

ОТЗЫВ

официального оппонента профессора кафедры прикладной математики Томского государственного архитектурно-строительного университета доктора физико-математических наук, профессора Шумилова Бориса Михайловича на диссертационную работу Мещерякова Ярослава Евгеньевича «Автоматизация процессов мониторинга и позиционирования функциональных элементов горных технологических машин», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

Актуальность темы. С ростом в угледобывающей отрасли России добычи угля открытым способом, который имеет очевидные преимущества по сравнению с подземным и отличается более высокой производительностью, низкой себестоимостью добычи и безопасностью проведения горных работ, отмечается рост интереса к способам и средствам решения задач мониторинга и позиционирования функциональных элементов горных машин для регистрации и анализа информации с целью повышения надежности и качества выполнения горных работ, обеспечения энерго- и ресурсосбережения. В настоящее время существует ряд проблем, связанных с автономными системами мониторинга работы горных технологических машин (ГТМ). Динамика движения основных технологических машин угольных разрезов – экскаваторов различных типов, достаточно сложна, а требования по обеспечению точности и надежности определения и прогнозирования параметров движения функциональных элементов ГТМ высоки. Задача непрерывного мониторинга и позиционирования функциональных элементов ГТМ имеет свои характерные особенности. Во-первых, она является многомерной задачей, поскольку определению подлежат, в общем случае, шесть параметров движения функциональных элементов (ПДФЭ) ГТМ, например, три координаты положения и три составляющие вектора скорости. Во-вторых, искомые параметры не поддаются прямым измерениям. В связи с этим находят применение косвенные методы измерений, т. е. измеряются такие параметры, которые функционально связаны с ПДФЭ ГТМ. В-третьих, навигационные измерения имеют стохастический характер. При этом даже незначительные погрешности измерений вносят существенный вклад в ошибки навигации. С целью борьбы с неизбежными случайными погрешностями измерений применяются методы статистической обработки измерительной информации.

Диссертационная работа посвящена важной проблеме разработки и анализа автоматизированных систем мониторинга работы ГТМ, так как существующие отечественные механические системы не отвечают современным требованиям по точности и надежности, кроме того, на

отечественных ГТМ отсутствуют устройства, позволяющие регистрировать и анализировать полученную информацию. Импортные устройства мониторинга недоступны из-за дороговизны и сложности в эксплуатации, имеют многоуровневый интерфейс, для раскрытия всего потенциала системы требуется дорогостоящее дополнительное оборудование, кроме этого, информация о выполнении рабочих циклов и динамических характеристик ГТМ является в зарубежных системах второстепенной и не выводится на монитор. Данные обстоятельства требуют разработки автоматизированной системы мониторинга и позиционирования (АСМП) функциональных элементов ГТМ для позиционирования, идентификации рабочих циклов, оценки параметров технологического процесса экскавации (ТПЭ), тем самым повышая качество работы горной техники.

Анализ содержания работы. Диссертация Е.Я. Мещерякова состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, списка использованных сокращений и приложений.

Во введении представлено состояние вопроса, дан обзор литературы, приведены сведения об апробации и внедрении результатов работы, сведения о публикациях и содержание диссертации по главам.

В первой главе дан обзор современного состояния рынка средств автоматизированного контроля положения объектов управления в пространстве. Анализ существующих типов систем контроля и мониторинга ГТМ, в частности, экскаваторов позволил выявить особенности, присущие как одномерным, так и двумерным и трехмерным системам контроля технологического процесса. Требования, налагаемые заказчиком на надежность, функциональные возможности, режимы и способ функционирования требует разработки аппаратного и соответствующего программного обеспечения. Такому программному обеспечению удовлетворяют методы фильтрации с применением фильтра Маджвика, особенностью которого является то, что он функционирует на основе показаний инерциальных датчиков (ускорение, угловая скорость) и характеристик магнитного поля Земли, оптимизируя свою работу за счет градиентного метода. К реализации предложен современный комплексирующий фильтр Маджвика на основе акселерометра, гироскопа и магнетометра (MARG). В фильтре Маджвика в реализации MARG выполняется компенсация магнитных дисторсий (искажений) и коррекция дрейфа гироскопа по оси рысканья. Низкие требования к счетно-решающему устройству позволяют реализовать АСМП на отечественных микроконтроллерах (МК) или программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС).

