

УДК 62.002(063)

Я.Е. Мещеряков, А.М. Кориков

## Автоматизация контроля положения платформы карьерного бурового станка

В современных горнодобывающих разрезах применяются крупные буровые станки, эффективность работы которых во многом определяется точностью позиционирования рабочих платформ, а также их исполнительных органов. Актуальной задачей для развития угольной индустрии нашей страны является создание современных устройств для контроля положения рабочей платформы буровой машины. Спроектирована система автоматического управления для контроля положения платформ буровых станков и их функциональных элементов.

**Ключевые слова:** автоматизация, буровой станок, позиционирование платформы, точность позиционирования, система автоматического управления.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2016-19-3-94-97

### Актуальность исследования

В развитии угольной отрасли страны главным приоритетом является применение безопасных технологий путём увеличения доли добычи угля на угольных разрезах открытым способом. Качество проведения буровых и открытых горных работ определяется точностью позиционирования платформ буровых станков, а также их исполнительных органов [1–4]. Постоянный мониторинг положения бурового инструмента при бурении позволит откорректировать точность выхода инструмента в завершающей фазе бурения. Система автоматического управления (САУ) подскажет машинисту буровой машины оптимальное решение и передаст данные технологического процесса (ТП) на сервер автоматизированной системы управления ТП (АСУТП).

Существующие отечественные механические системы контроля положения платформ буровых станков не позволяют качественно выполнять мониторинг угловой ориентации функциональных элементов буровых машин, регистрировать и анализировать полученную информацию. Известные импортные устройства мониторинга являются дорогостоящими (более 1 млн руб.), сложны в эксплуатации, имеют многоуровневый интерфейс, требуют тщательной отладки и продолжительного обучения оператора-машиниста.

Целью нашего исследования является создание системы автоматического управления для контроля положения в пространстве платформ буровых станков, работающих на угольных разрезах, а также их функциональных элементов. Это позволит повысить надёжность работы горной техники и качество выполняемых работ, обеспечить энерго- и ресурсосбережение. Оригинальность разработки САУ управления буровым станком и их функциональных элементов состоит в том, что САУ создается на основе отечественной элементной базы, т.е. решается проблема зависимости от иностранных производителей, и обеспечивается превосходство САУ по следующим характеристикам: высокая точность показаний датчиков, простота конструкции и монтажа системы, модульная архитектура, низкая себестоимость.

### Буровой станок как объект управления и задачи САУ

В качестве бурового станка как объекта управления рассмотрим буровой станок типа СБШ-250. Подобные буровые станки имеют огромную массу (масса станка 90 т, для сравнения танк Т-90 весит 46,5 т). Общий вид бурового станка данного типа представлен на рис. 1.



Рис. 1. Буровой станок вертикального бурения СБШ-250МНА

Отклонение платформы бурового станка СБШ-250 от горизонта в процессе его работы более чем на 5 градусов является основной причиной поломки бурового станка. Этот факт усиливает актуальность нашего исследования по созданию САУ для контроля положения платформ буровых станков. На рис. 2 представлена гидравлическая система управления домкратами бурового станка.

Рассмотрим основные режимы работы разрабатываемой САУ с буровым станком как объектом управления.

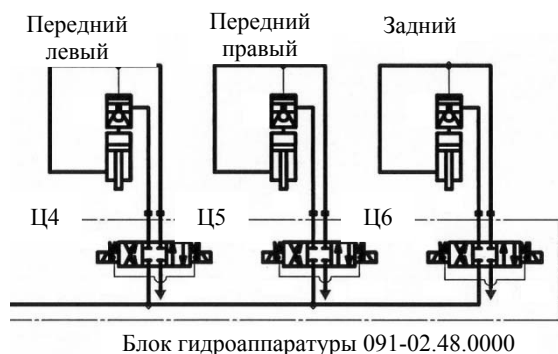


Рис. 2. Гидравлическая система управления домкратами

### Режим горизонтирования платформы

САУ, анализируя данные угла наклона платформы бурового станка, полученные из пересчитанных показаний акселерометра, регулирует подачу масла из гидросистемы к домкратам посредством дискретных гидроклапанов, управляемых магнитом. Регулируя подачу масла к домкратам, микроконтроллер САУ устанавливает платформу бурового станка в требуемое положение. Существующие дискретные гидроклапаны позволяют подстраивать положение платформы бурового станка лишь «рывками» ввиду строго определённого режима работы: накачка масла (клапан открыт), удержание (клапан закрыт), слив масла (реверс клапана).

