

УДК 681.5.017

М.Ю. Дрыгин, Н.П. Курышкин, Я.Е. Мещеряков, О.В. Любимов

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРНЫХ МАШИН

Отличительной особенностью развития угольной индустрии Кузбасса является расширение безопасных технологий добычи угля открытым способом. Качество функционирования основных технологических машин, применяемых на угольных разрезах – экскаваторов и буровых станков, определяется точностью позиционирования в пространстве их основных функциональных элементов. Так некорректное позиционирование экскаваторов в забое приводит к увеличению нагрузок на механизмы поворота. Например, превышение угла наклона поворотной платформы экскаватора ЭШ 10/70 к горизонту всего лишь на 2 градуса приводит к повышению вибронгрузки агрегатов на 12-15%. А отклонение платформы бурового станка СБШ-250 от горизонта в процессе его работы более чем на 5 градусов является основной причиной поломки бурового става.

В настоящее время мониторинг этих параметров выполняется механическими отвесами и не отвечает современным требованиям по точности и достоверности. Кроме этого, на технологических машинах отсутствуют устройства, позволяющие не только выполнять непрерывный мониторинг угловой ориентации функциональных элементов, но и регистрировать и анализировать полученную информацию, с целью оценки качества выполнения горных работ за конечный интервал времени – час, смену, неделю, месяц.

Данная функция может успешно осуществляться применением современных микроэлектромеханических систем (МЭМС) – гироскопов и акселерометров-инклинометров. Гироскоп пока-

зывает угловую скорость, по значениям которой после интегрирования высчитывается угол поворота. Для определения угла наклона объекта можно использовать акселерометр-инклинометр, по показаниям которого определяется момент покоя объекта. Комбинируя данные этих двух МЭМС-датчиков можно вычислить положение функционального элемента технологической машины в пространстве в любой момент времени в течение любого его промежутка.

Объединение показаний МЭМС-датчиков позволяет нивелировать их существенные недостатки. Для гироскопа это – дрейф нуля и ошибки интегрирования, а для акселерометра – слишком большая чувствительность к вибрациям и другим внешним силовым воздействиям. Выполнить такое объединение позволяет *комплементарный фильтр*, работа которого описывается достаточно простым выражением:

$$\alpha = (1 - k) \cdot gir + k \cdot acc ,$$

где a – отфильтрованный результирующий угол наклона;

gir и acc – значения угла наклона, полученные при помощи гироскопа и акселерометра, соответственно;

k – коэффициент комплементарного фильтра.

Отфильтрованная величина угла наклона представляет собой сумму интегрированного значения показания гироскопа и мгновенного значения показания акселерометра. По сути, главная задача комплементарного фильтра – нивелирование дрейфа гироскопа и ошибки дискретного ин-