Исследование литературы, посвященной методам анализа стабильности, выявило, что оценка датчиков на основе микроэлектромеханической системы; МЭМС датчиков, может осуществляться методами, применяемыми для анализа стабильности часов и генераторов. Для МЭМС датчиков характерно присутствие значительных шумовых составляющих в сигнале и нестабильность работы. Рациональным решением является применение в микроэлектромеханических акселерометрах и гироскопах наложенной

(перекрывающей) вариации Аллана, которая может функционировать на МК или ПЛИС, удовлетворяет при этом требованиям точности и стабильности.

Осуществлен анализ рынка современной элементной базы МЭМС-датчиков динамических величин и выбрана элементная база для построения инерциального измерительного модуля (ИИМ).

Эти датчики изучаются далее во второй главе диссертации в плане обоснования архитектуры, состава и иерархии вспомогательного аппаратно-программного обеспечения автоматизированных систем контроля технологического процесса на базе МЭСМ. Кроме того, автор обосновывает и демонстрирует основные режимы работы автоматизированной системы и регистрируемые ею данные, а также разрабатывает метод оценки эффективности работы ГТМ на основе первичных преобразователей: МЭМС-гироскопов (МГ) и акселерометров (МА). Ранее рядом авторов исследовался технологический процесс экскавации (ТПЭ) горной массы и анализировались основные технологические состояния ГТМ в виде драглайнов и мехлопат с использованием динамических данных: угловых скоростей, ускорений, пространственных координат (долготы и широты).

Особенность полученных диссертантом результатов состоит в разработке связного ориентированного графа ТПЭ, что позволяет строить методы идентификации текущего технологического состояния и оценки эффективности функционирования ГТМ системой алгоритмов: алгоритма оценки геометрических и динамических параметров; оценки пространственных и временных параметров; алгоритма идентификации технологических состояний.

В третьей главе разработана соответствующая автоматизированная система сбора и обработки данных для компьютерной симуляции комплексирования фильтров, которая и послужила основой аппаратно-программного обеспечения АСМП, на основе разработанной структуры. По сравнению со стандартными схемами АСМП, в системе новым является разработка аппаратного обеспечения основного (телеметрического), информационного блока и блока глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Построенные алгоритмы являются эффективными и экономичными с точки зрения вычислительной сложности, поскольку реализуют оригинальные алгоритмы повышения качества функционирования комплексированного фильтра Маджвика на основе глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Работа этого фильтра заключается в предварительной предфильтрации с последующей коррекцией ухода фильтра Маджвика по оси рысканья из данных ГНСС. Представлены результаты оценки коэффициента погашения импульсных помех, с которыми плохо справляется «чистый» фильтр Маджвика в процессе предфильтрации. Здесь же приводятся результаты численных экспериментов по сравнению работы комплексированного фильтра и «чистого» фильтра Маджвика как на результатах, полученных с помощью имитационного моделирования определения параметров движения функциональных элементов ГТМ, так и на известных данных движения реальных горных технологических машин.

Вся четвертая глава посвящена анализу результатов испытаний АСМП ГТМ в производственных условиях, оцениванию характеристик разработанной АСМП, описанию методики калибровки датчиков во время процесса сборки и настройки АСМП, наконец, сравнению разработанной АСМП с существующими аналогами. Экспериментальное исследование характеристик функционирования АСМП автором производилось на драглайне ЭШ 10/50 в условиях разреза «Кедровский». В процессе исследования оценивалась точность угловой ориентации платформы ГТМ по оси рысканья, точность идентификации технологических состояний/рабочих циклов, все с учетом предварительной калибровки МЭМС-датчиков.

Результаты испытаний АСМП, разработанной автором, в производственных условиях показали, что абсолютная погрешность угловой ориентации по истечению 60 минут работы АСМП с функционирующим алгоритмом коррекции посредством ГНСС составила не более 5° для гироскопа ADIS16265 и не более 9° для ИИМ SCC2230 относительно триангуляционной точки.

В результате корреляционного анализа циклограмм установлено, что АСМП идентифицировала рабочие циклы с точностью до 92 % – в комплектации с МГ ADIS 16265 и до 86 % – в комплектации с МГ SCC2230.