### Режим стабилизации процесса бурения

Во время бурения скважины возникают паразитные явления, которые нарушают горизонтальность платформы бурового станка. К таким явлениям относятся: вибрация и просадка грунта по причине огромной массы бурового станка. САУ, анализируя амплитуду, фазу и направление вибрации, корректирует домкратами ориентацию платформы до установленного значения. Вышеупомянутые дискретные гидравлические клапаны позволяют осуществлять «грубую» регулировку и при этом, как правило, с перерегулированием.

С позиции теории управления [5] структуру системы управления буровым станком можно представить рис. 3.

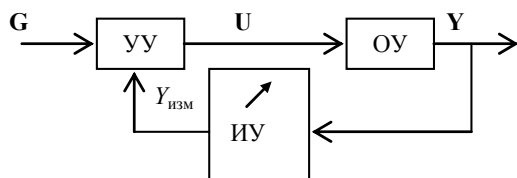


Рис. 3. Структура системы управления

На этом рисунке через объект управления (ОУ) обозначен буровой станок (для нашей задачи это – платформа бурового станка и гидравлическая система управления домкратами бурового станка). С точки зрения теории управления ОУ является задан-

ной (неизменяемой) частью САУ, а проектируемой (изменяемой) частью САУ являются датчики (измерительные устройства (ИУ)) и управляющие (в том числе, вычислительные) устройства (УУ). На рис. 3 через  $G$  обозначен вектор параметров, характеризующий заданное (желаемое) положение платформы бурового станка, через  $U$  обозначен вектор управляющих параметров – сигналов управления, обеспечивающих управление домкратами бурового станка, а через  $Y$  – вектор параметров, характеризующий действительное положение платформы бурового станка.

Итак, задачей проектируемой САУ является поддержание следующего равенства:

$$Y = G. \quad (1)$$

Проектирование САУ заключается в разработке проектируемой (изменяемой) части САУ, включающей датчики (измерительные устройства) и управляющие устройства, которая обеспечивает равенство (1) с точностью, необходимой буровому инструменту при бурении.

Проектируемая часть САУ строится на основе микроэлектромеханических систем (MEMS) – акселерометров. Микроконтроллер (МК), периодически опрашивая датчик ускорения, анализирует ориентацию платформы бурового станка в пространстве и параметры вибраций для корректировки процесса бурения. Проектируемая часть САУ разрабатывается для двух основных рассмотренных выше режимов работы: горизонтирования и стабилизации процесса бурения.

Для решения проблемы «грубого» регулирования, возникающего при стабилизации процесса бурения, планируется установить пропорциональный электрогидравлический сервоклапан серии DXJ3 фирмы Diplomatic Oleodinamica или сервоклапан PM400-400 производства Павловского машиностроительного завода. Установка сервоклапанов позволит плавно корректировать положение буровой платформы с минимальным перерегулированием.

Разрабатываемая САУ построена по модульному принципу, согласно которому каждый унифицированный блок легко взаимозаменяется на другой. В качестве вычислителя используется МК pic30f3013, который в дальнейшем будет заменен на K1986BE92Q1. В настоящий момент полностью реализована функция супервайзера за технологическим процессом.

САУ осуществляет:

- отображение угла наклона;
- контроль нахождения в заданном интервале;
- оценку основных параметров вибрации;
- коррекцию при ручной установке платформы домкратами.

На рис. 4 представлен тестируемый экземпляр САУ, функционирующей в режиме наблюдения.

### Тестирование САУ

Функция стабилизации успешно осуществляется на основе современных микроэлектромеханических систем (МЭМС) – гироскопов и акселерометров-инклинометров.

Для определения угла наклона объекта можно использовать акселерометр-инклинометр, по показаниям которого определяется момент покоя объекта или вносятся дополнительные корректировки.



Рис. 4. Тестовый экземпляр САУ, функционирующей в режиме наблюдения

Для тестирования алгоритмов цифровой обработки сигналов и алгоритмов работы САУ был спроектирован испытательный макет двухосевой системы стабилизации, позволяющий задавать угол наклона  $\pm 15$  град по осям  $X$  и  $Y$  с шагом не менее  $0,1$  град. Макет предназначен для апробации алгоритмов управления, проектирования новых электронных устройств, программирования микроконтроллеров (МК) и имитации возмущающего воздействия (рис. 5).

