

Весовые системы со встроенными метрологическими блоками*

Гулевич Т.М.

Сибирский государственный
индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Российская Федерация
gulevich.tm@gmail.com

Макаров Г.В.

ООО «Научно-исследовательский
центр систем управления»,
г. Новокузнецк, Российская Федерация
gmakarov@nicsu.ru

Горб Д.С.

ООО УК «Сибтензоприбор»
г. Кемерово, Российская Федерация
tehdur@sibtenzo.com

Аннотация. В работе рассмотрен тип весовых систем со встроенными метрологическими блоками, реализующими идентификационно-тестовые методы измерений с многовариантной структурой. Представлена функциональная схема многовариантной измерительной системы со встроенными метрологическими блоками. Проанализированы отличия между системами со встроенными метрологическими блоками принципиально от традиционных систем измерения. Описана реализация автоматизированной лабораторной установки дозирования и промышленные комплексы автоматического дозирования, которые в зависимости от комплектации могут включать рассмотренные многовариантные метрологические блоки для идентификации метрологических характеристик средств измерений на основе натурно-модельного подхода и многовариантных систем. Промышленная реализация рассмотрена на примере дозатора, соответствующего ГОСТ 30124-94, предназначенного для дозирования сыпучих материалов, и автоматизированной системы управления многокомпонентным дозированием, которые в совокупности с предложенными встроенными метрологическими блоками имеют преимущества по сравнению с аналогами по точности и затратам на обслуживание.

Ключевые слова: весоизмерение, тестовые методы, шихтование, многовариантность.

ВВЕДЕНИЕ

Весовые системы занимают отдельное место в любом производстве. И если качество коммерческого учета явно выражается в экономическом эффекте, то технологического оценить сложнее, поскольку в многостадийном производстве большое влияние оказывают ошибки, совершенные на разных стадиях технологического процесса из-за некорректности поступающей информации в управляющие системы. Точность работы весодозирующих систем при этом зависит от суммарной погрешности измерения веса, которая лишь в некоторой части зависит от технических факторов, и в большей – от методических, и только после этого – от самих алгоритмов управления.

ВСТРОЕННЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ БЛОКИ

Для решения задачи повышения точности измерительной системы недостаточно решения технических проблем, таких, как повышение чувствительности элементов, разрядности преобразователей, качества передачи сигнала и т.д. Эксплуатация измерительных подсистем характеризуется существенно нелинейными изменениями во времени и требует специального решения вопросов согласования

алгоритмов обработки данных с преобразованиями, влияющими на суммарную ошибку измерения. Для этого необходимо применение встроенных идентификационно-тестовых метрологических блоков [1, 2].

Эффективность таких встроенных метрологических блоков заключается не столько в автоматизации таких процедур, как регистрация, сбор и передача результатов прямых измерений на обработку, сколько в обеспечении принципиально новых возможностей ведения измерительного эксперимента, а именно: эксперимент может проводиться с активным воздействием на объект измерения в соответствии с адаптивным оптимальным планом конкретной измерительной задачи, могут использоваться аппаратные и численные методы фильтрации и коррекции погрешностей, широко применяются принципы инвариантности и комплексирования, может быть допущено вмешательство оператора в ход эксперимента в режиме диалога и т.п. [3-5] Использование этих возможностей позволяет получить более полную информацию об объекте и способствует значительному росту эффективности измерительных процессов.

Таким образом, актуальными вопросами разработки и совершенствования автоматизированных систем технологических измерений и их адаптации к конкретному объекту измерения является внедрение метрологических блоков, решающих задачи, связанные с определением нормированных и реальных метрологических характеристик отдельных преобразователей и систем в целом, необходимых для расчета погрешностей измерений; повышением точности, достоверности и воспроизводимости результатов измерений; определением динамики погрешностей измерений с целью планирования метрологических операций; а также автоматизации метрологических испытаний, включая оперативную поверку и метрологическую диагностику современных сложных измерительно-вычислительных и информационно-измерительных комплексов.

