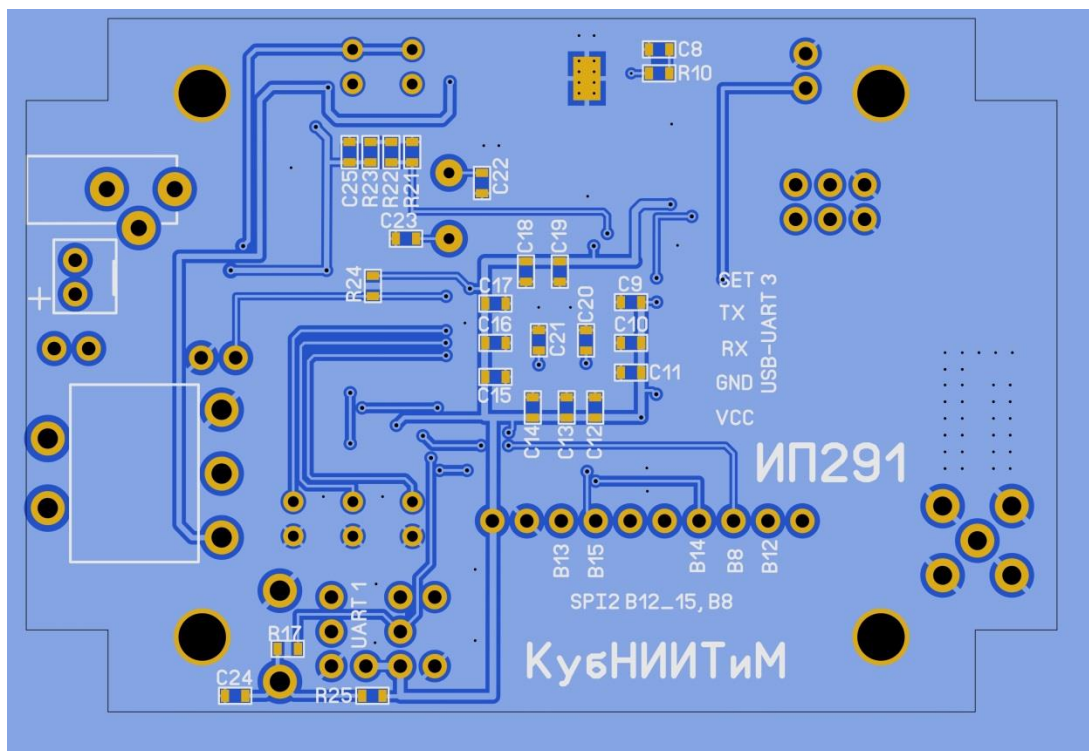


Рисунок В.5 – Плата датчика ИП-291 вид снизу