В приложениях приведены акты о промышленных испытаниях результатов диссертационной работы, проводимых в компании «Кузбассразрезуголь», титульный лист и лист согласования технического задания на разработку и внедрение, обоснование целесообразности использования и акты внедрения (в учебный процесс).

Представленные результаты свидетельствуют о более высокой эффективности комплексирующего фильтра Маджвика на основе глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), что особенно заметно в случае наличия аномальных импульсных и сильнокоррелированных помех.

Анализ содержания диссертационной работы позволяет сделать вывод о том, что основные задачи исследования в целом решены. Работа имеет важное практическое значение для повышения точности и надежности бортовых систем мониторинга и позиционирования функциональных элементов ГТМ для позиционирования, идентификации рабочих циклов, оценки параметров технологического процесса экскавации, тем самым повышая качество работы горной техники. Достоверность полученных в работе результатов подтверждается корректностью применения статистического аппарата, а также результатами экспериментов как на данных имитационного моделирования, так и сравнением с результатами промышленных испытаний, полученных для реальных горных технологических машин.

Таким образом, содержание диссертации последовательное и логичное. Тема и содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.06.

Диссертация является законченным научным трудом и выполнена автором самостоятельно на достаточном научно-техническом уровне.

Научная новизна работы.

1) Разработана система имитационного моделирования параметров навигации функциональных элементов ГТМ.

2) Обосновано наличие ухода фильтра Маджвика по оси рысканья.

3) Построена новая система компенсации в фильтре Маджвика магнитных дисторсий (искажений) и коррекции дрейфа гироскопа по оси рысканья на основе данных глобальной навигационной спутниковой системы.

4) Разработаны оригинальные алгоритмы повышения качества функционирования комплексующего фильтра Маджвика (рывковый фильтр, идентификации динамического состояния платформы ГТМ, коррекции по нулевой скорости, автоподстройки коэффициентов усиления фильтра Маджвика и обоснована их вычислительная эффективность.

5) Разработана новая АСМП функциональных элементов ГТМ с соответствующим аппаратно-программным обеспечением, отличающаяся от известных решений модульной архитектурой, не критичностью к выбору радиоэлектронной элементной базы, способностью функционировать на любом типе ГТМ.

Практическая ценность работы заключается в том, что

1) Разработанные методы и алгоритмы использованы в производственном процессе экскавации горной массы на шагающем экскаваторе ЭШ 10/50 в условиях разреза «Кедровский».

2) Разработанные методы и алгоритмы могут быть положены в основу новых более точных и надежных бортовых навигационных систем ГТМ, подразумевающих отсутствие обслуживания в течение длительных временных интервалов, не требующих подключения к бортовой электронике технологической машины и не использующих сторонние вычислительные ресурсы, а также использованы в пакетах программ по сглаживанию данных и фильтрации помех.

Замечания по работе.

1. Недостаточно внимания уделено сравнению предложенной автором модификации комплексующего фильтра Маджвика с другими системами обработки данных и фильтрации помех.

2. Следовало бы привести экспериментальное подтверждение предварительных выводов об оценке коэффициента погашения импульсных сетевых помех, таких как, перенапряжение подсистемы питания для организации защиты от внешних воздействий.

В целом диссертационная работа Мещерякова Я.Е., несмотря на отмеченные недостатки и замечания, является законченным научным трудом, оформлена согласно требованиям и соответствует специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)». Результаты диссертационной работы достаточно полно представлены в 17 печатных работах, в том числе одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и три из них в рекомендованных журналах ВАК при Минобрнауки России, и апробированы на международных и российских конференциях и семинарах. Две работы зарегистрированы в

международной базе научного цитирования SCOPUS, 11 работ опубликованы в изданиях РИНЦ, в том числе 2 работы опубликованы на международных интернет-конференциях.

Автореферат в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы. Принимая во внимание наличие научной новизны, практическую значимость и достоверность положений работы, считаю, что диссертационная работа Мещерякова Я.Е. отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент

Шумилов Борис Михайлович

доктор физико-математических наук, профессор,
кафедра прикладной математики Томского
государственного архитектурно-строительного
университета, профессор
634003, г. Томск, пл. Соляная 2
Тел. 3822-659358, sbm@tsuab.ru

Подпись официального оппонента удостоверяю



Ученый секретарь ТГАСУ

Какушкин Ю.А.

29.11.2018 г.