ИДЕНТИФИКАЦИОННО-ТЕСТОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Решение задачи расчета метрологических характеристик измерительных каналов аналого-цифровых комплексов является важной для практики конкретных измерений [6-8]. Известен подход расчета нормированных метрологических характеристик системы по установленным метрологических характеристик отдельных измерительных пре-

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", <https://icie-rus.org>

образователей. Методики, основанные на детерминистском подходе к нормированию только предела допускаемых значений основной и дополнительной погрешности, уже не могут обеспечить поверку средств измерений с требуемой степенью достоверности. Решение этой задачи как статистической задачи оценивания исходит, как хорошо известно, из ряда предпосылок (гипотез) относительно свойств погрешностей, которые в большинстве случаев практических измерений, особенно, в условиях промышленного производства, не выполняются. Задачи экспериментального определения статических и динамических метрологических характеристик далеки от решения. Большинство методов определения метрологических характеристик средств измерений основываются на методах идентификации и некоторых разделах вычислительной математики [9,10]. Известны трудности применения этих методов, например, из-за некорректности вычислительных процедур. Следует отметить, что задача идентификации метрологических характеристик в метрологии имеет специфические особенности, т. к. определяющий (входной) фактор в измерительных системах является неизвестной величиной и идентификация осуществляется по специальному входному тестовому воздействию, воспроизводимому с заданной точностью. В результате с этим возникают существенные затруднения при реализации тестовых воздействий при определении таких физических величин как температура, давление, расход, состав вещества и т.п., а также для большинства физических величин, особенно, в широких диапазонах. Поэтому на практике распространен метод поэлементной поверки измерительных систем.

Важным средством решения поставленных задач, особенно для современных автоматизированных систем, являются тестовые методы измерений. Эти методы приняты в качестве прототипов при разработке новых способов измерения таких физических величин, как масса грузов и

дозированных материалов, расход жидких и газообразных веществ и др.

Моделей и алгоритмы идентификационно-тестовых технологических измерений опираются на концепции общего научно-прикладного направления «Вариантника» [11].

В качестве примера приведем следующие типы многовариантных структур:

1. Многовариантная структура приобъектного типа, воплощаемая чаще всего в виде натурно-модельных блоков, столь нужных для производственно-исследовательских автоматизированных систем.

2. Многовариантная структура рекурсивно-слоистого типа, которой соответствует, в частности, многовариантный фильтр экспоненциального сглаживания первого, второго, третьего и так далее порядков.

3. Многовариантная структура канального типа, лежащая в основе многоканальных активных систем с истоками в стимулируемом человеко-машинном взаимодействии.

4. Комбинированные многовариантные структуры.

Основополагающим для направления многовариантных технологических измерений являются многовариантные структуры, средства и системы, особенно в виде многовариантных методов и способов измерения и первичных измерительных преобразователей.

В общем виде структура многовариантной измерительной системы со встроенными метрологическими блоками представлена на рис. 1.

Направляющий принцип многовариантных технологических измерений сформулирован: Не существует какого-либо одного, якобы оптимального варианта измерения любой технологической величины и в большинстве ситуаций практически необходимы комплексная реализация многих вариантов технологических измерений с их эффективным взаимосовмещением и взаимодействием по всем функциям и видам обеспечения.