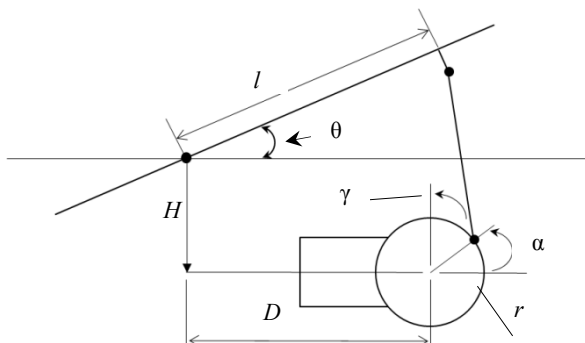


Рис. 5. Расчетная схема испытательного макета

На этом рисунке, а также в (2) введены следующие обозначения:  $H$  – вертикальная проекция расстояния от оси вращения сервопривода до центра вращения подвижной платформы;  $D$  – горизонтальная проекция расстояния от оси вращения сервопривода до центра вращения подвижной платформы;  $r$  – радиус вращения кривошипа закреплённого на оси сервопривода;  $h$  – длина крепежного уголка подвижной платформы;  $b$  – длина шатуна;  $l$  – расстояние от точки вращения пластины до уголка.

Платформа макета представляет собой две пластины, соединенные между собой шпилькой M5 посредством карданного вала. Наклон верхней плоскости осуществляется при помощи сервоприводов, к плечам которых присоединены поводки, закреплённые к верхней плоскости.

Зависимость наклона верхней пластины  $\theta$  в зависимости от угла поворота плеча сервопривода (кривошипа)  $r$  может быть описана следующим выражением:

$$\theta = \frac{A + 2(r(h-H)\zeta - Hh - lD + r(D-l)\eta)}{2(r l \zeta + hD + r h \eta - lH)}. \quad (2)$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$$A = H^2 + D^2 + r^2 + h^2 + l^2 - b^2, \quad \zeta = a \cos \alpha_0 + \sin \alpha_0, \\ \eta = \cos \alpha_0 - a \sin \alpha_0.$$

Вывод формулы (2) иллюстрирует рис. 5.

#### Модуль акселерометра

Этот модуль является первичным преобразователем сигнала положения и спроектирован для использования с Breadboard платами, а также целевыми устройствами. Он содержит акселерометр SCA3100, предназначенный для формирования обратной связи для отслеживания положения платформы.

Акселерометр-инклинометр показывает проекцию ускорения на свои оси, по которой определяется положение статической платформы в пространстве. Отличие между инклинометром и акселерометром заключается в форме выдаваемого сигнала. Если акселерометр выдает значение ускорения, которое преобразуется в углы наклона по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , то инклинометр выдает непосредственное значение углов наклона.

SCA3100T – это высокоточный цифровой акселерометр для ответственного применения, способный производить измерения по осям с точностью  $0,05$  град. Датчик выдает 11-разрядные значения углов по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  (до 5000 выборок/с), а также 8-разрядное значение температуры для введения поправок. При выполнении равенства (1) ось  $Y$  совпадает с продольной осью платформы бурового станка, а ось  $X$  – с поперечной осью платформы.

Модуль датчиков конструктивно выполнен на одностороннем куске фольгированного стеклотекстолита с габаритами  $25 \times 45 \times 3$  мм.

#### Анализ данных акселерометра и выбор цифрового фильтра

Анализ полученных данных показал высокую зашумленность полезного сигнала, которая обусловлена природой датчика и используемой технологией. На рис. 6 приведён фрагмент данных по углам наклона платформы бурового станка по осям  $X$  и  $Y$  до их обработки цифровым фильтром Баттерворта с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) 5-го порядка и после их обработки этим цифровым фильтром. При проведении и обработке результатов эксперимента использовались рекомендации [6].