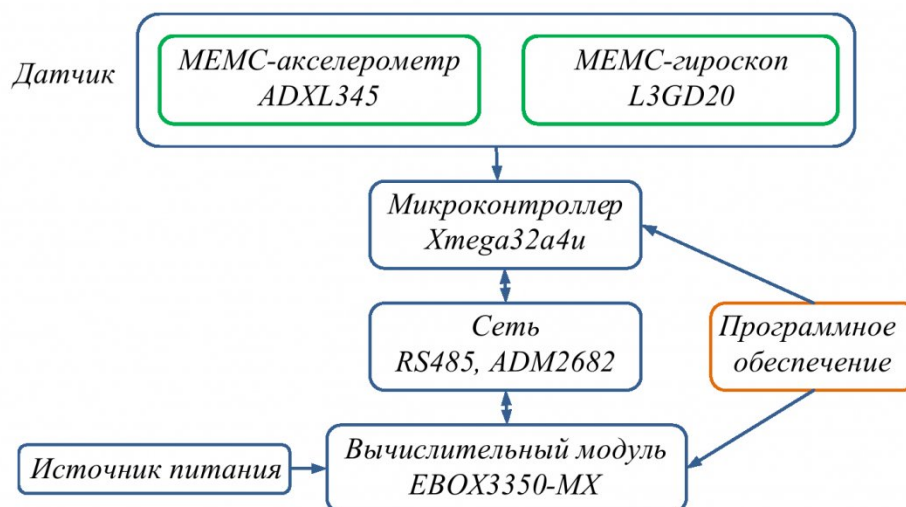


Рис. 1. Функциональная схема комплекса для шагающих экскаваторов

тегрирования (первая часть формулы за счёт достаточно большого коэффициента убирает низкочастотный шум гироскопа, а очень маленький коэффициент во второй части убирает высокочастотный шум акселерометра.). Приведенная математическая модель на каждом шаге интегрирования корректирует интеграл угла наклона с помощью показаний акселерометра. Значимость же этой коррекции определяется коэффициентом фильтра k .

Выбор коэффициента k зависит от величины дрейфа нуля гироскопа, от скорости накопления ошибок вычисления и от условий использования машины. Так, слишком большое значение k приведет к тому, что на результат работы фильтра будет сильно влиять вибрация корпуса машины. Слишком же малое значение k может оказаться недостаточным, чтобы ликвидировать дрейф показаний гироскопа. Как правило, коэффициент комплементарного фильтра подбирается опытным путём для каждого инклинометра исходя из вы-

Основными функциональными элементами электронного устройства непрерывного мониторинга положения в пространстве основных функциональных элементов горных машин являются:

- датчик (первичный преобразователь), включающий гироскоп и акселерометр;
- микроконтроллер;
- помехоустойчивая линия связи;
- вычислительное устройство.

Система спроектирована по модульному принципу, где её узлы могут добавляться в зависимости от типа и функционального назначения горной машины. На рис. 1 представлена функциональная схема базовой комплектации системы, применённой на шагающем экскаваторе.

Важнейшим этапом создания комплекса стала разработка программного обеспечения (ПО), как для микроконтроллера (МК) *Xmega324u*, так и для вычислительного модуля (одноплатного компьютера *EBOX3350-MX*).

ПО для МК представляет собой новую опера-

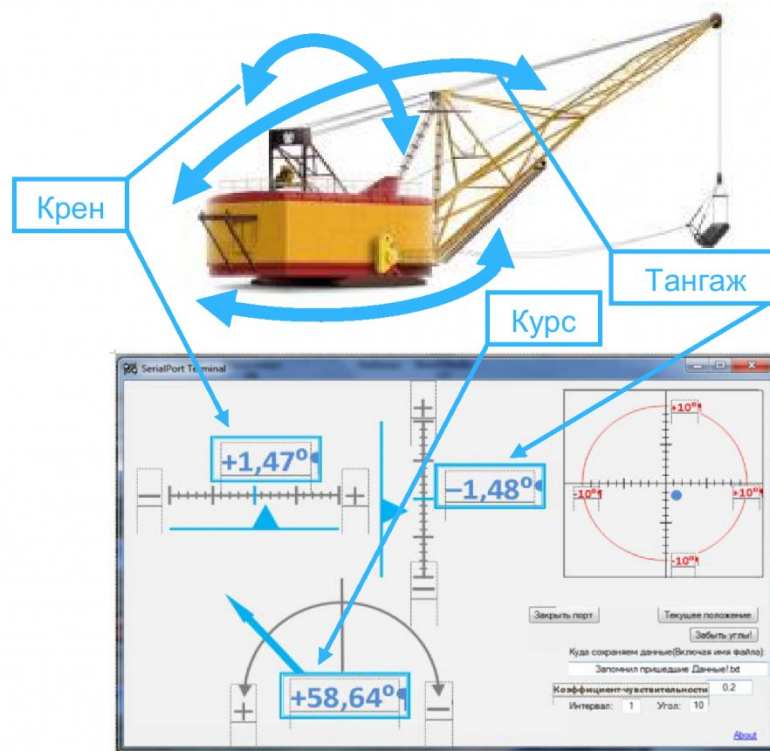


Рис. 2. Интерфейс программы работы комплекса

шеуказанных условий.