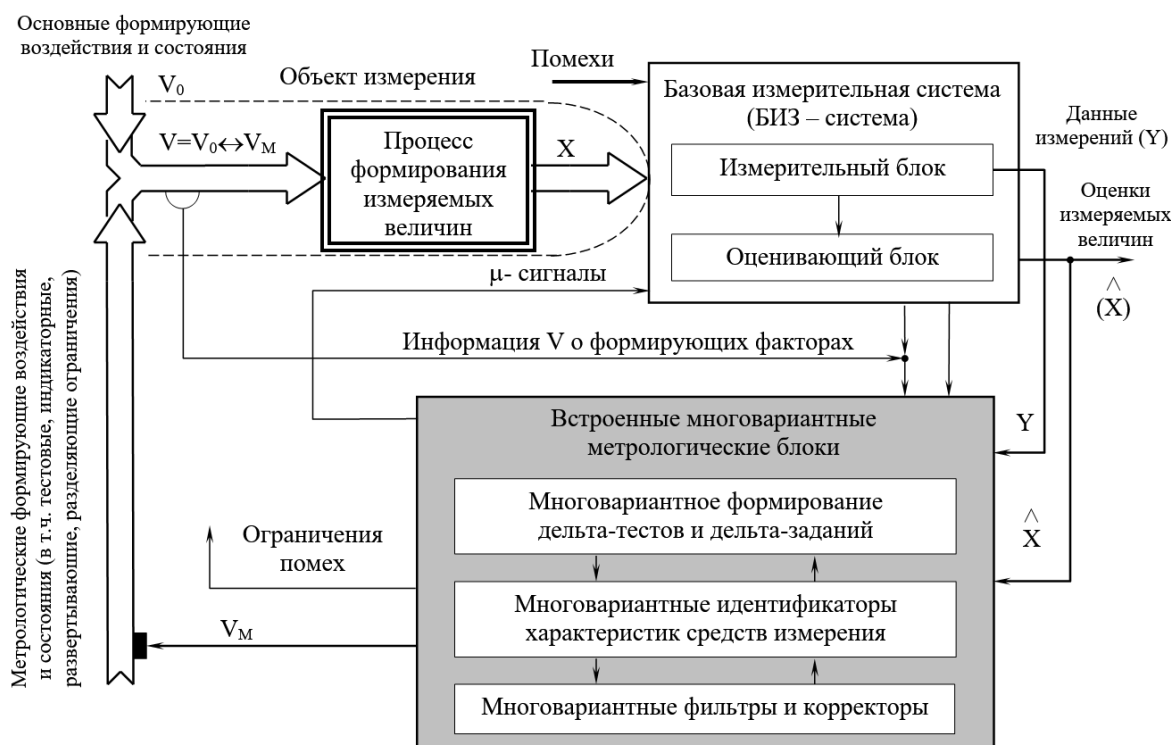


Рис. 1. Схема многовариантной измерительной системы со встроенными метрологическими блоками

С целью совершенствования метрологического обеспечения в структуре измерительной системы выделены две подсистемы: приобъектно-измерительная и вычислительно-измерительная. Приобъектно-измерительная подсистема предназначена для непосредственного восприятия измеряемых технологических параметров и преобразования их в сигналы измерительной информации. Эта подсистема соотносится с пробоотборниками, линиями связи и другими устройствами.

Вычислительно-измерительная подсистема – пересчетные модели, сглаживающие и восстанавливающие фильтры и другие операторные преобразователи, предназначены для обработки первичных сигналов с целью достоверного оценивания действительных значений технологических параметров.

Автоматизированные системы технологических измерений со встроенными метрологическими блоками принципиально отличаются от традиционных систем измерения тем, что наряду с известными метрологическими воздействиями, как правило, на уровне образцовых воздействий ($X^{обр}$) и сигналов (μ -сигналов) непосредственно на входы базовых измерительных средств в МИУ вырабатываются специальные ограничения и метрологические формирующие воздействия (в т.ч. тестовые, индикаторные, развертывающие и т.п.) непосредственно на объекты измерения (на процесс формирования измеряемых величин).

Для этого в составе рассматриваемой системы предусматриваются гибкие динамические метрологические блоки для реализации многовариантных методов и способов измерения с дельта-замещением рабочей средой образцовых мер "в малом" и дельта-тестированием, то есть нанесением пробных воздействий "в малом" на объекты измерений фильтры и устройства помехозащищенной обработки динамических сигналов измерительной информации с использованием аппарата многовариантного робастного оценивания, а также метрологические блоки для оперативного определения статических и динамических метрологических характеристик средств измерений с использованием комплексных многовариантных процедур активной, пассивной и комбинированной идентификации.

Основой методического обеспечения МИУ и ВМБ является аппарат натурно-математического моделирования [12, 13] (с предельными вариантами в виде чисто натурного эксперимента с одной стороны и в виде чисто математического моделирования с другой стороны), а также робастные процедуры многовыборочного формирования и анализа натурных и полунатурных данных в условиях обычной эксплуатации средств измерений и ограниченно-го активного эксперимента.

ЛАБОРАТОРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Для решения учебно-исследовательских задач на основе предложенных методов и концепций была разработана автоматизированная лабораторная установка на основе физической модели дозатора рис. 2.