На рис. 6 римской цифрой I обозначен исходный сигнал по оси  $X$ ; цифрой II – обработанные данные по оси  $X$ ; цифрой III – исходный сигнал по оси  $Y$ ; цифрой IV – обработанные данные по оси  $Y$ . По оси абсцисс показано время в секундах, а по оси ординат – угол наклона платформы в градусах. Выбор БИХ фильтра обусловлен скоростью работы

вычислительного узла, в данном случае – микроконтроллера (МК). Разработанная программа БИХ фильтра требует меньшего количества операции умножения с накоплением, что важно в условиях низкой вычислительной мощности отечественных микроконтроллеров для цифровой обработки сигналов.

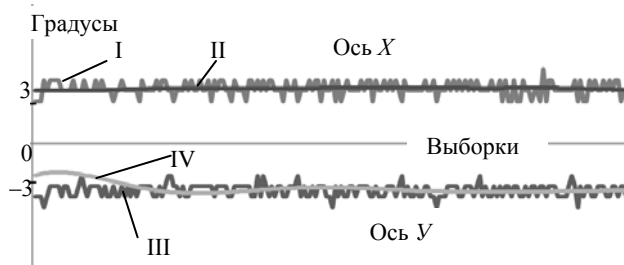


Рис. 6. Фрагмент данных углов наклона платформы бурового станка

Применение фильтра Баттерворта, не имеющего нулей частотной характеристики (также называемого фильтром с максимально плоской характеристикой), не создает пульсаций (неравномерности) в полосе пропускания, т.е. обладает монотонной характеристикой в обеих полосах. Фильтр Баттерворта вносит нелинейную задержку. Для учета нелинейного эффекта задержки применяют корректирующие звенья, которые задерживают одни частотные компоненты меньше, чем другие, но при этом вносят в результирующий сигнал добавочную задержку [7].

#### Закключение

Таким образом, результаты проведённых испытаний аппаратно-программного комплекса в лабораторных и реальных производственных условиях подтверждают возможность его применения для дистанционного мониторинга горизонтальности платформы бурового станка и автоматизированного учёта рабочих циклов буровых станков за фиксированный промежуток времени.

#### Литература

1. Мещеряков Я.Е. Мониторинг точности позиционирования основных функциональных узлов технологических машин / Я.Е. Мещеряков, А.М. Кориков // Актуальные проблемы современного машиностроения: сб. трудов междунар. конф. / Юргинский технологический ин-т. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2014. – С. 38–42.
2. Мещеряков Я.Е. Автоматизированный мониторинг работы экскаватора в условиях угольного разреза // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 4. – С. 121–125.
3. Mescheryakov Ya. Monitoring Positioning Accuracy of the Basic Functional Units of Technological Machines /

Y.E. Mescheryakov, A.M. Korikov // Applied Mechanics and Materials. 2015. – Vol 770. Trans Tech Publications, Switzerland. – P. 612–616.

4. Мещеряков Я.Е. Аппаратно-программный комплекс для мониторинга рабочих циклов шагающих экскаваторов на угольных разрезах Кузбасса / Я.Е. Мещеряков, А.М. Кориков, Н.П. Курышкин // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды X Всерос. науч.-практ. конф. / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – С. 265–269.

5. Кориков А.М. Основы теории управления: учеб. пособие. – 2-е изд. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 392 с.

6. Кориков А.М. Эксперимент в научном исследовании // Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – № 2(36). – С. 148–154.

7. Кестер У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов: пер. с англ. / Уолт Кестер – М.: Техносфера, 2010. – 52 с.

#### Мещеряков Ярослав Евгеньевич

Аспирант ТУСУРа, ассистент  
Кузбасского государственного технического университета  
им. Т.Ф. Горбачёва, г. Кемерово  
Тел.: +7-906-937-22-09  
Эл. почта: M.YarosLove@yandex.ru

#### Кориков Анатолий Михайлович

Д-р техн. наук, проф.,  
зав. каф. автоматизированных систем управления ТУСУРа,  
профессор Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
Тел.: +7 (382-2) 41-42-79  
Эл. почта: korikov@asu.tusur.ru

Meshcheryakov Y.E., Korikov A.M.

#### Automation of platform position control for quarry drilling rig

In modern mining cuts are used large drilling rigs with overall performance in many respects, defined by the accuracy of positioning of working platforms, as well as their executive bodies. An urgent challenge for the development of the coal industry in Russia is creation of modern devices to control provision of a working platform of a drilling machine. The automated control system is developed to control provision of platforms of drilling rigs and their functional elements.

**Keywords:** automation, drilling rig, positioning of a platform, positioning accuracy, system of automatic control.