Таким образом, система непрерывного мониторинга положения в пространстве функциональных элементов технологических машин, может быть достаточно легко построена при помощи акселерометра, гироскопа и комплементарного фильтра, объединяющего их показания. Применение комплементарного фильтра не требует от контроллера системы большой вычислительной мощности и позволяет добиться достаточно качественных показаний.

ционную систему, при разработке которой использовалась идеология конечных автоматов [1].

Автоматное программирование, иначе называемое «программирование от состояний» или «программирование с явным выделением состояний» – это метод разработки ПО, основанный на расширенной модели конечных автоматов и ориентированный на создание широкого класса приложений

Программное обеспечение одноплатного компьютера, написанное на языке среднего уровня

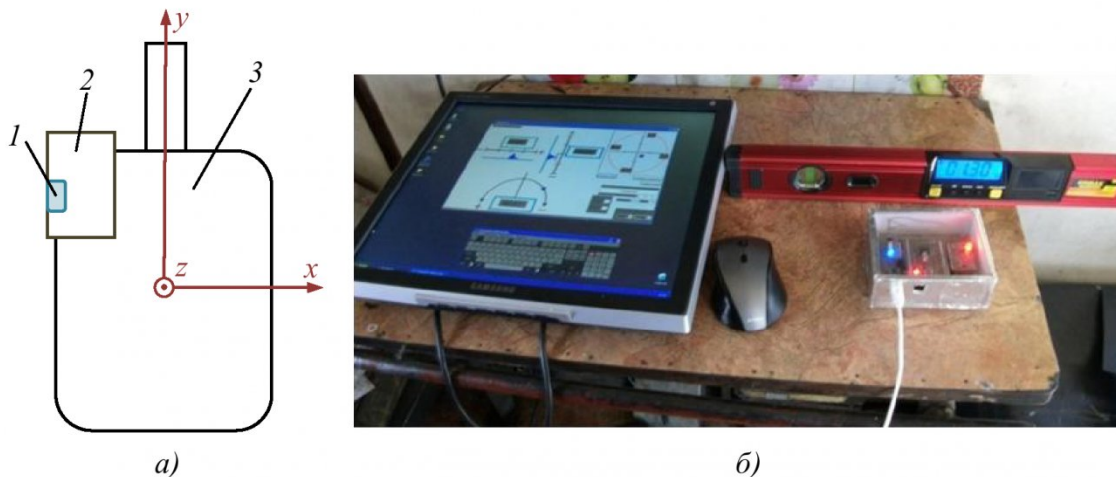


Рис. 3. Схема установки а) и общий вид комплекса в кабине машиниста б)

C/C#, задает и управляет логикой работы всей системы. Программа обеспечивает:

- вывод и отображение информации;
- фильтрацию шумов при помощи комбинентарного фильтра;
- борьбу с вибрацией;
- минимизацию накопленной ошибки вследствие суточного вращения Земли;
- запись истории событий.

На рис. 2 представлен интерфейс разработанной программы работы комплекса, предназначенного для мониторинга положения в пространстве платформы шагающего экскаватора.

На экране монитора показаны по шкалам и продублированы величины углов крена ($+1,47^\circ$), тангажа ($-1,48^\circ$) и курса ($+58,64^\circ$). По положению синей метки в красном круге можно оценивать

горизонтальность положения платформы в пространстве. На разработанную программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [2].

Промышленные испытания комплекса проводились в условиях разреза «Прокопьевский». Комплекс был установлен на горизонтальной площадке 1 кабины машиниста 2 шагающего экскаватора ЭШ-10/70 3 (рис. 3, а).

Датчик и микроконтроллер, совмещенный с устройством связи для работы с вычислительным модулем, представлял собой единый функциональный блок, скомпонованный в корпусе размером $95 \times 110 \times 40$ мм с прозрачной крышкой для индикации его работы (рис. 3, б). Он был установлен и закреплён вдоль продольной оси экскаватора у.