Данная модель позволяет осваивать и совершенствовать методы дозирования на основе идентификационно-тестовых методов и многовариантных измерений.

Заложенные алгоритмы и методы реализуются с помощью платы АЦП и ПО Native Instruments в среде функционального моделирования LabVIEW. Для отладки алгоритмов физические контакты вход/выходных сигналов

установки собраны в шлейф и переключаются на промышленный контроллер Siemens S7-400, что позволяет разрабатывать прикладное программное обеспечение непосредственно на стандартизованных в промышленности языках и управляющем оборудовании.



Рис. 2. Автоматизированная лабораторная установка

Установка позволяет реализовать различные режимы нанесения тестовых воздействий (рис. 3), позволяющих оценить метрологические характеристики и скорректировать процесс дозирования в соответствии с новыми условиями: однократное тестирование (распределенные тесты); многократное тестирование (пульсирующий тест); чередующееся тестирование.

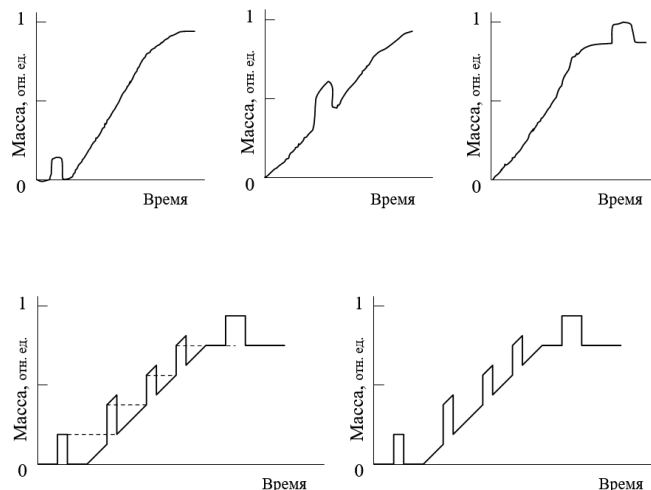


Рис. 3. Режимы тестирования:
а – однократное; б – многократное

В рамках разработанной установки, интегрированной в учебно-исследовательский комплекс метрологии и технических измерений [14] можно ставить и решать типовые задачи промышленной метрологии, в том числе и учебные задачи (образного динамического представления и классификации методов измерения масс, идентификационно-тестовой метрологической диагностики, совместной дискретизации динамических сигналов и преобразований, совместного выбора и настройки АЦП и противоподменных фильтров, противоинерционной коррекции динамических сигналов, многокритериального выбора метрологических решений и др.).

ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В зависимости от требуемой точности процессов измерения и дозирования могут применяться различные технологии, различающиеся по своей сложности и стоимости. Однако, при огромных объемах производства даже небольшая погрешность с течением времени превращается в значительные экономические потери. Для того, чтобы этого избежать необходимо объединение эффективных методов и алгоритмов метрологии, алгоритмов управления и технических решений.

На любом производстве рано или поздно возникает задача дозирования или весового учета в каком-либо виде – непрерывного дозирования, порционного, многокомпонентного, однокомпонентного и т.д. В отрасли углеобогащения это задачи шихтовки различных марок угля, дозирования реагентов, в металлургической – дозирование и загрузка материалов в печные карманы, в химической промышленности актуальной является задача затаривания мягких контейнеров типа Биг-Бэг и т.д. Как показывает опыт, наилучшие результаты позволяют получить комплексы автоматического дозирования.

Для примера, на рис. 4 представлен дозатор ООО УК «Сибтензоприбор», разработанный в соответствии со стандартом ГОСТ 30124-94.

Весовой дозатор — это оборудование со сложным автоматизированным механизмом управления, питания. Конструкция оборудования состоит из ленточного конвейера с грузоприёмным устройством, из системы управления, размещенной в шкафу управления и обеспечивающей результаты обработки, отображения и хранения измерительной информации, а также из управляющей двигателем привода ленточного конвейера.



Рис. 4. Дозатор для сыпучих материалов

Для многокомпонентного дозирования разрабатываются целые системы, включающие как отдельные дозаторы, так и группы. На рис. 5 представлено окно дозирования угольного концентрата из возможных 5 компонентов.

К числу требований к поставщикам угольного концентрата относится не только отгрузка требуемого количества концентратов отдельных марок углей, но и концентратов различных марок углей в заданном соотношении. Это требует создание автоматических систем управления, учитывающих особенности поступления и распределения различных видов концентрата на складе готовой продукции, расположение дозаторов компонентов смеси, характеристик сборных конвейеров и мест установки измерительных устройств. С учетом таких факторов модель объекта управления представляет распределенную во време-

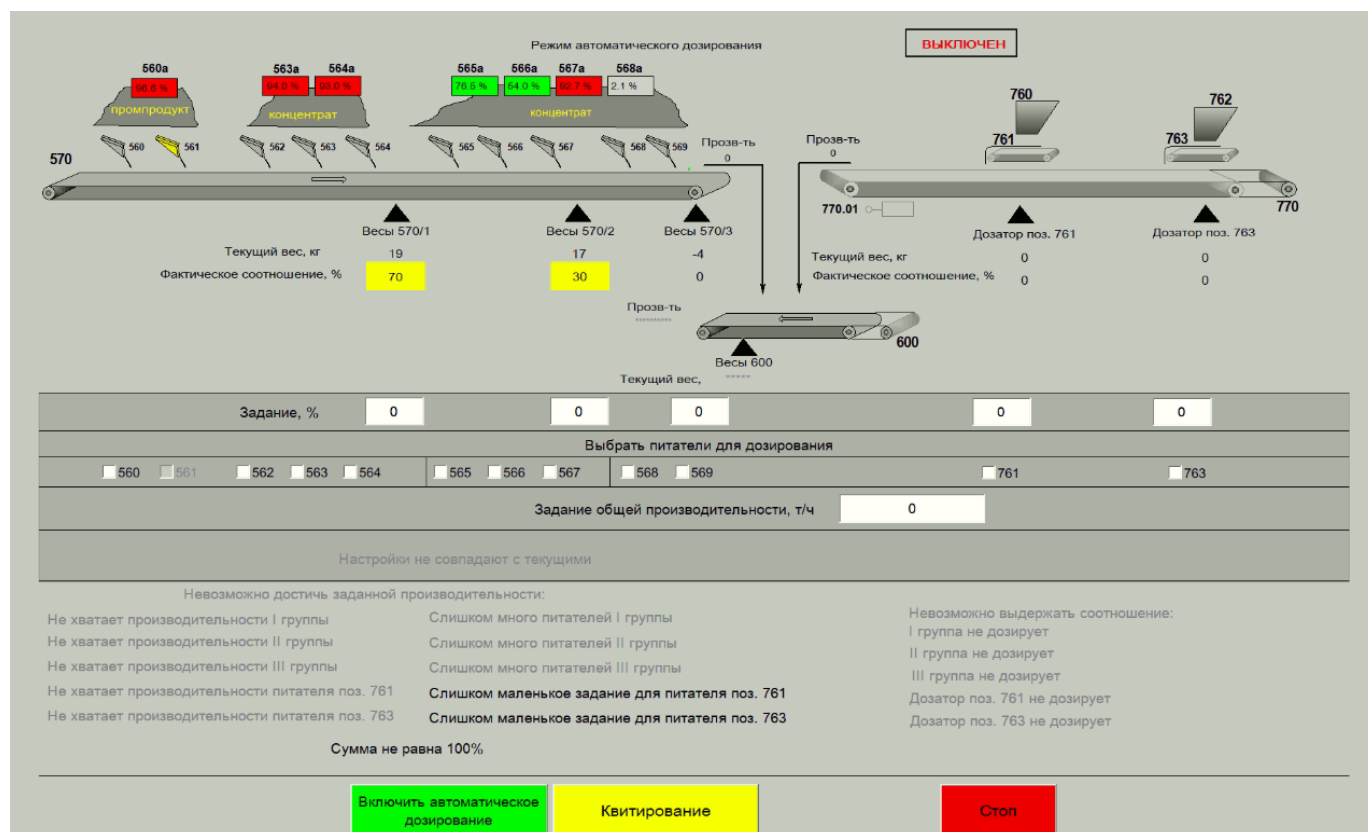


Рис. 5. Окно многокомпонентного дозирования

ни и пространстве структуру с различными точками приложения управляющих воздействий и различными запаздываниями для различных компонентов смеси [15, 16].