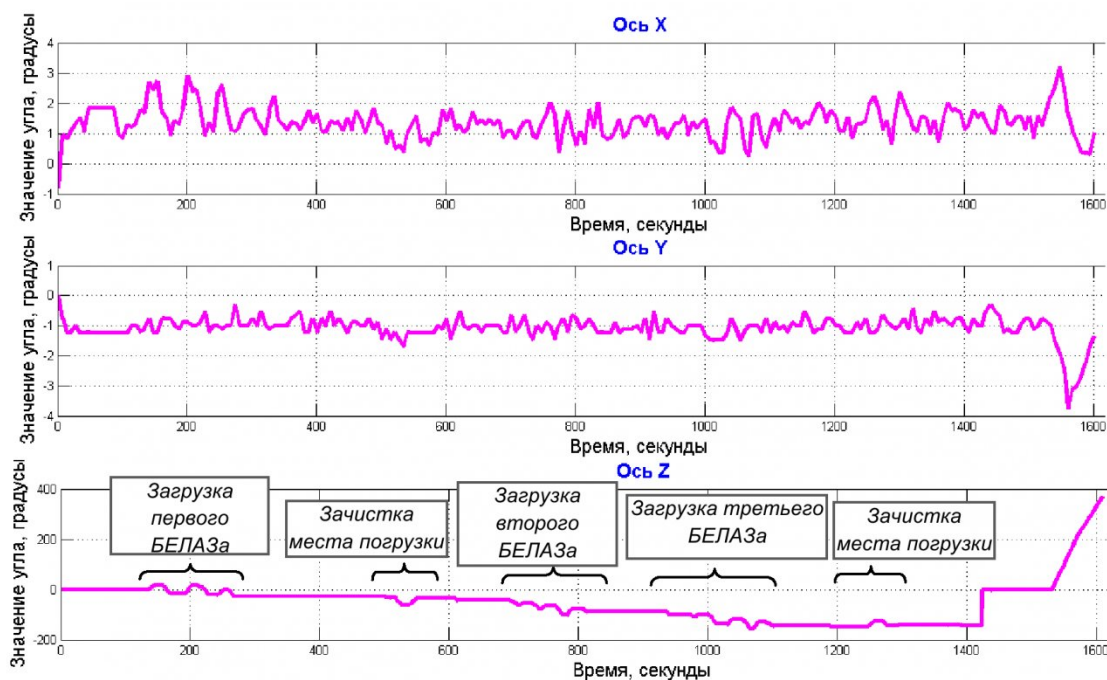


Рис. 4. Результаты испытаний аппаратно-программного комплекса

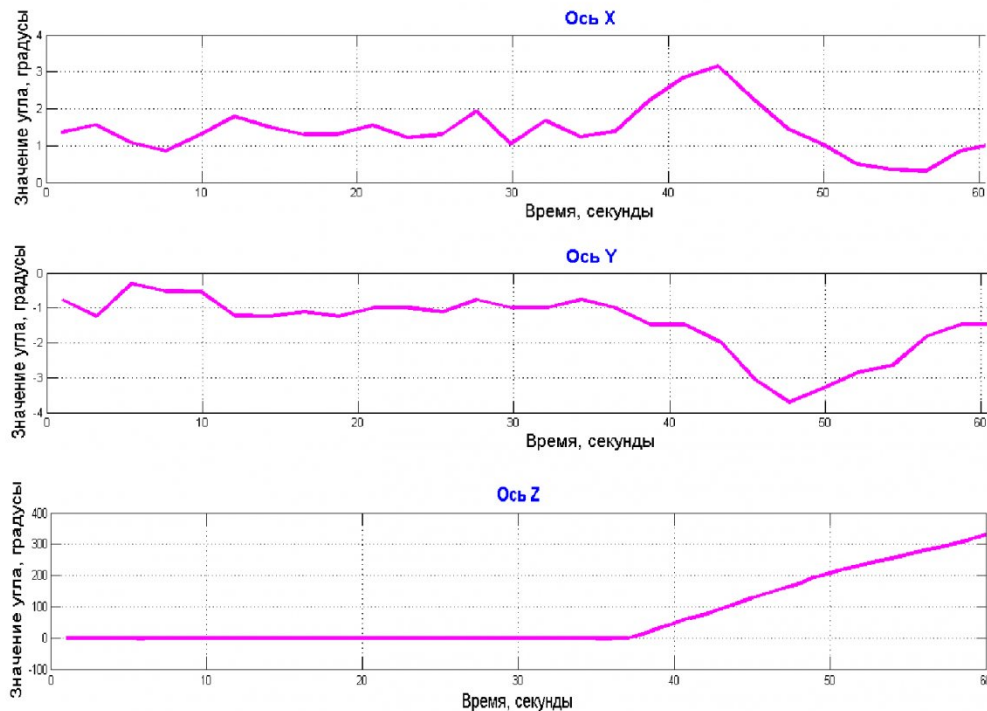


Рис. 5. Последние 60 секунд испытаний комплекса

Перед запуском комплекса с помощью профессионального электронного уровня «Ермак 659-034» ($\Delta = \pm 0,05^\circ$) была выполнена его юстировка, которая заключалась в следующем: полученные с помощью электронного уровня два угла $1,3^\circ$ и $1,1^\circ$ по крену (ось y) и тангажу (ось x), соответственно, были введены в программу компьютера в качестве поправок. Время непрерывной работы комплекса составило 24,46 мин. Вся информация об угловом положении блока датчиков вокруг трёх осей x , y и z записывалась в память компьютера. Одновременно с записью информация отображалась с помощью графического интерфейса на мониторе. Результаты испытания показаны на рис. 4.

Визуальное наблюдение углового положения платформы экскаватора и его отображение на экране монитора показало их полное совпадение. Аппаратно-программный комплекс в течение всего периода работал стабильно. Наблюдался посте-

пенный дрейф показаний датчика поворота платформы вокруг оси z .

Завершились испытания поворотом платформы экскаватора на 360° вокруг оси z . Поэтому последние 60 секунд испытаний вырезаны из рис. 4 и показаны отдельным рисунком (рис. 5).