Дозаторы с измерительными устройствами представлены типовыми звеньями САР: инерционным звеном первого порядка и интегральным звеном с отсечкой. Суммарное количество отдозированного концентрата оценивается косвенно за счет суммирования масс отдельных компонентов смеси.

Алгоритм управления включает следующие блоки.

- расчет погрешности (ошибки) дозирования общей массы смеси;
- оценивание выполнения заданных соотношений масс компонентов смеси;
- расчетное восстановление требуемых значений каждого компонента смеси;
- экстраполяция на интервалы запаздывания, определяемого расположением дозаторов относительно сборного конвейера;
- выработка заданий исполнительным механизмам каждого дозатора.

Подобные системы автоматического дозирования с представленным алгоритмом реализованы на углеобогачительных фабриках. Результаты эксплуатации подтвердили эффективность систем [17-19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Результаты работы позволяют сделать заключение о целесообразности широкого применения рассматриваемого направления технологических измерений, что приводит к весьма значительному эффекту по гибкости, точности и разнообразию реального измерительного процесса.

Встроенные метрологические блоки идентификационно-тестовых измерительных систем с многовариантной алгоритмической обработкой данных позволяют совмещать поверочные и рабочие измерения, обеспечивать уменьшение трудовых затрат на обслуживание и оперативное накопление достоверной информации об их фактических характеристиках.

Совместное применение разработанных технических и алгоритмических решений позволяет создавать эффективные системы автоматического дозирования материалов в различных отраслях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулевич Т.М. Методическое обеспечение систем измерения со встроенными метрологическими блоками // В сб.: Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии. Труды Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры "Информационные технологии в металлургии". Под общей редакцией С.П. Мочалова. – 2001. – С. 427-433.
2. Гулевич Т.М. Весоизмерительные системы со встроенными метрологическими блоками / Т.М. Гулевич, О.Н. Андрианов, В.В. Логинов, П.А. Морозов // В сб.: Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды Всероссийской научно-практической конференции. под ред. Е.В. Протопопова. – 2010. – С. 150-154.
3. Зельцер С.Р. Построение и применение встроенных тренажеров для горнодобывающих предприятий // В сб.: Системы автоматизации в образовании, науке и производ-

стве. Труды IX Всероссийской научно-практической конференции. под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – 2013. – С. 263-268.

4. Авдеев В.П. Производственно-исследовательские системы с многовариантной структурой / В.П. Авдеев, Б.А. Кустов, Л.П. Мышляев. – Новокузнецк: Кузбасский филиал Инж. Академии, 1992. – 188 с.

5. Авдеев В.П., Дьячко А.Г., Мышляев Л.П., Кошелев А.Е., Евтушенко В.Ф., Бедарев В.Н., Левочкин А.И., Теплова Т.Н. Многовариантный фильтр // Авторское свидетельство SU 1667223 A1, 30.07.1991. Заявка № 4674475 от 04.04.1989.

6. Гильбо Е.П. Обработка сигналов на основе упорядоченного выбора / Е.П. Гильбо, И.Б. Челпанов. – М.: Сов. радио, 1976. – 344 с.

7. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб: Питер, 2002. – 608 с.

8. Кораблина Т.В. О тематике многовариантного анализа и имитации рядов данных / Т.В. Кораблина, Л.И. Криволапова, Е.Г. Руденкова, В.А. Балыко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2000. – №4. – С. 57-58.

9. Алимов Ю. И. Альтернатива методу математической статистики. – М.: Знание, 1980. – 64 с.

10. Тутубалин В.Н. Статистическая обработка рядов наблюдений. – М.: Знание, 1973, - 64с.

11. Авдеев В.П. Характеристики многовариантности / В.П. Авдеев, Л.И. Криволапова, Т.В. Кораблина // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1996. – № 4. – С. 50-55.

12. Веревкин В.И. Особенности натурноматематического моделирования нестационарных технологических процессов / В.И. Веревкин, С.Р. Зельцер, Л.В. Галицкая // В сб.: Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии. Труды 2-й Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией С.П. Мочалова. – 2006. – С. 85-91.

13. Евтушенко В.Ф. О натурно-модельном подходе и теории подобия применительно к системам управления / В.Ф. Евтушенко, А.А. Ивушкин, К.Г. Венгер, Л.П. Мышляев, Г.В. Макаров // В сб.: Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS' 2019.

14. Гулевич Т.М. Автоматизированный распределенный лабораторно-практический комплекс по информационно-измерительным технологиям / Т.М. Гулевич, П.А. Морозов, Г.В. Макаров, А.А. Федотов // В сб.: Автоматизированный электропривод и промышленная электроника. Труды Шестой Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией В.Ю. Островлянича. – 2014. – С. 140-149.

15. Леонтьев И.А. Регулирование распределенных объектов на примере дозирования товарной продукции ОФ «Матюшинская» / И.А. Леонтьев, К.Г. Венгер, Ш.А. Файрушин и др. // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды X Всероссийской научно-практической конференции. Под общ. редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – С. 289-295.

16. Сазыкин Г.П. Проектирование и строительство углеобогачительных фабрик нового поколения: Монография / Г.П. Сазыкин, Б.А. Синеокий, Л.П. Мышляев. – Новокузнецк: СибГИУ, 2003. – 127 с.

17. Ивушкин К.А. Система автоматизации управления технологическим комплексом обогатительной фабрики "Матюшинская" / К.А. Ивушкин, М.В. Шипунов, В.В. Грачев, Л.П. Мышляев // В сб.: Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. сборник научных статей. Под общей редакцией В.Н. Фрянова. – 2013. – С. 185-189.

18. Ляховец М.В. Управление процессами многокомпонентного дозирования / М.В. Ляховец, Л.П. Мышляев, А.С. Саламатин, В.С. Сергеев // В кн.: Актуальные про-

блемы современной науки, техники и образования. Тезисы докладов 77-й международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 368.

19. Мышляев Л.П. Развитие автоматизированной системы управления технологическими процессами обогатительной фабрики / Л.П. Мышляев, Г.В. Макаров, М.В. Ляховец, К.Г. Венгер, И.А. Леонтьев, М.Ю. Мелкозеров // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – № 4. – С. 316-323.

DOI: 10.24892/RIJE/20220407

Weighing Systems with Integrated Metrology Units

Gulevich T.M.

Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russian Federation
gulevich.tm@gmail.com

Makarov G.V.

Scientific-Research Center
of Control Systems Ltd.
Novokuznetsk, Russian Federation
gmakarov@nicsu.ru

Gorb D.S.

Sibtenzopribor Ltd.
Kemerovo, Russian Federation
tehdir@sibtenzo.com

Abstract. The paper considers a type of weighing systems with built-in metrological blocks that implement identification and test methods of measurement with a multivariant structure. The functional scheme of multivariant measuring system with built-in metrological blocks is presented. The differences between the systems with embedded metrological blocks fundamentally from traditional measurement systems are analyzed. Realization of automated laboratory metering installation and industrial complexes of automatic metering which depending on a complete set can include the considered multivariant metrological blocks for identification of metrological characteristics of measuring in-

struments on the basis of natural-model approach and multivariant systems are described. Industrial implementation is considered on the example of a batcher corresponding to GOST 30124-94 designed for batching of bulk materials and an automated control system for multicomponent batching which together with the suggested built-in metrological blocks have advantages over their analogues in terms of accuracy and maintenance costs.

Keywords: weight measurement, test methods, batching, multivariant.

Библиографическое описание статьи

Гулевич Т.М. Весовые системы со встроенными метрологическими блоками / Т.М. Гулевич, Г.В. Макаров, Горб Д.С. // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2022. – Т.9, №4. – С. 37-42. DOI: 10.24892/RIJE/20220407

Reference to article

Gulevich T.M., Makarov G.V., Gorb D.S. Weighing systems with integrated metrology units, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2022, vol.9, no.4, pp. 37-42. DOI: 10.24892/RIJE/20220407