Таким образом, разработанный в КузГТУ аппаратно-программный комплекс можно применять на шагающих экскаваторах угольных разрезов Кузбасса с целью постоянного мониторинга горизонтальности платформы и автоматизированного учёта рабочих циклов технологической машины за фиксированный промежуток времени. Дальнейшее совершенствование комплекса следует вести в направлении ликвидации дрейфа показаний датчика поворота платформы по курсу путём введения корректирующих поправок с использованием показаний датчика Холла, установленного на элементах привода поворотной платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мещеряков, Я.Е. Операционная система для микроконтроллеров AVR семейства XMEGA // Я.Е. Мещеряков [и др.] Современная техника и технологии: сб. трудов XVIII Международной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 2 / Томский политех. ун-т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С. 359-360.

2. «Автоматизированная система наблюдения за положением рабочих элементов горных машин»: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ / Я.Е. Мещеряков, П.М. Обоянский, Н.П. Курьшин, О.В. Любимов. – №2014617216; заявл. 26.05.2014; опубл. 20.08.2014.

Авторы статьи

Дрыгин
Михаил Юрьевич,
к.т.н., директор ООО «Умная
механика», e-mail:
mike.drygin@gmail.com

Курьшин
Николай Петрович,
к.т.н., доц., зав. каф. при-
кладной механики
КузГТУ, e-mail: kem-nik@mail.ru

Мещеряков
Ярослав Евгеньевич,
ассистент каф. приклад-
ной механики КузГТУ,
e-mail: yoruk91@gmail.com

Любимов
Олег Владиславович,
к.т.н., доц. каф. приклад-
ной механики КузГТУ,
e-mail:
oleg.lyubimov@mail.ru